

В. А. Зайцев

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО

БИНОМ

В. А. Зайцев

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

2-е издание (электронное)

Допущено
Учебно-методическим объединением по образованию
в области химической технологии и биотехнологии
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению
«Энерго- и ресурсосберегающие процессы
в химической технологии, нефтехимии
и биотехнологии»



Москва
БИНОМ. Лаборатория знаний
2015

УДК 502+504+349.6
ББК 20.18:67.407
З-17

Зайцев В. А.

З-17 Промышленная экология [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. А. Зайцев. — 2-е изд. (эл.). — Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf : 385 с.). — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10".
ISBN 978-5-9963-2590-0

В учебном пособии рассматриваются определения и основные принципы промышленной экологии, безотходного (чистого) производства, способы их организации и развития. Большое внимание уделено рациональному использованию воздуха и воды, переработке, обезвреживанию и захоронению бытовых и опасных отходов, организации безотходных производственных комплексов и экопромышленных парков. Рассмотрены экологические проблемы производства строительных материалов, коксохимической и нефтехимической промышленности, черной и цветной металлургии и энергетики.

Для студентов высших учебных заведений, изучающих природоохранные дисциплины, обучающихся по специальности «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», а также магистерской программе «Химия, химическая технология и устойчивое развитие».

УДК 502+504+349.6
ББК 20.18:67.407

Деривативное электронное издание на основе печатного аналога: Промышленная экология : учебное пособие / В. А. Зайцев. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 382 с. : ил. — ISBN 978-5-9963-0812-5.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время человечество оказалось перед сложнейшим и неизбежным выбором дальнейшего пути развития. В. И. Вернадский еще в середине XX столетия писал: «Мы переживаем не кризис, волнуящий слабые души, а величайший перелом научной мысли человечества, совершающийся лишь раз в тысячелетие...» Речь идет о выборе такого пути развития, при котором необходимые потребности человека удовлетворялись бы без ущерба для будущих поколений и биосферы в целом. Потребности должны быть необходимыми и достаточными, но не чрезмерными, а результаты деятельности человека по производству товаров и услуг не должны перекрывать возможности биосферы, т. е. приводить к ее деградации.

Современное общество слишком расточительно использует природные ресурсы, производя массу потребительских товаров с коротким сроком службы и по неэффективным технологиям (с большим количеством отходов и возникающих по этой причине проблем).

Реклама и производители всё время навязывают новые и новейшие товары, а старые, еще не утратившие своих потребительских свойств по причине морального старения, безжалостно выбрасываются на свалку. *Товары короткого и разового потребления становятся бичом современного общества.* Это происходит во всех развитых странах, потребляющих львиную долю природных ресурсов и вносящих основной вклад в загрязнение окружающей среды.

Поэтому нужны тщательно продуманные программы по воспитанию потребителей и производителей с целью привития моды (престижности) *на добротные долговечные товары с последующей их утилизацией и максимально возможным рециклом,* а также бережное отношение к природе, особенно ко всему живому. основополагающий принцип бытия «*Не повреди природе ни при каких обстоятельствах*» должен быть «впитан с молоком матери». *Это колоссальной сложности морально-этическая проблема, от решения которой будет зависеть устойчивое развитие человечества.* Решение технических и технологических задач также требует серьезных усилий общества, однако эти задачи проще, да и сделано уже не мало.

Большое значение в решении стоящих перед человечеством проблем имеют методы и средства *промышленной экологии,* определяющей взаимодействие промышленного производства с окружающей природной средой. Понятие «промышленная экология» появилось в начале

80-х гг. XX в., а уже в 1983 г. в МХТИ им. Д. И. Менделеева была организована кафедра под таким названием и начал читаться специальный лекционный курс для студентов химиков-технологов.

Основой промышленной экологии является *концепция безотходного, или чистого, производства*. В последнее время эти же принципы излагаются под лозунгом «зеленой химии». Однако суть остается такой же, а именно: рациональное использование природных ресурсов, предотвращение загрязнения окружающей среды, экономия сырьевых и энергетических ресурсов и т. д. Составной частью промышленной экологии являются также различные методы стимулирования бережного отношения к природным ресурсам, охране окружающей среды и воспитания морально-этического отношения к природопользованию.

Учебное пособие «Промышленная экология» отвечает требованиям государственного образовательного стандарта по направлению подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» и предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» и магистерской программе «Химия, химическая технология и устойчивое развитие», включающей «Промышленную экологию». Кроме того, оно может быть полезно другим студентам, изучающим природоохранные дисциплины.

В пособии рассматриваются также *экологические проблемы основных производств* и излагаются основы этих производств. Выпускники-экологи или природопользователи не будут специалистами в этих областях, но они должны понимать суть проблемы и уметь говорить со специалистами на одном языке. Вопросы же энергетики настолько важны для судьбы страны и мира (в том числе и с точки зрения защиты окружающей среды), что все специалисты должны обладать определенными знаниями в этой области. Вопросы изменения климата и влияния на него антропогенной деятельности включены в программы всех специальностей, поэтому они также кратко изложены в пособии.

Автор приносит искреннюю благодарность В. В. Горбуновой, С. А. Ивановой и Н. С. Березину за их бескорыстный и неоценимый вклад в подготовку рукописи к печати, благодарит всех помогавших добрыми советами и надеется, что пособие окажется полезным всем студентам, аспирантам, научным работникам и практикам, занимающимся проблемами охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, а также вопросами устойчивого развития общества.

Основные потребности человека удовлетворяются только с помощью товаров и услуг, предоставляемых промышленностью . . . , способной как обеспечить экологическое равновесие, так и разрушить его, что она постоянно и делает.

*Комиссия ООН по окружающей среде
и развитию, 1987 г.*

ВВЕДЕНИЕ

Уровень использования природных ресурсов и степень деградации окружающей среды в XXI столетии являются главной проблемой современного общества, как и в XX веке [1]. В настоящее время и в нашей стране, так и в большинстве стран мира, считается общепризнанным, что проблема рационального использования природных ресурсов, предотвращения загрязнения окружающей среды, а следовательно, и *проблема устойчивого развития современной цивилизации*, обеспечивающей удовлетворение потребностей общества, но не ставящей под угрозу будущие поколения, может быть решена путем формирования нового подхода к организации и функционированию промышленных производств и экономической системы в целом. В основе такого подхода лежит промышленная экология.

Промышленная экология изучает взаимосвязь материального (в первую очередь промышленного) производства, человека и других живых организмов со средой их обитания. Таким образом, предметом изучения промышленной экологии являются эколого-экономические системы [2].

«Промышленная экология является системно ориентированным подходом к объединению экономической деятельности людей и управления материальным производством с фундаментальными биологическими, химическими и физическими глобальными системами» [3].

Промышленная экология служит *средством* для достижения устойчивого, самоподдерживающегося функционирования эколого-экономических систем (и общества в целом).

В природных экосистемах производство и разложение сбалансированы, в них нет отходов. Отходы одних организмов служат средой обитания для других, и таким образом, осуществляется практически замкнутый кругооборот веществ в природе. В природных экосистемах около 90% энергии расходуется на разложение и возвращение веществ в биогеохимический кругооборот. В социально-экономических системах около 90% материальных ресурсов переходит в отходы, а основное количество энергии используется в производстве и потреблении. Поэтому главной задачей промышленной экологии является нахождение путей рационального использования природных ресурсов, предотвращения их истощения, деградации и загрязнения окружающей среды,

а в конечном итоге для совмещения техногенного и биогеохимического кругооборотов веществ в целях устойчивого развития общества.

Во введении к всемирно известной книге «За пределами роста» [4] справедливо сказано: «Технологически и экономически создание устойчивого общества пока еще возможно. Оно может оказаться гораздо более приемлемым в сравнении с обществом, решающим все проблемы за счет постоянного количественного роста. Переход к устойчивому обществу требует тщательно сбалансированных дальних и ближних целей и акцента на достаточности, равенстве и качестве жизни, а не на объеме производства. Он требует большего, чем продуктивность, и большего, чем технология, он требует еще и зрелости, сострадания, мудрости».

Часть I

ПРЕДПОСЫЛКИ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Глава 1

ОСНОВА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ — БЕЗОТХОДНЫЕ ИЛИ ЧИСТЫЕ ПРОИЗВОДСТВА

Переход в «новое эволюционное состояние — ноосферу возможен лишь при сохранении циклов вещества и энергии, сложившихся в биосфере».

В. И. Вернадский

Концепция безотходного производства была предложена и развита академиками Н. Н. Семеновым, И. В. Петряновым-Соколовым, Б. Н. Ласкориным, С. В. Яковлевым и др.

Анализ развития производств и динамики потребления сырья и образования отходов привел к неизбежному выводу: дальнейшее развитие производств, а также общества в целом не может осуществляться на базе исторически сложившихся традиционных экстенсивных технологических процессов без учета экологических ограничений и требует принципиально нового подхода. Этот подход получил название «безотходная технология», а позднее «чистая технология». Его основой является рациональное, наиболее полное использование природных ресурсов, стремление к максимально возможной цикличности материальных потоков. Этот подход подсказан самой природой.

1.1. РОСТ ПРОИЗВОДСТВА, ПОТРЕБЛЕНИЯ СЫРЬЯ И ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ

Академик И. В. Петрянов-Соколов провел фундаментальное исследование развития промышленности, объемов использования природных ресурсов и образующихся отходов. Как показал анализ этого огромного (с 1909 г.) статистического материала, объем мирового промышленного производства увеличивается по экспоненциальному закону. Количество перерабатываемого сырья и образующихся при этом отходов также возрастает экспоненциально. А это означает, что человечество все больше и больше работает на производство отходов. На период середины XX в. только около 1–2% сырьевых материалов переходило в конечную продукцию, а остальные 98–99% превращались в отходы, зачастую весьма токсичные. Никогда раньше человек не добывал из Земли так много сырья, как в наше время. Подсчитано, что на каждого жителя развитых стран в год уже приходится не менее 20 т добываемого

минерального сырья. Еще более примечательно то, что расходы на обезвреживание и переработку отходов теперь, когда деятельность людей в этом направлении практически только начинается, также возрастают экспоненциально и уже в настоящее время составляют 8–10% стоимости производимой продукции. С некоторым приближением можно принять, что все три процесса могут быть описаны уравнением

$$A = B^{n_i},$$

где A — объем производства или используемого сырья, количество образующихся отходов либо затраты на их обезвреживание и переработку; B — постоянная величина; n_i ($i = 1, 2, 3$) — показатели упомянутых экспонент, причем $n_3 > n_2 > n_1$.

Идея многократного, цикличного, экономного использования материальных ресурсов уже не только широко обсуждается во всем мире, но в большинстве стран нашла широкое практическое применение. Так, в ряде развитых стран степень повторного использования свинца составляет не менее 65%, железа — 60%, меди — более 40%, никеля — 40%, алюминия — 33%, цинка — 32% и т. д. В нашей стране эти цифры значительно скромнее. За счет использования вторичного сырья производится 30% стали и 20% цветных металлов. Необходимо также отметить, что энергоемкость производства алюминия из вторичного сырья в 20 раз, а стали в 10 раз ниже, чем энергоемкость их производства из первичного сырья. Как видим, повторное использование металлического лома весьма выгодно.

Повторное использование материальных ресурсов (рециркуляция) имеет исключительно большое значение с точки зрения сохранения или продления времени эксплуатации важнейших мировых запасов руд (исчерпаемых ресурсов). Для их количественной оценки служат так называемые *индексы исчерпания ресурсов*, которые характеризуют расходование имеющихся мировых запасов с учетом сохранения темпов ежегодного прироста потребления. Можно подсчитать, что если запасы возрастут в 10 раз (такое возрастание, учитывая достигнутую степень изученности планеты, представляется уже маловероятным), то обеспеченность производства сырьем увеличится всего в 2,5–3 раза. Такой подсчет особенно удобно делать для металлов, поскольку при любых процессах, например, химический элемент железо будет железом независимо от того, останется оно в металлическом виде либо превратится в оксид железа или в любую его соль. Анализ металлов сейчас не представляет труда. В случае рециркуляции 50% металлов из сферы потребления (в виде отхода) в сферу производства обеспеченность важнейшими металлами возрастает в 3–3,5 раза, а при степени рециркуляции 95–98% — в 5–7 раз (табл. 1.1). Поэтому важнейшим резервом сырья является использование отходов (там, где это возможно).

Таблица 1.1

**Время исчерпания мировых запасов важнейших металлов
при различных сценариях**

Металлы	Мировые запасы, млн т*	Средне-годовой прирост потребления, %	Индекс исчерпания ресурсов, годы			
			при современной сырьевой базе	при 10-кратном увеличении запасов	с учетом 50% рецикла	с учетом 95–98% рецикла
Железо	100 000	1,3	109	267	319	598
Алюминий (из бокситов)	1 170	5,1	35	77	91	135
Хром	775	2,0	112	222	256	416
Медь	308	3,4	24	76	95	170
Титан	147	2,7	51	127	152	255
Молибден	5,4	4,0	36	37	104	165

* Эти данные соответствуют началу 90-х гг. прошлого столетия. За это время открыты новые месторождения и выработаны старые, но общая тенденция (рецикл) сохраняется.

Выход из сложившейся ситуации заключается в целенаправленном повышении роли вторичных ресурсов, их рациональном использовании и организации локального, регионального, а затем и глобального (в масштабах государства) техногенного круговорота веществ, в котором первичное сырье будет затрачиваться только на восполнение потерь и расширение объемов производства. В итоге основным для промышленного производства должно стать вторичное сырье. Как видно из рассмотренного материала, такая тенденция уже существует. Так, в нашей стране 40–45 лет назад в готовую продукцию переходило всего 1–2% используемых сырьевых материалов, 30–35 лет назад — от 5 до 10%. Анализ использования сырьевых материалов по шести важнейшим отраслям промышленности (черная и цветная металлургия, добыча и переработка угля, производство удобрений, химических продуктов и строительных материалов), выполненный Всесоюзным институтом вторичных материальных ресурсов¹⁾ в 1985 г. по заданию Государственного Комитета СССР по науке и технике, показал, что полезно использовалось уже 28,6%. Сюда входит любое полезное использование отходов, в том числе на засыпку выработанных шахт, котлованов,

¹⁾ ВИВР, в настоящее время — Федеральное государственное учреждение «Научно-исследовательский центр по проблемам управления ресурсосбережением и отходами» (ФБУ НИЦПУРО).

выравнивание территорий, строительство дорог и т. д. Можно спорить о степени точности проведенных расчетов, но тенденция просматривается довольно убедительно.

Все неиспользованное или недоиспользованное сырье, а это, как мы видим, пока его наибольшая часть, поступает в окружающую среду, что весьма неблагоприятно сказывается на живых организмах, включая и человека.

1.2. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Выше говорилось о ресурсной части проблемы. На сегодняшний день не менее, а более серьезной является вторая ее часть — загрязнение окружающей среды. Все неиспользованное сырье, а это его основная часть (до 90%), поступает в окружающую среду в виде различных отходов. Следует отметить, что в природе эти вещества находились в наименее растворимой и, следовательно, наименее токсичной форме. Например, металлы — в виде малорастворимых оксидов или сульфидов, фтор — в виде фторида кальция или фосфатов (последние всегда содержат фтор). И даже несмотря на это, месторождения фторида кальция или фосфоритов являются зонами эндемического (природного) флюороза. При получении металлов, фосфорных удобрений и ряда других продуктов образуется большое количество твердых, жидких и газообразных отходов, в которых тяжелые металлы и фтор находятся в активной форме, губительно воздействующей на все живое.

В конце XX столетия промышленность и транспорт выбросили в окружающую среду свинца больше, чем за весь предшествующий период существования цивилизации. Всего в результате промышленной деятельности от всех антропогенных источников в биосферу поступило около 20 млн т свинца, 14 млн т цинка, более 2 млн т меди и т. д. Масштабы выбросов соединений кадмия, цинка, меди и других тяжелых металлов всеми вулканами нашей планеты далеко уступают их количеству, поступающему только от мусоросжигательных заводов. При этом следует отметить, что антропогенные источники выделения тяжелых металлов распределены очень неравномерно и сконцентрированы преимущественно в густонаселенных промышленных регионах. Особую опасность вызывает непрерывное повышение регионального и глобального фона — средней концентрации (например, меди, свинца, цинка) в почве, воде и воздухе, сложившейся в регионе.

Проанализировав состав льдов Гренландии и Антарктиды, ученые установили, что содержание свинца, цинка и серы во льдах, образовавшихся в 1970 г., в три раза выше, чем в пробах льда, соответствующих 1200-му и 1900-му годам, в которых оно примерно одинаково. Значит, за 700 лет фон по этим элементам практически не изменился, в то время как за 70 лет XX века он увеличился втрое.

Повышенное внимание к тяжелым металлам уделяется потому, что по общетоксическому воздействию на живые организмы они уже вышли на первое место, далеко опередив радиоактивные вещества и пестициды, и вызывают целый букет тягчайших человеческих недугов: сердечно-сосудистые заболевания, умственную неполноценность, рак и другие болезни.

1.3. СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ

Состояние окружающей природной среды является одним из наиболее существенных факторов, формирующих здоровье людей. По оценкам ряда отечественных и зарубежных специалистов, состояние здоровья людей на 20–40% зависит от состояния окружающей среды, на 15–20% — от генетических факторов, на 25–50% — от образа жизни и только на 10% — от деятельности служб здравоохранения [5].

Эксперты Всемирной организации здравоохранения считают, что здоровье населения зависит на 60% от социально-экономических условий и качества здравоохранения, на 20% — от состояния окружающей среды и на 20% — от наследственности и других биологических свойств организма.

В последние годы все большую тревогу вызывают загрязнение окружающей среды и в значительной мере обусловленное этим фактором ухудшение демографических показателей и характеристик состояния здоровья населения в нашей стране. Особенно серьезное беспокойство вызывает рождение неполноценных детей. Детей с физическими и психическими дефектами, обусловленными генетическими отклонениями, рождается около 10% [5], но уже при 8% нация вырождается.

Сохраняется тенденция к увеличению смертности в трудоспособном возрасте. Заболеваемость в стране по ряду нозологических форм за последние годы имеет четкую тенденцию к увеличению. В частности, растут показатели заболеваемости сердечно-сосудистыми болезнями с преобладанием ишемической болезни сердца и гипертонической болезни, увеличивается число больных с установленным диагнозом злокачественного новообразования, и прежде всего рака легких, увеличивается эндокринная патология, растет число нервно-психических заболеваний, особенно у детей. Разумеется, это положение является следствием воздействия на человека всей совокупности социальных, экономических и природных факторов, формирующих здоровье нации. Однако, как свидетельствуют многочисленные исследования, важной причиной наблюдающихся сейчас неблагоприятных изменений является ухудшающееся качество окружающей среды: воздуха, воды, почвы, а также продуктов питания.

Превышение допустимых показателей загрязненности воздуха в несколько раз приводит к заметным неблагоприятным последствиям

для здоровья людей. Так, например, в подмосковном Подольске, где в отдельных районах содержание тяжелых металлов в воздухе превышает ПДК¹⁾ в 3–6 раз, среднегодовой уровень общей заболеваемости почти в 2 раза выше, чем в районах, где этот показатель не превышает нормативов. В этом же городе в детских коллективах установлено снижение показателей естественного иммунитета, изменение ряда биохимических и физиологических показателей функционального состояния организма, уровня физического развития, что сопровождается более высоким уровнем заболеваемости органов дыхания. Число детей с существенными отклонениями в состоянии здоровья, проживающих в загрязненных районах Подольска, в 2–2,5 раза выше числа таких детей, проживающих в районах с относительно чистым атмосферным воздухом.

Специалисты в области медицины поэтому считают, что вслед за ростом загрязнения окружающей среды в нашей стране в последние годы обозначилась тенденция к возрастанию заболеваемости населения и ухудшению показателей его здоровья, не говоря уже об ухудшении санитарных условий быта и отдыха людей. Об этом говорят результаты эпидемиологических исследований, проведенных в последние десятилетия учеными НИИ общей и коммунальной гигиены им. А. Н. Сысина АМН и других гигиенических учреждений страны. Выявлена повышенная заболеваемость детей и подростков всех возрастов, проживающих в районах с загрязненным воздухом. Обоснован неблагоприятный прогноз состояния здоровья подрастающего поколения в целом для районов с повышенным уровнем загрязненности окружающей среды.

Продолжающееся загрязнение среды (воздуха, воды, почвы) неизбежно приведет к дальнейшим неблагоприятным сдвигам в состоянии здоровья населения. Более того, даже если бы в ближайшее время удалось полностью исключить загрязнение окружающей среды (что абсолютно нереально), это не смогло бы остановить дальнейший рост заболеваемости населения, например, злокачественными новообразова-

¹⁾ Для атмосферного воздуха существует три типа предельно допустимых концентраций (ПДК), в мг/м³:

1. ПДК_{РЗ} — предельно допустимая концентрация веществ в воздухе рабочей зоны. Эта концентрация при ежедневной (кроме выходных дней) работе в пределах 8 ч или другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должна вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

2. ПДК_{МР} — максимальная разовая предельно допустимая концентрация. Эта концентрация при вдыхании в течение 30 мин не должна вызывать рефлекторных (в том числе субсенсорных) реакций в организме человека.

3. ПДК_{СС} — предельно допустимая среднесуточная концентрация в воздухе населенных мест. Эта концентрация не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неопределенно долгом (годы) вдыхании.

Следует отметить, что ПДК_{РЗ} рассчитана на взрослых здоровых людей, а ПДК_{СС} — на всех людей, включая детей, стариков и больных.

ниями. Это обусловлено отдаленными эффектами действия ряда факторов окружающей среды, прежде всего химических агентов, имеющих латентный период действия от 20 до 50 лет. Именно отдаленные эффекты воздействия химических загрязнений (канцерогенный, мутагенный, эмбриотоксический и др.) в настоящее время вызывают особое беспокойство. Сейчас уже твердо установлено, что ряд химических веществ (нитрозоамины, винилхлорид, формальдегид, бензпирен и др.), обладающих канцерогенным и/или мутагенным действием, реально встречаются в окружающей среде в количествах, достаточных для проявления этих свойств.

Гигиенические исследования свидетельствуют о снижении иммунобиологической сопротивляемости у всё большей части населения страны. Все больший процент населения относится к группам повышенного риска возникновения как специфической, так и неспецифической патологии.

От химических и биологических загрязнений окружающей среды страна ежегодно теряет миллионы человеко-лет активной жизни, миллиарды рублей недопроизведенного национального дохода. Это правда, от которой никуда не деться.

Крайне неблагоприятная ситуация сложилась в нашей стране с продолжительностью жизни её граждан. В табл. 1.2 приведены сведения по ожидаемой продолжительности жизни мужчин и женщин, младенческой смертности и валовому внутреннему продукту с учетом покупательной способности в России, 15 развитых и 15 развивающихся странах на 2001 г.

Таблица 1.2

Демографический прогноз и ВВП в России и других странах на 2001 г.

Страна	Ожидаемая продолжительность жизни, годы*		Младенческая смертность, на 1000 рожденных	ВВП, в долл. США на 1 жителя
	Мужчины	Женщины		
Россия	59	72	16	6990
Развитые страны	71–78	78–83	3–8	15 530–31 910
Развивающиеся страны	37–52	38–53	65–131	500–2690

* Продолжительность жизни в РФ в 2010 г., по данным Минздравсоцразвития России, составила: мужчин — 63,03 лет, женщин — 74,87 лет.

Продолжительность жизни в РФ значительно ниже, чем в большинстве развитых стран. Однако надо здесь же отметить, что в 1990 г. на

1000 долл. валового национального продукта выбросы диоксида серы в СССР составили 19 кг, в США — 7, а в Японии — 1 кг.

Серьезное беспокойство вызывает очень большой по сравнению с другими странами разрыв в продолжительности жизни мужчин и женщин (около 12 лет). По данным Госкомстата, в настоящее время в России женщин на 9,1 млн больше, чем мужчин. К 2020 г. этот разрыв вырастет до 10–11 млн человек, что связано с более высокой смертностью мужчин (особенно молодых).

Продолжительность жизни зависит от многих факторов: энерговооруженности общества (рис. 1.1), качества и количества питания (рис. 1.2), образа жизни и генетических факторов и т. д. Однако одним из важнейших факторов является окружающая среда — где человек живет, чем он дышит, какую воду пьет, что ест, насколько всё это отвечает санитарно-гигиеническим нормам.

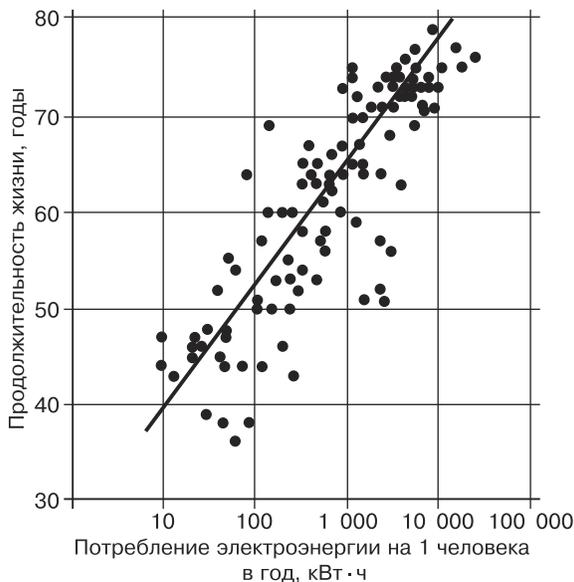


Рис. 1.1. Зависимость продолжительности жизни от потребления электроэнергии

Большое влияние на продолжительность жизни и смертность оказывают образ жизни и привычки людей. Здесь нельзя не остановиться на *курении*. В докладах ЮНЕП курение выделяется отдельным разделом в связи с тем, что оно является важным фактором загрязнения окружающей среды. По данным ВОЗ, курение убивает 6 человек в минуту. От табака в мире в настоящее время погибает 3 млн человек в год (в Российской Федерации — 400 тыс. человек в год!), а в 2020 г. при сохранении нынешней распространенности курения от него погибнет около 10 млн человек в возрасте от 30 до 40 лет. При всем этом Россия

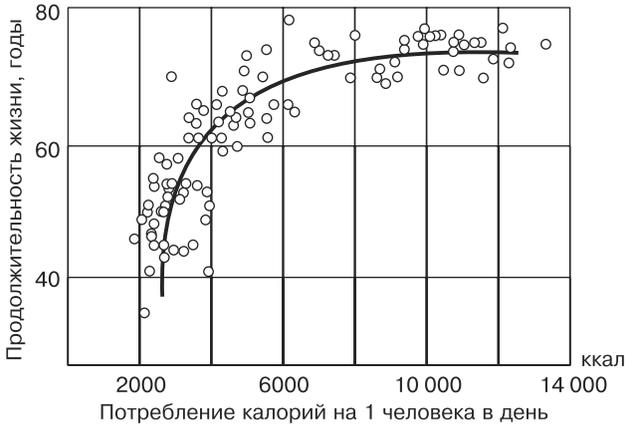


Рис. 1.2. Зависимость продолжительности жизни от количества калорий, потребленных с пищей (в пересчете на растительную пищу)

долгое время не присоединялась к Конвенции Всемирной организации здравоохранения по борьбе с курением. *Табачная индустрия фактически поддерживалась и поддерживается государством*, несмотря на демографическую ситуацию и принятый закон о борьбе с курением, а многие весьма важные и интеллигентные персоны (во всяком случае они себя таковыми полагают) не видят ничего зазорного в том, чтобы появиться на экранах телевизоров с сигаретой. В конце 2007 г. Конвенция наконец была ратифицирована, но положение с курением пока не улучшилось.

По данным ВОЗ, риск погибнуть от причин, зависящих от самого человека, составляет: у мотоциклистов — 2000 человек из расчета на 100 000 человек, у курящих — 500, у людей, потребляющих спиртные напитки, — 74, у автолюбителей — 26, у футбольных болельщиков (для Южной Америки) — 5. При переходе улицы не зависящий от нас риск погибнуть составляет 8 человек на 100 000 населения.

Подробно влияние курения на здоровье, а также проблемы ограничения и запрета курения рассмотрены в Приложении 4.

1.4. БЕЗОТХОДНОЕ, ИЛИ ЧИСТОЕ, ПРОИЗВОДСТВО

В достаточно полном виде понятие «безотходная технология» было сформулировано на Общевропейском совещании по сотрудничеству в области охраны окружающей среды (Женева, 1979 г.). На совещании была принята специальная «Декларация о малоотходной и безотходной технологии и использовании отходов», в которой говорится: «*Безотходная технология есть практическое применение знаний, методов и средств с тем, чтобы в рамках потребностей человека обеспечить*

наиболее рациональное использование природных ресурсов и энергии и защитить окружающую среду» [6].

Развитие представлений об окружающей среде и рациональном природопользовании, а также практические задачи по созданию и внедрению безотходных производств привели к необходимости сформулировать новое определение безотходной технологии, которое и было принято на семинаре Европейской экономической комиссии по малоотходной технологии (Ташкент, 1984 г.). Рекомендации ташкентского семинара рассмотрены и одобрены на заседании Старших советников правительств европейских стран при ЕЭК по окружающей среде и направлены всем странам — участницам [7]. В них говорится: «*Безотходная технология — это такой способ производства продукции (процесс, предприятие, территориально-производственный комплекс), при котором наиболее рационально и комплексно используются сырье и энергия в цикле сырьевые ресурсы — производство — потребление — вторичные сырьевые ресурсы таким образом, что любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее нормального функционирования.*»

Под малоотходным понимается такой способ производства продукции (процесс, предприятие, территориально-производственный комплекс), при котором вредное воздействие на окружающую среду не превышает уровня, допустимого санитарно-гигиеническими нормами; при этом по техническим, организационным, экономическим или другим причинам часть сырья и материалов переходит в отходы и направляется на длительное хранение или захоронение.

В настоящее время после проведения «Семинара по стимулированию чистого производства» (ЮНЕП/ИЕО, Кантенбери, Великобритания, 17–20 сентября 1990 г.) в европейских странах в основном применяется термин «чистое производство».

Этот термин был введен на заседании рабочей группы ЮНЕП/ИЕО в 1989 г. Было дано следующее определение чистого производства: «... это производство, которое характеризуется непрерывным и полным применением к процессам и продуктам природоохранной стратегии, предотвращающей загрязнение окружающей среды таким образом, чтобы понизить риск для человечества и окружающей среды.

Применительно к процессам — это рациональное использование сырья и энергии, исключение применения токсичных сырьевых материалов, уменьшение количества и степени токсичности всех выбросов и отходов, образующихся в процессе производства.

С точки зрения продукции, чистое производство означает уменьшение ее воздействия на окружающую среду в течение всего жизненного цикла (продукта) от добычи сырья до утилизации (или обезвреживания) после использования.

Чистое производство достигается путем улучшения технологии, применением ноу-хау и/или путем изменения управления производством и его организации» [8].

Оба термина подвергаются критике и нуждаются в доработке или должны быть заменены на менее уязвимые. В последнее время для выражения этих же понятий широко рекламируется так называемая «зеленая химия» [9, 10], но она менее разработана, а уязвима еще больше.

Эколого-экономическая эффективность безотходных производств. Создание безотходных (чистых, зеленых) производств, да и вся природоохранная деятельность всегда сталкивались да и сталкиваются с сопротивлением промышленников, особенно в условиях рыночной экономики, поскольку требуют больших затрат. Так, затраты на природоохранные цели электростанции, работающей на угле, в среднем составляют треть стоимости самой электростанции. Затраты других производств на эти цели не меньше.

Однако устойчивое развитие общества невозможно без рационального использования природных ресурсов и сохранения здоровой окружающей среды, пригодной для комфортной жизни людей и всего живого, а за все надо платить.

«Бюрократический социализм рухнул, потому что не позволил ценам говорить экономическую правду. Рыночная экономика может погубить окружающую среду и себя, если не позволит ценам говорить экологическую правду», — Эрнст фон Вайцзеккер, Институт климата, экологии и энергетики (Германия).

В настоящее время производство должно оцениваться с точки зрения его эколого-экономической эффективности, т. е. с учетом его влияния на окружающую природную среду и наше здоровье. Методы такой оценки имеются [11] и постоянно совершенствуются.

В связи с принятием большинством стран специального природоохранного законодательства и программ по стимулированию безотходного или чистого производства сама концепция и определение безотходного или чистого производства имеют важное практическое значение. Дело в том, что речь идет в основном об экономических методах стимулирования, связанных с налоговыми льготами, льготным кредитованием выпуска экологически чистой продукции и внедрением малоотходных и безотходных или чистых технологических процессов и производств и, наоборот, введением специального налогообложения экологически вредной продукции и соответствующих производств [11]. «Осознав суровую реальность, — сказано в книге, подготовленной Международным бизнес-советом предпринимателей по устойчивому развитию [12], — предприниматели начали действовать. Они переходят от ограничения загрязнений и ликвидации отходов к поддержке государственных требований и предотвращению загрязнения и уменьшению отходов как в интересах населения, так и для повышения эффективности производства и конкурентоспособности. В то время как экономика промышленно развитых стран выросла, расход ресурсов и энергоемкость продукции уменьшились. С 1970 г. химические предприятия промыш-

ленно развитых стран удвоили выпуск продукции, сократив более чем на половину потребление энергии на единицу продукции».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем суть устойчивого развития?
2. Какие вопросы решает промышленная экология для достижения устойчивого развития?
3. Почему безотходное производство считается основой промышленной экологии?
4. Безотходное производство — реальность или красивая мечта?
5. Энергия и безотходное производство. В чем проблема?

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Предприятие обязано . . . осуществлять организацию производства на базе безотходных технологий как главного направления сохранности природной среды.

Закон СССР «О государственном предприятии (объединении)», 1987 г.

В последние годы в связи с реализацией решений Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) приобрело особую актуальность осознание основных принципов промышленной экологии при разработке и организации различных территориально-промышленных комплексов и эколого-промышленных парков. Таких комплексов в мире насчитывается более 12 тысяч [13]. Они занимают площадь от тысячи до 10 тыс. га (Jebel Ali Free Zone in Dubai — 10 125 га), число работающих в них также колеблется в широких пределах — от менее 100 до 65 тыс. человек (Las Colmas in Texas, USA). В широких пределах варьируется и число производств, самый крупный комплекс насчитывает 1300 производств (Burnside Industrial Park в Новой Шотландии, Канада).

Организация каждого из этих комплексов имеет свои особенности, однако ключевыми являются такие методы, как предупреждение отрицательного влияния процессов или производств на окружающую среду, эффективное использование сырьевых и энергетических ресурсов, учет всех последствий принятых решений (системный подход), планирование и проектирование с учетом экологических ограничений, управление качеством окружающей среды, промышленный метаболизм и оценка жизненного цикла веществ, безотходные или чистые производства и рециркуляция ресурсов.

2.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ МАЛООТХОДНЫХ И БЕЗОТХОДНЫХ (ЧИСТЫХ) ПРОИЗВОДСТВ

Промышленный метаболизм (Industrial Metabolism) прослеживает материальные и энергетические потоки от сырья через производство и использование до конечного обезвреживания и захоронения.

Промышленный метаболизм высветил драматическое различие между природными и антропогенными системами. В природных системах материальные потоки практически замкнуты. Побочные элементы и вещества, выделяемые в результате действия этих систем, хотя и имеют слишком малые концентрации, чтобы быть используемыми, однако оказывают серьезное токсическое воздействие на окружающую среду.

Дальнейшим развитием промышленного метаболизма является *метод оценки жизненного цикла* (Life-Cycle Assessment). Он включает три типа анализов:

- 1) инвентаризацию всех материальных и энергетических ресурсов, анализ их рассеивания в атмосфере, гидросфере и на поверхности суши;
- 2) качественную и количественную оценку их влияния на окружающую среду;
- 3) оценку всех возможных путей уменьшения их вредного воздействия на окружающую среду.

Создание малоотходных и безотходных (чистых) технологических процессов, производств и территориально-производственных комплексов является сложной, комплексной, многостадийной и многоуровневой задачей. Каждый этап и каждая стадия ее решения выдвигают свои требования [14].

2.2. ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОЦЕССУ

Технологические процессы в безотходном производстве должны обеспечить:

- существенное снижение (малоотходное производство) или практически исключить (безотходное производство) образование отходов и, следовательно, отрицательное воздействие на окружающую среду;
- комплексное использование всех компонентов сырья и максимально возможное использование потенциала энергоресурсов. Практически все сырьевые источники являются многокомпонентными, и в среднем более трети их стоимости приходится на сопутствующие элементы, которые могут быть извлечены только при комплексной переработке. Так, уже сейчас практически все серебро, висмут, платину, а также более 20% золота и около 30% серы получают попутно при переработке комплексных руд. Требование комплексного использования сырья в настоящее время возведено в ранг государственной политики. Комплексный подход, имеющий не только экологическое, но и важное экономическое значение, обеспечивает эффективность таких производств, что в значительной степени ускоряет их разработку и внедрение. В качестве примера можно привести комплексную переработку полиметаллических руд, апатитового и нефелинового концентратов, руд, содержащих редкие металлы. Уже в течение многих лет Волховский и Пикалевский глиноземные заводы перерабатывают нефелин по практически безотходной технологии с учетом всех компонентов сырья. При этом затраты на производство глинозема, соды, поташа и цемента, получаемых из нефелинового сырья, на 10–15% ниже стоимости получения этих продуктов другими промышленными способами. Следует отметить, что технологические процессы получения глинозема, соды и поташа из традиционного сырья связаны с образованием значительных количеств неиспользуемых токсичных отходов;

- внедрение геотехнологических методов разработки месторождений полезных ископаемых (например, подземное выщелачивание);
- применение безводных методов обогащения и переработки сырья на месте его добычи;
- использование гидрометаллургических методов переработки руд и отходов;
- применение методов порошковой металлургии;
- внедрение окислительно-восстановительных технологий с применением кислорода, водорода, озона, электрического тока и т. д.;
- использование в технологии сверхвысоких давлений и температур, эффекта сверхпроводимости;
- разработку плазменных процессов;
- замену химических процессов с использованием кислот и щелочей механическими методами, например при очистке поверхностей;
- замену прямоточных процессов противоточными;
- внедрение перспективных высокоэффективных мембранных, ионообменных, экстракционных и других методов для разделения и выделения ряда высокоценных и токсичных веществ;
- максимальную замену первичных сырьевых и энергетических ресурсов вторичными;
- создание энерготехнологических процессов. Комбинирование технологических и так называемых энерготехнологических процессов позволяет увеличивать производительность агрегатов, экономить энергоресурсы, сырье и материалы. В частности, таким образом организованы многотоннажные производства аммиака, азотной кислоты и карбамида. Организация энерготехнологического получения аммиака позволила снизить удельные расходы электроэнергии в 8 раз;
- внедрение непрерывных процессов;
- интенсификацию и автоматизацию процессов и т. д.

2.3. ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРНОМУ ОФОРМЛЕНИЮ, СЫРЬЮ, ЭНЕРГОРЕСУРСАМ И ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Безотходное производство предопределяет и новый подход к 1) аппаратурному оформлению, 2) сырьевым и энергетическим ресурсам и 3) выпускаемой продукции.

1. Требования к аппаратурному оформлению:

- разработка принципиально новых аппаратов, в том числе позволяющих совмещать в одном аппарате несколько технологических процессов;
- оптимизация размеров и производительности;
- герметизация;

- использование новых конструкционных материалов, позволяющих увеличить долговечность аппаратов, уменьшить их массу и т. д.

2. Требования к сырью и энергоресурсам:

- обоснованность их качества, в частности использование сырья и материалов, например технической воды, не более высокого, а строго определенного качества;
- предварительная подготовка сырья и топлива: извлечение из него наиболее токсичных компонентов, например серы из топлива, и т. п.;
- замена высокотоксичных материалов, например ртути, кадмия, свинца и т. д., на менее токсичные вещества при производстве красителей, катализаторов, батареек и других изделий и материалов;
- возможность замены сырья и энергоресурсов на нетрадиционные, местные, попутно добываемые и т. д.

3. Требования к готовой продукции, включая побочную и попутно образующуюся:

- безопасность;
- длительность использования;
- обеспечение возможности и условий для возвращения продукции в производственный цикл после физического и морального износа. Так, германская компания Volkswagen стала первой, взявшей на себя обязательство принимать обратно вышедшие из употребления автомобили для последующей их утилизации;
- биоразлагаемость при попадании в окружающую природную среду, например биоразлагаемые пакеты;
- удобство использования, починки, разборки и т. д.

2.4. ТРЕБОВАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

При проектировании безотходного производства предъявляются особые требования к самой его организации.

1. Ключевым здесь является принцип *системности*. В соответствии с этим принципом каждый отдельный процесс рассматривается как элемент более сложной производственной системы, а на более высоком иерархическом уровне — как элемент всей эколого-экономической системы. Принцип системности особенно важен при организации эколого-промышленных парков, так как он учитывает взаимосвязь и взаимозависимость производственных, социальных и природных процессов. В качестве примера можно привести создание в различных отраслях народного хозяйства замкнутых водооборотных систем, являющихся составной частью безотходного производства. Раньше при проектировании промышленных производств водоснабжение, использование воды

в самом производстве (для различных технологических нужд) и очистка сточных вод рассматривались отдельно. Результаты этого хорошо известны.

В настоящее время при создании замкнутых водооборотных систем промышленных предприятий водоподготовка, использование и очистка воды рассматриваются одновременно с основными технологическими процессами. Образующиеся при очистке сточных вод осадки перерабатываются в продукцию или выдаются в виде вторичного сырья. В результате очистка сточных вод из вспомогательной операции превращается в основной промышленный процесс со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Серьезные изменения претерпел и взгляд на качество воды, используемой в технологических процессах. Исторически сложилось так, что при разработке технологических схем на качество воды внимания не обращали. Вода из обычных источников в подавляющем большинстве случаев удовлетворяла технологов, а использованную воду просто сбрасывали в водоемы и только позднее стали направлять на очистные сооружения. Но оказалось, что для многих технологических процессов нет необходимости брать питьевую воду, так как можно использовать бывшую в употреблении. Поэтому вопросом первостепенной важности при создании замкнутых водооборотных систем стала разработка научно обоснованных требований к качеству воды для всех технологических операций и рациональное, многократное, каскадное ее использование.

2. Цикличность потоков веществ, например создание водооборотных и газооборотных циклов. Важнейшие из них — замкнутые водооборотные циклы, которые формируют производственную систему по аналогии с природным круговоротом воды. При этом должны соблюдаться следующие требования: водоснабжение и очистка сточных вод рассматриваются как единая система водного хозяйства, предприятия или региона. В основу технического водоснабжения должно лечь многократное использование воды сначала без очистки, а затем уже частично очищенной до качества, определяемого условиями использования. Очистка сточных вод должна в первую очередь ориентироваться на регенерацию локальных потоков отработанных технологических растворов. Методы очистки должны обеспечивать одновременно извлечение и утилизацию ценных компонентов.

В качестве примера организации технологических процессов с рециркуляцией газовых потоков можно привести замкнутую систему использования аспирационного воздуха после очистки на рукавных фильтрах в корпусах обогатительных фабрик асбестовых комбинатов. Подобная система позволяет очистить воздух от загрязнений (асбеста) до уровня предельно допустимых концентраций, получить дополнительную продукцию и поддерживать требуемую температуру внутри корпусов в зимний период времени без дополнительных затрат тепла.

3. Возможность *комбинирования производств* на основе комплексного использования сырья и энергоресурсов.

4. Возможность *отраслевой кооперации производств* на основе переработки и утилизации вторичных ресурсов. При организации малоотходных и безотходных (чистых) производств большое значение имеет комбинирование и межотраслевое кооперирование на базе комплексной переработки сырья и утилизации отходов. Примером такого комбинирования может служить создание производства карбамида на основе диоксида углерода, образующегося в качестве отхода при производстве аммиака. В СССР совмещение производства аммиака и азотной кислоты, переработки апатита и получения сложных удобрений, соединений стронция, редкоземельных элементов и фтора позволило создать практически безотходное производство. Особенно важна кооперация производств с большим количеством отходов (получение фосфорных удобрений, чугуна, стали, переработка угля) с производством строительных материалов.

5. *Обоснованность района и площадки строительства* с учетом фонового загрязнения окружающей среды, перспектив развития данного производства и других производств в регионе.

6. *Создание малоотходных и безотходных территориально-производственных комплексов* (ТПК) или *эколого-промышленных парков*, в рамках которых складываются наиболее благоприятные условия для кооперирования различных производств таким образом, чтобы отходы одних предприятий использовались другими, а также для решения транспортных проблем, размещения жилых массивов и рекреационных территорий и т. д.

Примерами являются территориально-производственные комплексы, создающиеся на Кольском полуострове, формируемые в Сибири и других регионах, а также упомянутые в начале этого раздела. В конечном итоге последовательные, целенаправленные действия должны привести к возникновению сначала в отдельных регионах, а в будущем и в масштабах всей страны непрерывного технологического круговорота веществ и связанных с ним превращений энергии.

7. *Рациональная организация производства*, при которой увеличение объема производства и расширение номенклатуры выпускаемой продукции не приводят к невосполнимым потерям природных ресурсов в регионе. Производство в данном случае должно оптимизироваться одновременно по энерготехнологическим, экономическим, экологическим и социальным параметрам.

Одним из примеров такого подхода и организации безотходного или чистого производства является утилизация пиритных огарков — отхода производства серной кислоты. В настоящее время пиритные огарки полностью используются в производстве цемента. Однако при

этом их ценнейшие компоненты, такие как медь, серебро и золото, не извлекаются, а оксиды железа используются менее эффективно. В то же время разработана и опробована экономически выгодная технология их переработки (например, хлоридная), позволяющая получать медь, благородные металлы и использовать железо по его прямому назначению. Выделение ценных компонентов из пиритных огарков будет более рациональным по сравнению с их включением в производство цемента, хотя в обоих случаях реализуется безотходная переработка.

8. Создание региональных систем (или центров) по переработке и обезвреживанию отходов, прежде всего токсичных. Это полигоны, заводы по производству строительных материалов, использующие и обезвреживающие некоторые токсичные материалы в силу особенностей своей технологии (обжиг и спекание при высоких температурах). Примером может служить Палемонасский керамический завод в Литве, утилизирующий около 20 видов токсичных отходов.

Как уже неоднократно отмечалось, главное в малоотходном и, тем более, безотходном или чистом производстве — не переработка отходов, а организация технологических процессов по переработке сырья таким образом, чтобы отходы не образовывались в самом производстве. Ведь отходы производства — это часть по тем или иным причинам неиспользованного или недоиспользованного сырья, полуфабрикаты, бракованная продукция, осадки и шламы очистных сооружений, не утилизируемые на данный период времени и поступающие в окружающую среду. Однако в большинстве случаев отходы являются сырьем для других производств и отраслей. Еще в прошлом веке великий Д. И. Менделеев отмечал: «В химии нет отходов, а есть неиспользованное сырье». В связи с этим академик Б. Н. Ласкорин предлагал сам термин «отходы» заменить на «продукцию незавершенного производства», чем, по существу, они и являются.

Говоря о месте переработки отходов в системе безотходного производства, хотелось бы обратить внимание на то, что в «Декларации о малоотходной и безотходной технологии и использовании отходов» на первом месте — малоотходное и безотходное производство, а на втором — использование отходов.

Конечной целью безотходного, или чистого, производства, как это уже неоднократно отмечалось, является максимально возможное удовлетворение потребностей людей (в пище, одежде, жилье и т. д.) без ухудшения (а иногда и с улучшением) среды обитания, т. е. **устойчивое развитие общества.**

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое промышленный метаболизм?
2. Для чего проводится оценка жизненного цикла вещества или изделия?
3. Какие требования предъявляются к технологическому процессу при создании безотходного производства?
4. В чем сложность производства биоразлагаемых пакетов?
5. Промышленная экология и прикладная экология — это одно и то же?

МОРАЛЬНО-ЭТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ. МЕТОДЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ

Свобода — это осознанная необходимость.

Г. В. Ф. Гегель

Практическое решение экологических проблем на всех уровнях (предприятие, регион, страна и планета в целом) высветило старую истину: *все решают люди (в рамках возможности биосферы и осознанной необходимости)*. От их отношения и понимания в первую очередь и зависит решение проблем. Поэтому вопросы образования и воспитания, прежде всего специалистов в данной области, относятся к важнейшим при решении всех экологических проблем и составляют один из разделов промышленной экологии.

Как говорил В. И. Вернадский, «в гуще, в интенсивности и в сложности современной жизни человек практически забывает, что он сам и все человечество, от которого он не может быть отделен, неразрывно связаны с биосферой — с определенной частью планеты, на которой они живут. Они геологически закономерно связаны с ее материально-энергетической структурой. В общежитии обычно говорят о человеке как о свободно живущем и передвигающемся по нашей планете индивидууме, который свободно строит свою историю. В действительности ни один живой организм в свободном состоянии на Земле не находится. Все эти организмы неразрывно и непрерывно связаны — прежде всего питанием и дыханием — с окружающей их материально-энергетической средой. Вне ее природных условий они существовать не могут» [14].

В Декларации Международного бизнес-совета предпринимателей по устойчивому развитию записано: «История человечества — это постоянно растущие потребности в природных ресурсах, замена истощающихся на новые, еще более интенсивная их эксплуатация. Но по мере накопления опыта мы должны быстрее осуществлять согласованные программы, постоянно корректируя и анализируя их. Для этого необходимо внести значительные поправки в систему обучения и подготовки кадров, способствуя разумным и сознательным изменениям условий жизни людей и создавая условия для более продуманных принципов потребления».

Речь идет о формировании экологической культуры, которая признавала бы нравственным все то, что способствует устойчивому развитию и процветанию природы и человека, культуры, которая провозгласила бы важнейшим этическим принципом — великую ценность жизни в гармонии с природой.

3.1. ОБЩЕСТВЕННОСТЬ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Уильям О. Дуглас, член Верховного суда США, отмечал, что «корень всех проблем окружающей среды лежит в отношениях между людьми, их желаниях и привычках» [16].

Изменения во взаимоотношениях между населением и окружающей средой в значительной мере зависят от изменений, происходящих в обществе. Уже на заре человечества люди знали, что их действия могут наносить ущерб природным ресурсам, от которых зависит их жизнь. В районе Средиземноморья, Ближнего Востока и Средней Азии вырубка лесов, чрезмерный выпас скота и эрозия почв нарушили экологический баланс; в южных и центральных районах Китая и Центральной Америки отмечены те же явления. Некоторые процветающие цивилизации в этих районах исчезли из-за снижения сельскохозяйственной продуктивности.

Промышленный рост и разрушение девственных районов подхлестнули формирование и развитие природоохранного движения в первой половине XX в. В конце 60-х гг. возникло движение, получившее название «*энвайронментализм*» (от английского *environment* — окружающая среда), которое пользуется широкой народной поддержкой. В ряде стран, таких как ФРГ, Швеция, Нидерланды и других, возникли политические партии «зеленых», или борцов за окружающую среду, в других странах энвайронменталистические течения возникли внутри уже существующих политических партий.

Учитывает растущую озабоченность широких народных масс загрязнением окружающей среды и нерациональным использованием природных ресурсов и церковь. Так, папа Иоанн Павел II провозгласил Франциска Ассизского (итальянского проповедника, основателя Ордена Францисканцев, автора религиозных поэтических произведений, жившего в 1182–1226 гг.) святым покровителем экологии.

Исследования общественного мнения, проведенные в ряде стран, свидетельствуют о неослабевающем интересе широких масс к экологическим проблемам, хотя приоритетность проблем различается по странам и даже по районам в рамках одной страны. Опрос общественного мнения в США показал, что люди наиболее остро осознают проблему удаления ядерных отходов. Далее в порядке убывания идут: удаление промышленных отходов, ущерб, наносимый морской среде, загрязнение воды и воздуха. В Японии на первом месте у общественности стоит проблема загрязнения воздуха, за ним — загрязнение воды, ущерб природной среде, проблема шума и городского мусора. В Канаде опросы общественного мнения показали, что загрязнение воды и кислотные дожди находятся в верхней части списка, далее — энергетика и особенно ядерная энергетика, токсичные отходы, редкие и исчезающие виды растений и животных, рациональное лесопользование.

Во многих развивающихся странах этот список возглавляют загрязнение воды и санитарные условия. В число других проблем, вызывающих наибольшую озабоченность, входят исчезновение лесов (Индия, Кения, Индонезия, Бразилия), опустынивание (Эфиопия и другие страны зоны Сахеля), ухудшение качества подземных вод (Катар, Бахрейн), загрязнение воды и воздуха, шум, городской мусор (Египет).

Общественная поддержка усилий по улучшению качества окружающей среды со временем не только не ослабла, а, наоборот, возросла. Данные опросов общественного мнения США, проводимые в 70–80-е годы прошлого века, свидетельствуют о поддержке большинством населения высокого уровня государственных затрат на охрану окружающей среды, жестких экологических стандартов и приоритетности этих вопросов в целом. Более того, оценки показывают, что 80–90% американцев выступают за расширение государственных мер по борьбе с загрязнением, даже если придется за это больше платить, а 2/3 жителей считают, что лучше закрыть предприятие и потерять работу, чем допустить излишнее загрязнение окружающей среды.

К сожалению, широкая общественность в нашей стране еще только пробуждается. Закрытие Приозерского целлюлозно-бумажного комбината, функционирование которого поставило на грань катастрофы снабжение водой многомиллионного Санкт-Петербурга, потребовало героических усилий ученых, медиков и специального постановления правительства.

Весьма поучительна история с закрытием Байкальского целлюлозно-бумажного комбината, загрязняющего мировую жемчужину — Байкал. В результате многолетней борьбы российской и мировых экологических организаций и научной общественности комбинат был закрыт. Однако в январе 2010 г. распоряжением премьер-министра РФ В. В. Путина его снова открыли, и... он снова продолжает губить мировую сокровищницу превосходной питьевой воды.

Наряду с громадным положительным эффектом движения «зеленых» в решении экологических проблем наблюдаются и некоторые отрицательные последствия. Опрос общественного мнения в разных странах показал, что население в целом за строительство природоохранных сооружений и других жизненно важных объектов, но... **«только не в нашем дворе»**. Такое название получил этот принцип во многих промышленно развитых странах. Причины здесь разные: отсутствие должной информации, недостаток экологического образования и обычный человеческий эгоизм.

В Москве один из старых мусороперерабатывающих заводов планировалось переоборудовать, а также построить установку для демеркуризации ртутных ламп. Дело в том, что ртутные лампы содержат от 50 до 100 мг ртути, а таких ламп ежегодно в Москве используется более 10 млн штук. После выхода из строя лампы выбрасываются на свалки, большая их часть бьется, а ртуть поступает в окружающую

среду со всеми вытекающими отсюда последствиями. Общественность и санитарные врачи воспротивились строительству этой установки¹⁾, несмотря на то что годичное загрязнение окружающей среды ртутью от нее не превысило бы количества ртути из 15 разбитых ламп (!). И это из миллионов переработанных! Между тем в каждом учреждении и на каждом предприятии ежегодно бьются сотни и тысячи ламп. Подобных примеров можно привести множество.

Исследование, проведенное Агентством по охране окружающей среды США, показало серьезные расхождения во мнениях между общественностью и экспертами по ряду экологических проблем. В то время как общественность выражает большое беспокойство по поводу опасных отходов и аварий на химических предприятиях, эксперты (речь идет о серьезных специалистах, а не защитниках корпораций) отводят этим вопросам второстепенное или даже третьестепенное место. И, наоборот, вопросы, которым эксперты отводят первостепенную роль, такие как загрязнение пестицидами, загрязнение воздуха внутри помещения (особенно от курения), воздействие химических веществ на работников производств и глобальное потепление (парниковый эффект), рассматриваются общественностью как факторы среднего или малого риска. По сведениям Агентства по охране окружающей среды, одна из главных причин этих расхождений заключается в том, что общественность не располагает всей информацией, доступной экспертам; другая причина кроется в том, что эксперты и общественность по-разному понимают понятие опасности. Большая разница существует между добровольно и принудительно принимаемым на себя риском. Например, как курение, так и вождение автомобиля предполагают взятие на себя добровольных рисков, и поэтому многие находят их приемлемыми.

С другой стороны, стремление общественного мнения к *«нулевому риску»* зачастую ставит государственные органы в тупик, поскольку угрожает подорвать национальную, политическую и экономическую стабильность. «Нулевого риска» на практике не существует. Какой бы продуманной и совершенной ни была технология, полностью безопасной техники не существует, как нет полной гарантии от человеческой ошибки. Поэтому руководителям, принимающим решения, надо понимать отношение общественности и ее реакцию на опасность и критически относиться к статистическим оценкам этой опасности. Без такого понимания решения и политика, продиктованные благими намерениями, могут оказаться неэффективными. Все это говорит об исключительной важности экологической информации, экологического образования и экологической культуры и морали.

Необходима серьезная экологическая подготовка в системе повышения квалификации кадров всех отраслей народного хо-

¹⁾ В настоящее время такие установки успешно работают (п. 7.4).

заяйства. Другая сторона дела — это техническая информация для специалистов. Сейчас существует достаточно технических решений, обеспечивающих необходимый уровень экологического состояния многих предприятий, однако специалисты просто не знакомы с современными технологиями. Нужна работающая система повышения экологической квалификации инженерно-технического персонала и современные, доступные банки данных передовых экологически обоснованных технологических процессов и производств.

Однако осведомленность отнюдь не обязательно приводит к изменению модели поведения специалистов и широкой общественности в целом. Несмотря на то что во многих странах средства массовой информации призывают к рациональному использованию энергии, воды и других ресурсов, достигнутый прогресс зачастую весьма незначителен, особенно в развивающихся странах. Весьма скромные результаты и в нашей стране. Очень важна внутренняя убежденность человека — этика его поведения.

3.2. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭТИКА

Восприятие и отношение общественности к экологическим вопросам определяются культурными традициями, социально-экономическими и политическими факторами. Нравственные основы отношения человека к природе рассматривает *экологическая этика*.

К сожалению, многие отождествляют понятия «экологические знания» и «экологическая культура» или «этика». В большинстве случаев это происходит не потому, что люди никогда не сталкивались с последними понятиями, а потому, что те или иные ситуации, касающиеся воздействия на природу, они оценивали (и до сих пор оценивают) с точки зрения эколого-экономических соображений. Морально-этический аспект проблемы принимается во внимание в весьма малой степени или пренебрегая вовсе.

Истоки экологической этики обнаруживаются в древнейших письменных источниках. Так, более тысячи лет до нашей эры в Персии Заратустра проповедовал охрану почвы, разумный режим выпаса, охрану лесов от вырубки. Заратустра учил, что весь материальный мир: горы, озера, земля, небо, ветер и реки — священны, а человек и животные неразрывно связаны между собой, страдания одних порождают страдания других.

Возможно, одной из наиболее значимых концептуальных ценностей, дошедших до нас с древнейших времен, является *моттанай* в Японии. Согласно этой концепции, все в мире даровано Создателем, терять что-либо из дарованного есть грех. Эта система ценностей оказала огромное влияние на мировоззрение жителей Японии и стимулировала глубоко укоренившееся в них чувство бережного отношения к различным природным ресурсам. Например, с 1973 по 1988 г. Япо-

ния шла в первых рядах борьбы за экономию энергии в мире; она добилась заметного снижения расхода энергии на единицу валового национального продукта — на 29%, тогда как в Западной Европе — на 16%.

Во многих странах существуют серьезные течения по приданию природоохранной деятельности религиозного характера. Без этого, считают последователи данных течений, природоохранительное законодательство не будет достаточно эффективным.

В Сеульской декларации по экологической этике (1997 г.) сказано: «Диапазон и широта экологических проблем таковы, что они должны быть осознаны как имеющие религиозные и научные приоритеты. **Усилия по охране окружающей среды следует признать святыми** для верующих. Религиозные и духовные отцы должны взять на себя ответственность и в полной мере осознать эту задачу. Вопрос целостности природы и справедливости должен быть приоритетным вопросом для верующих». В преамбуле этой декларации сказано: «Мы должны прийти к пониманию, что текущий **глобальный кризис** окружающей среды есть **результат системы ценностей**, основывающихся на человеческой жадности и чрезмерном материализме, а также на ошибочном представлении, что наука и техника могут решить все наши проблемы».

В 1985 г. Комитет по охране окружающей среды Международной федерации инженерных организаций принял Кодекс экологической этики инженеров, состоящий из семи заповедей.

1. В полную силу используйте свои способности, проявляйте смелость духа, энтузиазм, самоотверженность, стремитесь к наивысшим техническим результатам, которые будут содействовать процветанию человечества.

2. Добивайтесь конечной цели вашей работы при возможно меньшем потреблении сырья и энергии и минимальном выходе отходов и любых видов загрязнений.

3. Особое внимание уделяйте обсуждению последствий ваших предложений и действий — намеренных и случайных, сиюминутных и долгосрочных; учитывайте при этом их влияние на здоровье людей, социальную справедливость и принятую систему ценностей.

4. Тщательно изучайте ту окружающую среду, на которую будет оказано воздействие, анализируйте все изменения, которые могут возникнуть в вовлеченных экосистемах, выбирайте оптимальное с экологической точки зрения решение.

5. Содействуйте принятию мер по восстановлению и, если это возможно, улучшению состояния окружающей среды. Включайте эти меры в ваши разработки.

6. Отклоняйте любые предложения, наносящие вред природе, выносите наилучшее социальное и политическое решение.

7. Помните, что принципы взаимозависимости экосистем, сохранения ресурсов и взаимной гармонии являются основой нашего дальнейшего существования, они — граница, которая не может быть нарушена.

Как видно, основная идея кодекса состоит в том, что инженер должен найти такое решение, которое сохранило бы устойчивое развитие общества без разрушения окружающей человека и других живых организмов среды обитания.

Придавая особое значение этой проблеме, Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) декларировала, что там, где существует угроза серьезного или необратимого воздействия на окружающую среду, отсутствие полной научной ясности в стратегии борьбы с воздействием на окружающую среду не может служить оправданием откладывания дорогостоящих мер по предотвращению деградации окружающей среды.

Значительный вклад в экологическую этику внесен при разработке *Хартии Земли* (иногда её называют «Декларация Земли»). Хартия Земли разрабатывалась Международным сообществом более 10 лет и в 2003 г. на Пленарном заседании Конференции ЮНЕСКО была принята Резолюция: **«Рассматривать Хартию Земли в качестве важного этического кодекса устойчивого развития, а также признать ее этические принципы, ее цели и содержание как выражение видения ЮНЕСКО своей стратегии...»**

В преамбуле Хартии Земли сказано: «Мы вступили в критический момент нашей истории, когда человечество должно выбрать свое будущее. Так как мир становится все более и более взаимозависимым и хрупким, будущее представляет собой и большую опасность, и большую надежду. Для того чтобы развиваться далее, мы должны осознать, что, несмотря на огромное многообразие культур и форм жизни, мы являемся одной семьей и одним взаимосвязанным мировым сообществом с общей судьбой. Мы должны объединиться и создать **новое устойчивое глобальное общество, основанное на уважении к природе, универсальным правам человека, экономической справедливости и культуре мира.** Для этого необходимо, чтобы мы, народы Земли, провозгласили нашу ответственность друг перед другом, всемирным сообществом и будущими поколениями».

И далее: «Нам безотлагательно необходимо создать единое представление об общечеловеческих ценностях, которые будут являться этической основой для появляющегося мирового сообщества. Поэтому, вместе и с надеждой, мы утверждаем следующие взаимозависимые принципы устойчивого развития как общепринятые стандарты, которыми должны руководствоваться все люди, организации, деловые круги, правительства и транснациональные институты и по которым должна

оцениваться их деятельность». Эти принципы заключаются в следующем:

1. Уважать Землю и все живое во всем его многообразии. Признавать, что все живое на Земле взаимозависимо и любая форма жизни имеет свою ценность, независимо от пользы, которую представляет для человечества.
2. Заботиться о живом сообществе с чувством понимания, сострадания и любви.
3. Создавать справедливые, открытые для участия, устойчивые и мирные демократические сообщества. Стремиться к экономической и социальной справедливости, давая возможность каждому человеку иметь надежные и достаточные средства к существованию, неся при этом экологическую ответственность.
4. Сохранять богатство и красоту Земли для настоящего и будущих поколений. *Передавать будущим поколениям ценности, традиции и институты, которые обеспечивают процветание людей и экологических сообществ на Земле.*

По аналогии с христианской заповедью «не убий» и клятвой Гипократа у медиков «не повреди», все человечество должно проникнуться идеей — *не повреди природе ни при каких обстоятельствах, ибо природа — действительно прародительница всего живого.*

Поэтому первокурсники вместе со студенческим билетом получают «Морально-этический кодекс студентов» Института химии и проблем устойчивого развития (ИПУР) РХТУ им. Д. И. Менделеева (см. Приложение 5), а все выпускники дают следующую «Клятву» и получают ее в виде вкладыша в диплом.

Клятва

выпускника Института химии и проблем устойчивого развития
РХТУ им. Д. И. Менделеева

Получая высокое звание выпускника Института химии и проблем устойчивого развития РХТУ им. Д. И. Менделеева, *клянусь всегда и везде:*

- честно исполнять свой профессиональный долг, в полную меру используя свои способности и приобретенные в стенах Менделеевского университета знания, умения и навыки;
- непрерывно совершенствовать профессиональное мастерство, постоянно изучая передовой отечественный и международный опыт;
- выполняя любую работу, следовать принципам: *«думай глобально, действуй локально», «удовлетворение потребностей нынешнего поколения не должно лишать будущие поколения возможности удовлетворять их нужды»;*
- способствовать внедрению таких способов производства и потребления, которые гарантируют сохранение восстановительных способностей Земли и на-

- правлены на рост благополучия общества и предотвращение аварий и катастроф любого вида;
- всегда помнить, что деградацию окружающей среды легче предупредить, чем устранить, а *принципы устойчивого развития являются основными для нашей страны и планеты в целом*;
 - строго соблюдать этические нормы и правила по отношению к людям и биосфере;
 - помнить, что *«свобода — это осознанная необходимость»*.

Клянусь, клянусь, клянусь!

3.3. МЕТОДЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ

В настоящее время большинство ведущих ученых и предпринимателей в развитых странах пришли к пониманию того бесспорного факта, что дешевле и эффективнее предотвращать нерациональное использование природных ресурсов и образование отходов, чем бороться с последствиями неразумного промышленного производства. Необходимо бороться не со следствием, а устранять причины образования отходов, оскудения природных ресурсов и загрязнения окружающей среды путем широкого внедрения малоотходных и безотходных или чистых технологических процессов и производств. Несмотря на широкую популярность такого подхода, основные усилия и средства все еще направляются на ликвидацию уже образовавшихся отходов.

В одном из правительственных докладов США отмечается, что в стране более 99% средств (федеральных и штатов) идет на борьбу с возникающими загрязнениями, менее 1% фондов тратится на то, чтобы снизить производство отходов. Что касается в целом стран — членов Организации экономического сотрудничества и развития, то здесь немногим более 20% инвестиций, предназначенных на борьбу с загрязнением, вкладываются в разработку экологически чистых технологий [12].

Можно выделить три основные причины, препятствующие выделению необходимых средств для предотвращения загрязнений окружающей среды промышленностью: политическая (вопрос приоритетов), экономическая и техническая.

По экспертным оценкам, в США на первую, политическую — приходится 60%, вторую, экономическую — 30%, а на долю технической остается всего 10%. У нас ситуация примерно следующая: 50, 35 и 15%. Последняя величина больше из-за сложности приобретения оборудования, систем автоматизации и контроля. С финансами у нас также больше проблем, чем у американцев. Ну, а главная причина интернациональная — вопрос приоритетов в обществе и у руководителей промышленности — предпринимателей.

Многие руководители считают, что природоохранная деятельность является второстепенной, при этом требует больших средств и уходит от основной цели предпринимательства. В то же время передовые компании, например Du Pont, считают, что предотвращение загрязнений — это больше чем экономический стимул или требование. Это приоритетная область экологической политики, с позиций которой необходимо постоянно оценивать свою деятельность. Международный бизнес-совет предпринимателей по устойчивому развитию считает, что «для достижения устойчивого развития необходима переориентация предпринимательской деятельности в сторону стабильной окружающей среды и процветающей экономики одновременно». *Это означает, что экология и экономика взаимосвязаны и не исключают, а дополняют друг друга на пути улучшения качества жизни в мировом масштабе* [9]. Поэтому во всех развитых странах уделяется исключительно большое внимание стимулированию природоохранной деятельности. И ключевым здесь является *природоохранительное законодательство*.

Наиболее взвешенной и всесторонне обоснованной является следующая точка зрения: за воздействие продукции на окружающую среду на всех стадиях ее производства и потребления должен отвечать производитель. Только производитель в наибольшей мере располагает знаниями и средствами, необходимыми для изменения производимого им продукта, и поэтому несет полную ответственность за обеспечение незагрязняющего производства незагрязняющими изделиями и материалами, а также за их экологически обоснованную переработку после выхода из употребления.

Еще древнегреческий ученый Платон в книге «Законы» писал, предвосхищая современный принцип *«кто загрязняет, тот и платит»*: «Применение любых снадобий легко загрязняет воду. Поэтому вода нуждается в защите согласно следующему принципу: тот, кто сознательно загрязняет воду, обязан, помимо уплаты штрафа, очистить ручей или водоем предписанным методом».

В Постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 608 от 23 мая 1986 г. (а тогда они имели силу закона) особо подчеркивалась ответственность производителей за охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов и судьбу продукции. Так, в пункте 16 Постановления сказано: *«В целях обеспечения наиболее эффективного применения материальных ресурсов и охраны окружающей среды установить, что организация, ответственная за разработку новых материалов и продукции, одновременно разрабатывает технологию повторного использования и переработки после истечения срока службы или эксплуатации, предусмотрев создание соответствующих мощностей одновременно с созданием мощностей по производству материалов и продукции»*.

В Законе СССР 1987 г. «О государственном предприятии (объединении)» в статье 20 закреплено положение о том, что «предприятие обязано осуществлять организацию производства на базе безотходных технологий как главного направления сохранности природной среды».

В Законе РФ «Об охране окружающей природной среды» (от 19 февраля 1991 г.) раздел 3 посвящен экономическому механизму охраны окружающей природной среды, а статья 24 «Экономическое стимулирование охраны окружающей природной среды» гласит: «В Российской Федерации осуществляется стимулирование рационального природопользования и охраны окружающей природной среды путем:

- установления налоговых и других льгот, предоставляемых государственным и другим предприятиям, учреждениям и организациям, в том числе природоохранным, при внедрении малоотходных и безотходных технологий и производств, использовании вторичных ресурсов, осуществлении другой деятельности, обеспечивающей природоохранный эффект . . . ;
- введения специального налогообложения экологически вредной продукции, выпускаемой с применением экологически опасных технологий . . . »

В целях повышения экологической культуры общества и профессиональной подготовки специалистов, этим же Законом предусматривается установление системы всеобщего, комплексного и непрерывного экологического воспитания и образования, охватывающего весь процесс дошкольного и школьного воспитания и образования, профессиональной подготовки специалистов в средних и высших учебных заведениях, повышение их квалификации с использованием средств массовой информации (статья 73).

Как известно, образование, особенно с раннего возраста, имеет исключительно большое воздействие на человека, так как формирует отношение к окружающей среде и природе в целом, а это является **ключевым** моментом в экологическом воспитании человека. В соответствии с профилем специальных средних и высших учебных заведений предусматривается преподавание специальных курсов по охране окружающей природной среды и рациональному природопользованию (статья 74, пункт 2).

Имеется и ряд других федеральных и региональных природоохранных законов и нормативных документов, которые позволяют решать различные экологические проблемы должным образом.

Как видно из приведенного материала, уже имеющаяся в РФ законодательная и нормативная база обеспечивает конституционное право россиян на нормальную окружающую среду и достойную жизнь. **Дело за делом.**

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как вы понимаете лозунг: «Свобода — это осознанная необходимость»?
2. Этическая культура и этика — это одно и то же?
3. Какова основная идея Хартии Земли?
4. Каков смысл клятвы Гипократа?
5. Каких законов не хватает для успешного решения природоохран-ных проблем?

Часть II

ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ. ПЕРЕРАБОТКА И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ОТХОДОВ

Глава 4

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗДУХА

Все, что попадает в воздух, рано или поздно возвращается на землю, чтобы принять участие в природных процессах, происходящих в почве и воде.

Барри Коммонер, «Замыкающийся круг»

В целом по Российской Федерации валовые объемы выбросов загрязняющих веществ¹⁾ в атмосферу от стационарных источников в промышленности в 2005 г. составили 20,4 млн т (в 2000 г. — 18,82, а в 1996 г. — 20,3 млн т). За 2001–2005 гг. объем выбросов взвешенных веществ увеличился на 3,3%, формальдегида — на 12,5%, бенз(а)пирена — на 32%. Без изменения остались выбросы NO_x, уменьшились выбросы SO₂ на 11% и CO на 8,6%. Валовый выброс загрязняющих веществ в атмосферу в 2010 г. составил 19,07 млн тонн.

Ниже представлен вклад в загрязнение атмосферного воздуха основных отраслей промышленности РФ (%).

Транспорт	40
Электроэнергетика	28,5
Цветная металлургия	21,6
Черная металлургия	15,2
Нефтедобыча	7,9
Нефтепереработка	5,1
Машиностроение	3,6
Угольная промышленность	3,6
Газовая промышленность	3,3
Производство строительных материалов	3,2
Химическая промышленность	2,7
Деревообработка	2,6
Пищевая промышленность	1,5
Оборонная промышленность	0,6
Легкая промышленность	0,4

¹⁾Загрязняющими веществами являются вещества, концентрации которых превышают фоновые или установленные санитарно-гигиенические нормативы.

Степень улавливания и обезвреживания вредных веществ в настоящее время остается на уровне 78–79%, взвешенных частиц — 90–95%.

Особое беспокойство вызывает загрязнение атмосферы выбросами от автомобильного транспорта, доля которого в крупных городах достигает 90%. Количество автомобилей, использующих в качестве топлива газ, не превышает 2%, доля грузовых автомобилей, работающих на дизельном топливе, в среднем по России составляет 18%, а автобусов — примерно 13%.

Проблему загрязнения атмосферы в ряде городов страны главным образом определяют высокие концентрации взвешенных веществ, диоксида азота, бенз(а)пирена, формальдегида, фенола и фторида водорода.

Несмотря на сокращение производства и закрытие многих предприятий, уровень загрязнения атмосферы остается высоким: в целом по городам России средние концентрации диоксида азота и сероуглерода в воздухе превышают ПДК, а формальдегида и бенз(а)пирена — 2 ПДК.

4.1. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ ПО СНИЖЕНИЮ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА

Среди многочисленных направлений работ по снижению загрязнения воздушного бассейна важнейшими являются следующие:

- внедрение эффективных экономических и моральных методов стимулирования деятельности по охране атмосферы, включая различные поощрения, плату за выбросы и т. д.;

- сокращение выбросов от автомобильного транспорта за счет совершенствования двигателей, внедрение нейтрализаторов выхлопных газов, увеличение доли дизельных и работающих на газообразном топливе двигателей, прекращение выпуска этилированных бензинов, а также лучшая организация дорожного движения;

- внедрение малоотходных и безотходных (чистых) технологических процессов и производств, прежде всего в теплоэнергетике, черной и цветной металлургии, химической, нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности, при производстве строительных материалов и в других отраслях;

- оптимизация энергетического баланса страны: закрытие мелких и устаревших агрегатов, котельных и других установок, использование альтернативных источников энергии и т. д.;

- внедрение экономически оправданных процессов сжигания топлива, предварительного обессеривания угля, нефти и газа, процессов глубокой переработки угля и сланцев перед сжиганием (газификация, пиролиз);

- внедрение современных методов пылегазоочистки дымовых и других отходящих газов с высоким КПД и максимальным использованием продуктов очистки. Особое внимание следует уделить комплексной очистке отходящих газов от оксидов серы и азота, выделению и ис-

пользованию углеводородов, сероводорода, соединений фтора, хлора, тяжелых металлов, обезвреживанию канцерогенных веществ;

– развитие эффективных систем контроля за загрязнением атмосферы, в том числе автоматизированных и дистанционных систем.

4.2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА МЕТОДА ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ И АЭРОЗОЛЕЙ. ВЫБОР АППАРАТУРЫ

Выбор метода и оборудования, обеспечивающих необходимую степень очистки, зависит от большого числа параметров. Одним из главных среди них является эффективность работы системы по отношению к частицам, преобладающим в газовом потоке. Приведенная в табл. 4.1 зависимость эффективности улавливания от фракционного состава твердых частиц и аэрозолей позволяет провести первоначальную оценку возможностей различных пылеочистных устройств. В процессе выбора оборудования необходимо учитывать степень неравномерности газового потока, так как отклонение в 10% от номинальных регламентированных значений является обычной нормой работы предприятий.

На выбор оборудования и материалов для его изготовления, безусловно, оказывают влияние химические и физические свойства загрязнителей. Еще одним важным критерием является концентрация загряз-

Таблица 4.1

Зависимость эффективности улавливания от фракционного состава твердых частиц и аэрозолей в газовом потоке для различных типов оборудования

Тип оборудования	Общая эффективность, %	Эффективность улавливания, %				
		Размер частиц, мкм				
		< 5	5–10	11–20	21–40	> 40
Пылеосадительная камера	58,6	7,5	22	43	80	90
Обычный циклон	65,3	12	33	57	82	91
Циклон с удлиненным конусом	84,2	40	79	92	95	97
Электрофильтр	97,0	72	94,5	97	99,5	100
Полый скруббер, орошаемый водой	98,5	90	96	98	100	100
Скруббер Вентури	99,5	99	99,5	100	100	100
Рукавный фильтр	99,7	99,5	100	100	100	100

нителers в очищаемом газе, поскольку при высоких ее значениях (выше 230 г/м^3) обычно вводится стадия предварительной очистки. Необходимо принимать во внимание также температуру, давление, влажность газового потока, возможность остановки газоочистного оборудования для текущего ремонта и ряд других факторов.

С развитием техники происходит постоянное изменение отдельных характеристик газоочистного оборудования, поэтому детальное сравнение различных устройств следует проводить по данным соответствующих каталогов. Но основные принципы выбора наиболее широко используемого оборудования неизменны.

Так, *циклоны* обычно используются в тех случаях, когда пыль крупнодисперсная, ее концентрация превышает 2 г/м^3 и не требуется высокой эффективности улавливания (рис. 4.1).

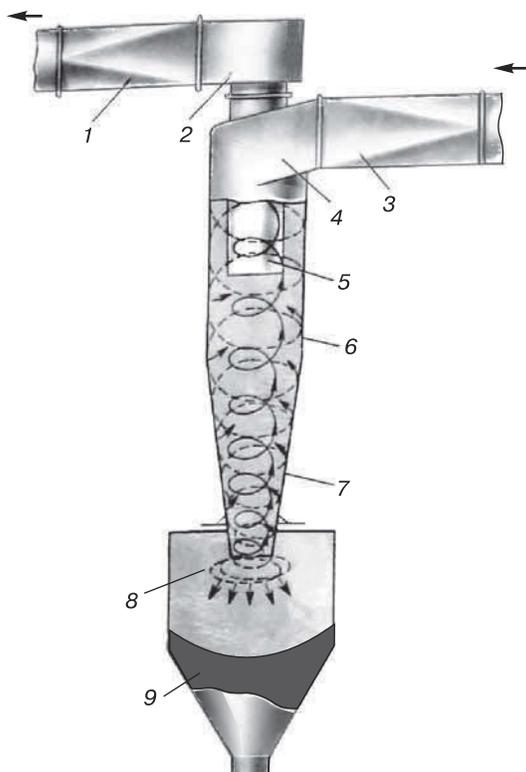


Рис. 4.1. Циклон: 1 — выход очищенного газа; 2 — камера очищенного газа; 3 — патрубок входа запыленного газа; 4 — винтообразная крышка; 5 — выхлопная труба; 6 — корпус (цилиндрическая часть); 7 — корпус (коническая часть); 8 — бункер; 9 — пылевой затвор

Скрубберы мокрого типа целесообразно использовать, если: мелкие частицы должны улавливаться с относительно высокой эффективностью; желательно охлаждение газа (при этом повышение его влажности не служит препятствием); газы представляют опасность в пожарном отношении и необходимо улавливать как твердые, так и газообразные вещества (рис. 4.2).

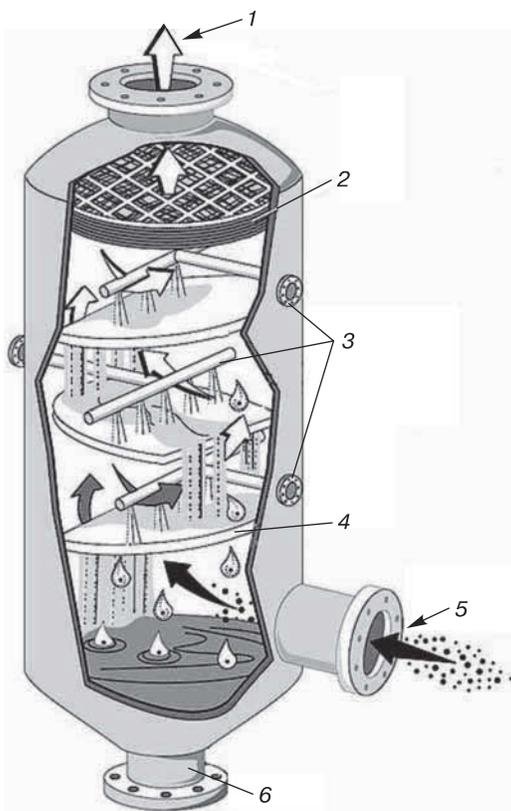


Рис. 4.2. Скруббер: 1 — выход газа; 2 — каплеотбойник; 3 — форсунки для орошающей жидкости; 4 — разделительная перегородка для изменения направления газа и жидкости; 5 — вход газа; 6 — слив

Рукавные фильтры (рис. 4.3) используются в тех случаях, когда: необходима очень высокая эффективность улавливания; пыль представляет собой ценный продукт, который необходимо собрать в сухом виде; температура газа всегда выше его точки росы; объемы относительно невелики (хотя имеются рукавные фильтры и на большую производительность); температура относительно низка (лимитирует термостабильность материала ткани).

Электрофильтры (рис. 4.4) применяют, если для улавливания мелких частиц необходима высокая эффективность, обработке подлежат очень большие объемы газа и необходимо утилизировать ценные продукты.

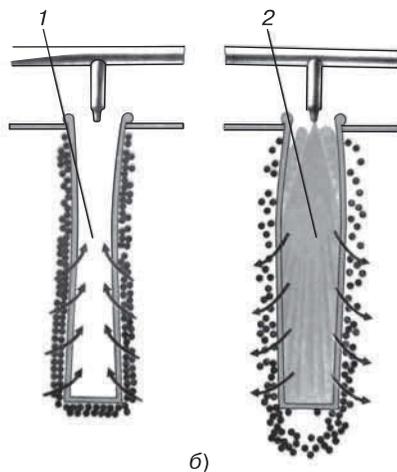
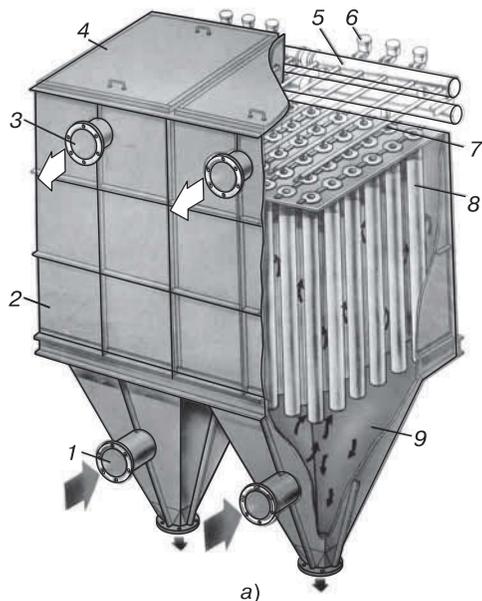


Рис. 4.3. Рукавный фильтр: *а* — общий вид: 1 — вход запыленного газа; 2 — корпус; 3 — выход очищенного газа; 4 — крышка; 5 — коллектор сжатого воздуха; 6 — клапанная секция; 7 — подвод сжатого воздуха; 8 — рукав; 9 — бункер; *б* — схема работы рукавного фильтра: 1 — очистка от пыли; 2 — регенерация фильтра сжатым воздухом

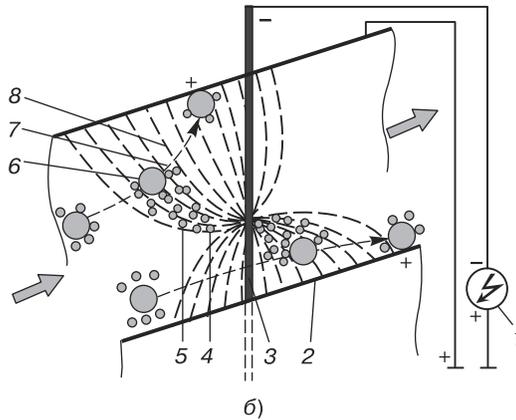
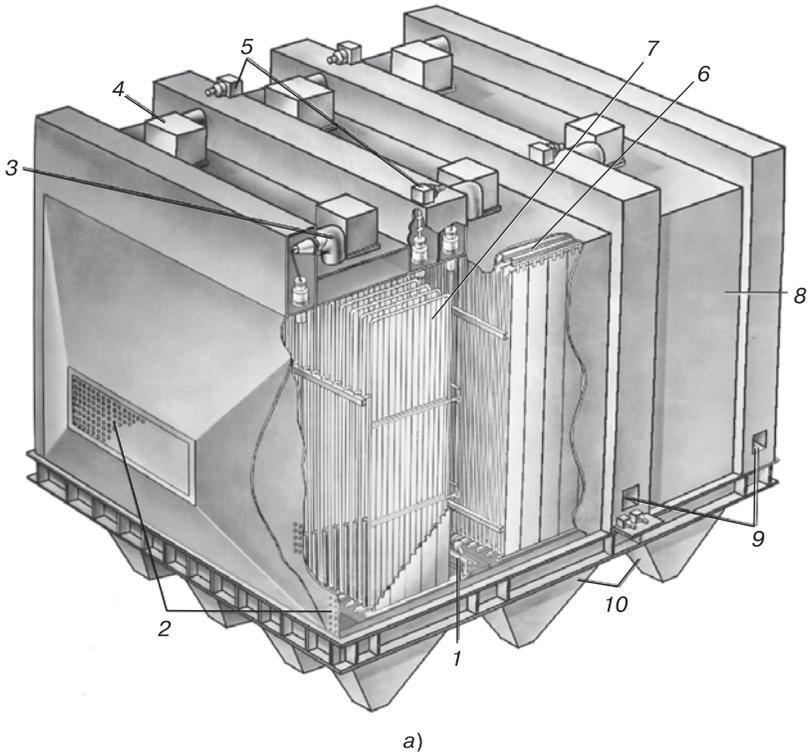


Рис. 4.4. Электрофильтр: *а* — общий вид; 1 — механизм встряхивания осадительных электродов; 2 — газораспределительная решетка; 3 — защитная коробка для подвода тока; 4 — электропитание; 5 — механизм встряхивания коронирующих электродов; 6 — коронирующий электрод; 7 — осадительный электрод; 8 — корпус; 9 — люк обслуживания; 10 — бункер; *б* — схема электростатического осаждения пыли: 1 — электропитание; 2 — осадительный электрод; 3 — коронирующий электрод; 4 — электрон, 5 — молекула газа; 6 — осаждаемая частица; 7 — траектория осаждаемой частицы; 8 — электрическое поле

4.3. ОЧИСТКА ТОПОЧНЫХ ГАЗОВ ОТ ДИОКСИДА СЕРЫ

Уменьшение содержания серы в топочных газах может достигаться разными методами: использованием малосернистых углей; предварительным удалением серы из угля; снижением количества серы, выделяющейся в газовую фазу при горении (связывание серы, например, в сульфат кальция); удалением серы из топочных газов; предварительной переработкой нефти, угля, сланца в жидкое или газообразное горючее (с удалением серы). Поскольку наиболее широко в мировой практике применяются методы обессеривания топочных газов («на краю трубы») и предварительное удаление серы из нефти и угля, этим методам уделяется основное внимание. Удаление серы при переработке нефти является стандартной технологической операцией.

Предварительное удаление серы из угля может осуществляться физическими, химическими и микробиологическими методами. *Физическими* методами (гравитационными и магнитными) удаляется пиритная сера — не более 50% от общего ее содержания. Микробиологические методы широкого распространения не получили, так как для проведения процесса требуется продолжительное время (несколько дней).

Несмотря на то что *химическим* обессериванием занимаются в развитых странах (особенно в США) десятки лет и публикации в печати на этот счет довольно оптимистичны, методы еще не вышли из стадии опытно-промышленных испытаний и по эффективности и экономичности значительно уступают методам обессеривания топочных газов. Особую сложность представляют методы удаления органической серы, степень очистки от которой не превышает 40%. Для того чтобы отходящие топочные газы тепловых электростанций соответствовали санитарным нормам (без дополнительной очистки), степень предварительного удаления серы из угля (суммарно органической и пиритной) должна быть не менее 90%, чего пока достичь не представляется возможным.

Основными промышленными методами очистки топочных газов от диоксида серы являются: *абсорбция* (рис. 4.5) и *добавление сорбентов* в зону горения. С помощью этих методов из топочных газов можно удалять более 90% SO_2 . Обычно применяются следующие абсорбционные методы: известковый и известняковый, мокрые, полусухие и сухие. Наиболее широко эти методы распространены в США, Японии и ФРГ. Основные их недостатки — образование большого объема сульфитов и сульфатов, а также сложность утилизации последних. Известны также циклические (регенерационные) методы, например магnezитовый, применение которых позволяет получать концентрированный поток SO_2 и возвращать реагент в начало процесса. Однако эти методы имеют свои недостатки и используются значительно реже.

Применяется также *подача известняка* в зону горения, в кипящий слой или *подача пульпы* (известняка и воды) в газовый тракт.

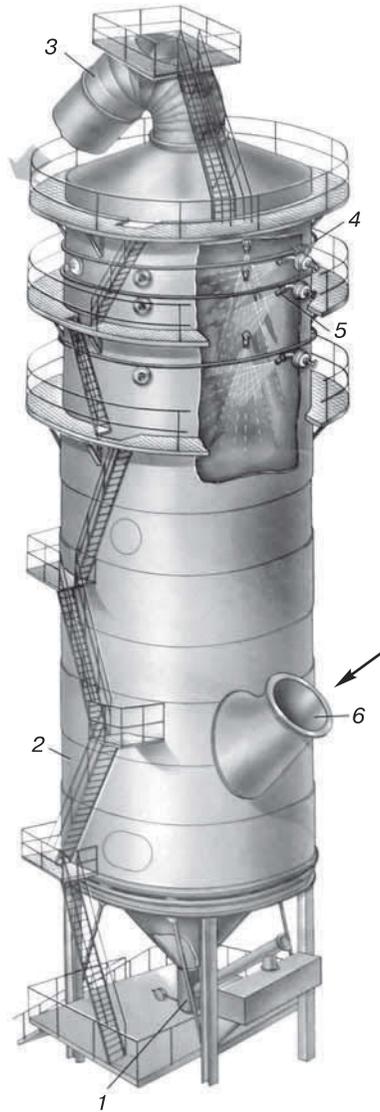


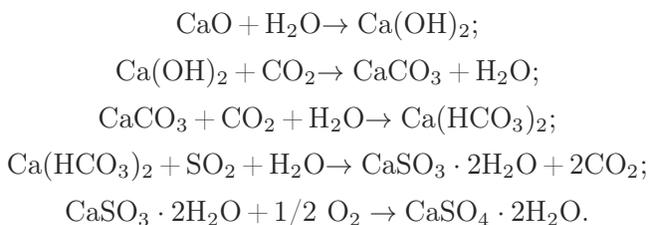
Рис. 4.5. Форсуночный абсорбер: 1 — гидрозатвор; 2 — корпус; 3 — выход очищенного газа; 4 — подача раствора; 5 — форсунки; 6 — вход газа

Но проблема та же: использование золы и шлака ограничено из-за вторичного загрязнения воды и почвы сульфатами.

Помимо сравнительно малой концентрации SO_2 в дымовых газах ТЭС (обычно $1000\text{--}3000\text{ мг/м}^3$), сложность улавливания соединений серы и переработки шлака связана с присутствием в газовом потоке частиц летучей золы, аэрозолей, фторо- и хлороводорода, бенз(а)пирена

и некоторых других веществ. Наиболее широкое распространение в мировой практике получили *известковый* и *известняковый* методы в связи с доступностью и дешевизной реагентов. В нашей стране освоен мокрый известняковый способ. Об основных недостатках абсорбционных методов было сказано выше.

Известковый и известняковый методы. Основные химические реакции, протекающие при взаимодействии SO_2 с пульпой гидроксида кальция или известняка, описываются следующими уравнениями:

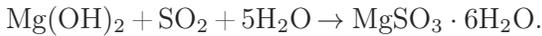


Сульфит кальция, образующийся в процессе улавливания SO_2 , плохо растворим в воде (0,136 г/л) и образует мелкокристаллический осадок $\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Под действием кислорода воздуха он частично переходит в сульфат кальция. При абсорбционном выделении SO_2 происходит также очистка газа от частиц летучей золы и других веществ, поэтому образующаяся пульпа имеет сложный переменный состав и содержит смесь сульфита и сульфата кальция, не прореагировавшего CaCO_3 или $\text{Ca}(\text{OH})_2$, летучих частиц золы и других веществ. Это в значительной мере затрудняет дальнейшее использование образующегося шлама. В большинстве случаев его сбрасывают в отвал, где он является источником вторичного загрязнения окружающей среды.

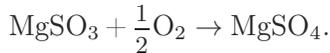
В промышленности разработаны и освоены методы очистки дымовых газов от SO_2 с получением строительного гипса. Окисление сульфита кальция и кристаллизация гипса протекают при подкислении, поэтому предусмотрены подача серной кислоты и продувка воздухом.

Значительный интерес представляет активно разрабатываемый в последние годы так называемый *мокро-сухой* (*полусухой*) метод очистки дымовых газов от диоксида серы. В этом случае в газовый поток впрыскивается пульпа извести или известняка. Диоксид серы реагирует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ или CaCO_3 , как было описано выше, вода испаряется, а образовавшиеся твердые частицы $\text{CaSO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ улавливаются вместе с летучей золой в электрофильтрах (или рукавных фильтров) на стадии пылеочистки. Основными достоинствами метода являются сравнительная простота, возможность внедрения на действующем оборудовании, низкие капитальные и эксплуатационные затраты. Однако в этом случае, как и в рассмотренных ранее, использование золы и ее захоронение сопряжены с серьезными затруднениями.

Магнезитовый метод. Сущность метода состоит во взаимодействии SO_2 с суспензией $\text{Mg}(\text{OH})_2$ по реакции:



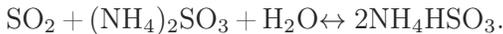
Кристаллический сульфит магния подвергают сушке и обжигу, получая при этом концентрированный поток SO_2 и MgO . Оксид магния возвращается в цикл, а SO_2 направляется на переработку, например на получение серной кислоты по стандартной технологии. Часть сульфита магния под действием кислорода воздуха окисляется до сульфата:



Разложение сульфита магния проводят при температуре 800–900 °С, однако при этой температуре образующийся сульфат магния не разлагается и накапливается. Для его разложения необходимы специальные условия и добавление кокса.

Достоинствами метода являются его цикличность, высокая эффективность (степень очистки 90–92%), возможность утилизации SO_2 . Основной недостаток процесса — большое количество твердофазных стадий, что приводит к сильному абразивному износу аппаратуры и загрязнению среды твердыми частицами. Весьма значительными являются и энергетические затраты на разложение сульфита и сульфата магния.

Аммиачные методы. В основе этих методов лежит процесс абсорбции SO_2 раствором сульфита аммония:



В дальнейшем в результате химических превращений из образующегося гидросульфита аммония выделяют оборотный раствор $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ и концентрированный поток SO_2 . По способу регенерации абсорбционного раствора методы выделения SO_2 из дымовых газов подразделяют на кислотный, циклический и автоклавный.

Аммиачно-кислотные методы заключаются в обработке бисульфита аммония серной (азотной, фосфорной) кислотой:



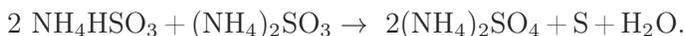
В основе *аммиачно-циклического метода* лежит процесс поглощения SO_2 раствором сульфита аммония:



При нагревании полученного раствора бисульфит аммония разлагается с образованием сульфита аммония и диоксида серы. Выделившийся SO_2 после сушки является товарным продуктом, а раствор сульфита аммония возвращается на стадию абсорбции.

Недостатками метода являются большие энергетические затраты, коррозионная активность абсорбционного раствора, высокие капитальные и эксплуатационные затраты.

При **аммиачно-автоклавном** методе очистка отходящих газов от SO_2 проводится раствором сульфит-бисульфита аммония. По достижении определенной концентрации солей в растворе последний направляется на стадию разложения. В отличие от аммиачно-кислотного метода в этом случае проводится нагревание в автоклаве до $140\text{--}150^\circ\text{C}$, при этом происходит разложение солей аммония с образованием серы:



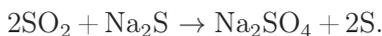
Получаемые сульфат аммония и сера являются товарными продуктами.

Недостатком всех аммиачных методов очистки отходящих газов ТЭС и ряда других производств является необходимость глубокого охлаждения газов перед стадией абсорбции.

Общий недостаток всех абсорбционных методов — необходимость дополнительного нагрева очищенных газов перед их выбросом в атмосферу. Это связано с тем, что, несмотря на высокую эффективность методов (до 98%), концентрация SO_2 в очищенных газах превышает ПДК. Для ее снижения в приземном слое до необходимых норм требуется выброс через высокие трубы, а для создания подъемной силы и интенсивного рассеивания в атмосфере температура газового потока должна быть не ниже $110\text{--}150^\circ\text{C}$. В ходе же абсорбционной очистки температура снижается до $30\text{--}50^\circ\text{C}$, поэтому необходим дополнительный нагрев очищенных газов, на что тратится до 3% топлива.

Очистка дымовых газов с получением серы. В Финляндии и в ряде других стран разработан регенерационно-циклический способ очистки дымовых газов ТЭЦ от оксидов серы с получением серы. Эффективность очистки превышает 90%, с увеличением содержания серы в угле экономичность процесса за счет получения серы возрастает.

Топочные газы предварительно очищаются от пыли в электрофильтрах и доочищаются водой, при этом происходит очистка от тяжелых металлов. Далее SO_2 взаимодействует в абсорбере с раствором сульфида натрия:

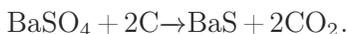


Образовавшаяся пульпа (раствор Na_2SO_4 и S) подкисляется и нагревается в автоклаве до $150\text{--}170^\circ\text{C}$. Сера при этом плавится и отделяется,

а раствор сульфата натрия взаимодействует далее с обратным сульфидом бария:



Раствор сульфида натрия направляется на начальную стадию процесса на улавливание диоксида серы, а осадок сульфата бария — в печь для восстановления коксом:



По данным финских ученых, экономическая эффективность данного метода очистки топочных газов от диоксида серы находится на уровне эффективности мокрого-сухого метода.

4.4. ОЧИСТКА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТ ОКСИДОВ АЗОТА

Основными источниками оксидов азота (NO , NO_2 и продуктов их взаимодействия N_2O_4 и N_2O_3) являются газы, образующиеся при сжигании топлива в различных печах, выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания, отходящие газы производства азотной кислоты, газы, образующиеся при получении катализаторов и различных солей, травлении металлов азотной кислотой и в ряде других процессов. Однако основным антропогенным источником выбросов оксидов азота в атмосферу в настоящее время являются процессы сжигания органического топлива на стационарных установках и в двигателях внутреннего сгорания. На их долю приходится более 95% всех выбросов. Одна из основных трудностей улавливания оксидов азота из отходящих газов, как и оксидов серы, связана со сравнительно малой их концентрацией (в основном 100–1000 мг/м³) при огромных объемах выбрасываемых газов.

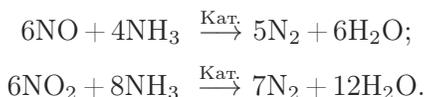
Весьма распространенными поглотителями оксидов азота являются растворы соды, едкого натра и карбоната аммония, известковое молоко и пр. Известно, что процесс очистки отходящих газов от оксидов азота протекает в две стадии: сначала оксиды азота взаимодействуют с водой с образованием кислот, затем происходит нейтрализация кислот щелочами. Образующиеся при этом растворы азотнокислых солей могут быть использованы в промышленности и сельском хозяйстве. Однако их переработка, в частности концентрирование, и транспортировка вызывают определенные трудности. Весьма важным недостатком абсорбционных методов щелочными растворами является невысокая эффективность (60–70%), поэтому концентрация оксидов азота в очищенных газах значительно превышает ПДК и требуется многократное их разбавление.

Адсорбционные методы. В случае небольших объемов газов нашли применение адсорбционные методы. Хорошим сорбентом оксидов

азота служит активированный уголь. Однако его применение затрудняется из-за легкой окисляемости, что может привести к сильному разогреву и даже к возгоранию угля (при значительных концентрациях оксидов азота). Силикагель по адсорбционным свойствам несколько уступает углю, но он более прочен и не окисляется кислородом, а окисление NO в NO₂ в его присутствии протекает даже быстрее. Широкому распространению этих методов препятствует то, что одновременно сорбируются и другие примеси. В результате снижается адсорбционная емкость сорбентов и осложняются процесс десорбции и использование ценных компонентов.

Каталитическое восстановление. Одним из основных, хорошо освоенных промышленных методов очистки отходящих газов от оксидов азота является их восстановление на катализаторе до молекулярного азота. При использовании неселективного катализатора восстановитель не только расходуется на восстановление азота, но и вступает во взаимодействие с кислородом, обычно содержащимся в газовом потоке. В качестве восстановителя применяются водород, природный газ, оксид углерода и др. Катализаторами обычно служат элементы платиновой группы. Температура процесса колеблется от 400 до 800 °С.

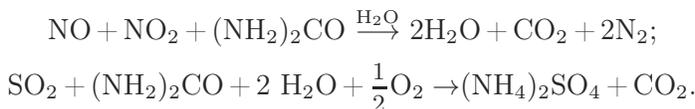
Наиболее широкое распространение получило селективное каталитическое восстановление оксидов азота аммиаком:



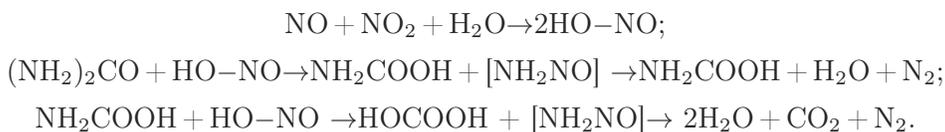
В нашей стране для этих целей разработан специальный алюмо-ванадиевый катализатор (АВК-10). Процесс восстановления протекает при 200–360 °С, степень очистки составляет 96–98,5%. Основным недостатком метода является необходимость точного дозирования аммиака, что при переменном составе отходящих газов (меняется концентрация оксидов азота) затруднено. При недостатке аммиака происходит проскок оксидов азота, а при избытке — проскок аммиака, и отходящие газы загрязняются токсичными соединениями. Со временем катализатор отравляется, что также сопряжено со значительными затруднениями.

Карбамидный метод. В РХТУ им. Д. И. Менделеева был разработан вариант карбамидного метода, позволяющий очищать дымовые газы от оксидов азота на 98% и практически полностью удалять оксиды серы из них [18]. Процесс не требует предварительной подготовки газов, в результате очистки образуются нетоксичные продукты: N₂, CO₂, H₂O и (NH₄)₂SO₄. Коррозии аппаратуры не наблюдается, поскольку рН абсорбционного раствора колеблется в пределах 5–9. Эффективность метода практически не зависит от колебаний входных концентраций оксидов азота и серы.

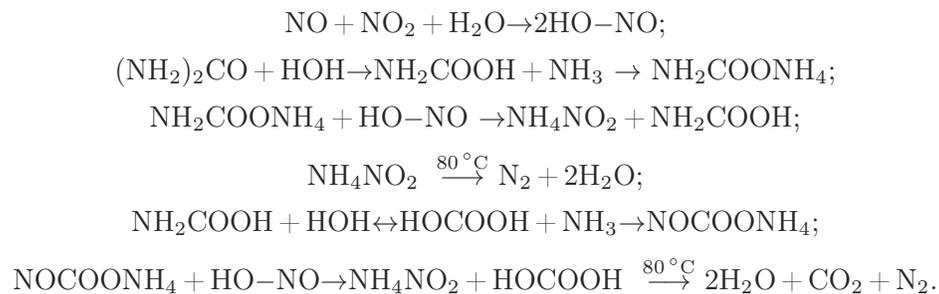
В общем виде процесс описывается приведенными ниже уравнениями реакций:



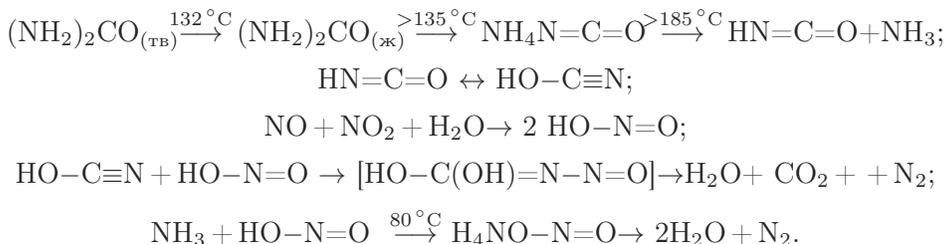
Взаимодействие оксидов азота с карбамидом может протекать по трем направлениям. Первое можно представить следующими реакциями:



Согласно второму пути, сначала происходит гидролиз карбамида до карбамата аммония, а затем — его взаимодействие с азотистой кислотой:



Согласно третьему пути, при попадании капель раствора на горячие стенки аппарата с температурой более 185°C возможно быстрое испарение воды с последующим плавлением (132°C) и разложением ($> 185^\circ\text{C}$) карбамида с образованием изоциануровой кислоты, которая также реагирует с оксидами азота:



Вероятно, взаимодействие оксидов азота с карбамидом протекает одновременно по всем трем направлениям, и вклад каждого из них зависит от условий проведения процесса.

Температурная зависимость степени очистки дымовых газов от оксидов азота представлена на рис. 4.6. Кривая, описывающая зависимость степени очистки от температуры для эквимольной смеси ($\alpha = 50\%$), имеет минимум в области $45\text{--}47^\circ\text{C}$, отвечающий степени очистки 50% .

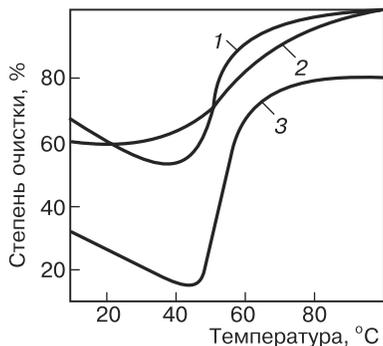


Рис. 4.6. Температурная зависимость степени очистки дымовых газов от оксидов азота при различной степени окисленности NO_x ($\alpha = [\text{NO}_2]/[\text{NO} + \text{NO}_2]$):

$$1 - \alpha = 50\%; \quad 2 - \alpha = 90\%; \quad 3 - \alpha = 10\%$$

Аналогичная кривая 2 в случае очистки от NO_2 имеет слабо выраженный минимум, а в случае очистки от NO кривая 3 — S-образный вид. В интервале температур от 80°C до температуры кипения раствора кривые 1 и 2 сходятся. По-видимому, это объясняется тем, что вначале с ростом температуры растворимость газов в жидкости уменьшается. При $60\text{--}70^\circ\text{C}$ происходит гидролиз карбамида до карбамата аммония, который легче взаимодействует с HO-NO , чем карбамид. При этом образуется нитрит аммония, разлагающийся при температуре более 80°C на азот и воду. Монооксид азота плохо растворим в воде, однако он может быть связан в аддукт с карбамидом, который с ростом температуры разлагается. При $70\text{--}95^\circ\text{C}$ скорость взаимодействия карбамида с монооксидом азота, связанным в аддукт, становится больше скорости разложения последнего на карбамид и NO и степень очистки увеличивается до 78% .

На степень очистки газов существенно влияет pH абсорбционного раствора. В случае эквимольной смеси оксидов азота удовлетворительная степень очистки (более 80%) достигается в интервале pH $5\text{--}9$, наилучшая (более 95%) — при pH $5\text{--}6$. Ухудшение очистки при pH меньше 5 , вероятно, связано с разложением HNO_2 в кислой среде. При pH более 9 и высокой температуре происходит интенсивный щелочной гидролиз карбамида до аммиака, диоксида углерода и воды. В интервале pH $5\text{--}9$ ионы H^+ оказывают положительное каталитическое действие на гидролиз карбамида до карбамата аммония. Кроме того, ионы OH^- способствуют лучшему растворению кислых газов в абсорбционном растворе.

Одним из наиболее важных параметров очистки является степень окисленности оксидов азота. Взаимодействие NO_x с карбамидом протекает через стадию их растворения в воде с образованием азотистой кислоты. Для ее образования требуется эквимолярное соотношение NO и NO_2 , поэтому при $\text{NO}:\text{NO}_2$, близком к 1, степень абсорбции NO_x максимальна. В случае, когда в газах присутствует только NO_2 , при растворении образуется смесь азотной и азотистой кислот, т. е. лишь 50% NO_2 переходит в азотистую кислоту, которая легко разлагается карбамидом.

Монооксид азота практически нерастворим в воде, но, возможно, образует с карбамидом аддукт, который, как уже отмечалось выше, разлагается на N_2 , CO_2 и H_2O . При этом около 15% NO улавливается из газов. В случае преобладания в смеси оксидов азота диоксида сначала поглощаются NO и NO_2 как эквимолярная смесь, а затем — оставшаяся часть NO_2 . Если же концентрация NO_2 меньше концентрации NO , то весь NO_2 поглотится вместе с NO как эквимолярная смесь, а оставшийся NO поглотится не более чем на 15%. Это хорошо видно из данных, приведенных на рис. 4.7. Зависимость получена в статических условиях; в динамических условиях она будет иметь несколько иной вид, так как на процесс абсорбции при этом начинают влиять гидродинамическая обстановка и время контакта.

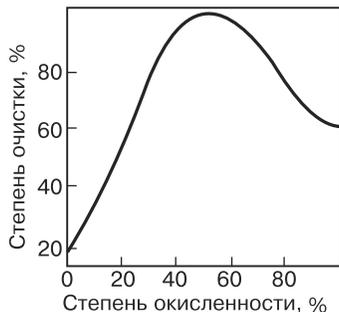


Рис. 4.7. Зависимость степени очистки дымовых газов от оксидов азота от степени окисленности α оксидов азота

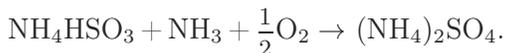
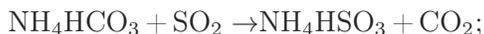
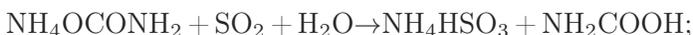
Изучение зависимости степени очистки дымовых газов от NO_x от концентрации карбамида показало, что уже при его содержании 40 г/л достигается 95%-я степень очистки от оксидов азота. При дальнейшем увеличении концентрации карбамида степень очистки увеличивается незначительно — до 98% при содержании 100 г/л. При концентрации карбамида 5 г/л степень очистки составляет 70%. Ее увеличение с ростом концентрации карбамида, очевидно, связано с возрастанием скорости диффузии молекул последнего к границе раздела фаз.

Отмечено также, что при содержании оксидов азота более 1000 мг/м³ степень очистки не зависит от их концентрации и составляет

98–99%. Степень очистки возрастает с 63 до 95% при изменении содержания NO_x от 40 до 200 мг/м³; при дальнейшем его увеличении до 1000 мг/м³ степень очистки возрастает незначительно — с 95 до 98%. Вероятно, это связано со снижением скорости диффузии в газовой фазе при малых концентрациях оксидов азота.

Для очистки дымовых газов от оксидов азота более чем на 95% время пребывания газов в аппарате должно составлять 0,5–1,5 с. Степень очистки возрастает с увеличением времени пребывания, однако при малых скоростях газа (менее 0,2 м/с) она снижается в результате возрастания толщины диффузного подслоя. При больших скоростях газа наблюдается проскок неочищенного газа. Необходимая плотность орошения — от 0,3 до 1 л на 1 м³ газа.

Взаимодействие диоксида серы с карбамидом протекает через стадию гидролиза $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ до карбамата аммония:



На рис. 4.8 приведена зависимость степени очистки дымовых газов от SO_2 от температуры. Как и при очистке от оксидов азота, у соответствующей кривой наблюдается минимум при температуре 50–60 °С. В интервале от 20 до 55 °С степень очистки от диоксида серы снижается вследствие уменьшения растворимости газа в жидкости; при повышении температуры более 55 °С эффективность процесса начинает возрастать и при 80 °С достигает 98%. При температуре ниже 50 °С в растворе обнаруживаются сульфит-ионы, образующиеся при растворении SO_2 ; при более высоких температурах обнаружить их не

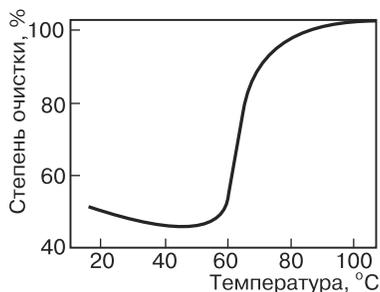


Рис. 4.8. Зависимость степени очистки дымовых газов, содержащих SO_2 , от температуры

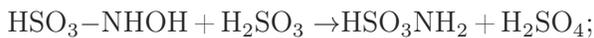
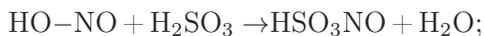
удаётся. По-видимому, карбамид образует с диоксидом серы аддукт, что приводит к резкому возрастанию степени очистки.

При температуре 80 °С степень очистки от SO₂ резко возрастает с изменением рН от 6,5 до 10. При рН, меньшем 3, очистки вообще не происходит. В ходе абсорбции SO₂ значение рН раствора уменьшается с 8 до 5,5–6 и долго остаётся на этом уровне. Проведение процесса при более высокой температуре приводит к увеличению рН раствора до 8,5–8,7 вследствие медленного разложения карбамида с выделением аммиака. Таким образом, при температурах 70–95 °С раствор карбамида оказывается буферным.

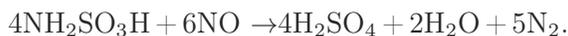
Зависимости степени очистки от концентраций карбамида и диоксида серы имеют тот же характер, что и в случае оксидов азота. С изменением концентрации карбамида от 5 до 40 г/л степень очистки возрастает с 82 до 98%, а в интервале 40–100 г/л практически не изменяется. При концентрации SO₂ выше 200 мг/м³ степень очистки от SO₂ не зависит от концентрации последнего.

При очистке дымовых газов от диоксида серы в абсорбционном растворе образуется сульфат аммония. Исследования показали, что его накопление в растворе вплоть до содержания 350 г/л практически не влияет на степень очистки. Так, при концентрации сульфата аммония 20 г/л она составляет 99%, при 350 г/л — 95%. При содержании сульфата аммония 400 г/л происходит некоторое снижение степени очистки, что связано с изменением физических свойств раствора: увеличиваются плотность и вязкость, что приводит к снижению скорости диффузии в растворе.

Наряду с реакциями непосредственного взаимодействия оксидов азота и серы с карбамидом возможно их взаимодействие между собой. При рН 4,7–7 протекают следующие реакции:



Известно использование в качестве абсорбента сульфаминовой кислоты, взаимодействующей с NO согласно реакции



Таким образом, можно предположить, что в присутствии карбамида идет реакция:



При этом в растворе карбамида, являющемся буферным в интервале рН 5,5–6,0, будет протекать образование сульфаминовой кислоты. Следовательно, совместное присутствие оксидов азота и серы должно способствовать повышению степени очистки, что и подтверждается данными, приведенными на рис. 4.9.

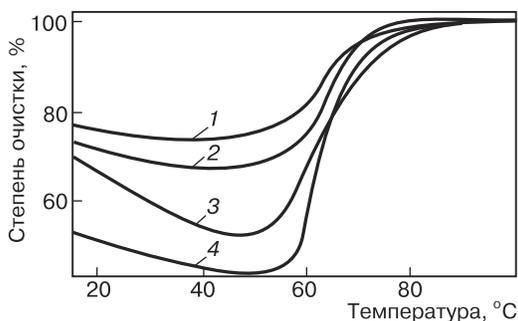


Рис. 4.9. Температурная зависимость степени очистки дымовых газов: от оксидов азота в присутствии диоксида серы (1); от диоксида серы в присутствии оксидов азота (2); от оксидов азота (3); от диоксида серы (4)

В области низких температур минимум на кривой исчезает, что можно объяснить образованием сульфаминовой кислоты и ее дальнейшими превращениями. В области высоких температур кривые сближаются, но степень очистки 90–95% достигается при более низких температурах — порядка 70 °С. Степень окисленности оксидов азота остается при этом важным фактором очистки от NO_x .

Заметное влияние на степень очистки оказывает изменение соотношения SO_2/NO_x . При растворении газов в зависимости от этого соотношения возможно образование различных продуктов. Так, при соотношении SO_2/NO_x , равном 0,5, образуются H_2SO_4 , NO , H_2O ; при $\text{SO}_2/\text{NO}_x = 1,5$ — H_2SO_4 , HNO_3 , H_2O и N_2 ; при $\text{SO}_2/\text{NO}_x = 2$ — H_2SO_4 , N_2O и H_2O , при $\text{SO}_2/\text{NO}_x = 3$ — H_2SO_4 , H_2O и N_2 .

Протекание побочных реакций, приводящих к образованию NO , N_2O или HNO_3 , ухудшает степень очистки, так как эти газы плохо улавливаются абсорбентом, а HNO_3 с карбамидом образует нерастворимое соединение $(\text{NH}_2)_2\text{CO} \cdot \text{HNO}_3$. При соотношении SO_2/NO_x , большем или равном 3, очистка будет улучшаться. Экспериментально было показано, что изменение соотношения SO_2/NO_x от 0,5 до 3 при прочих равных условиях способствует повышению степени очистки от SO_2 с 89 до 99%, от NO_x — с 63 до 98%.

Для испытания метода в промышленных условиях на Змиевской ГРЭС (Украина) в 1991 г. была построена опытно-промышленная установка, схема которой представлена на рис. 4.10.

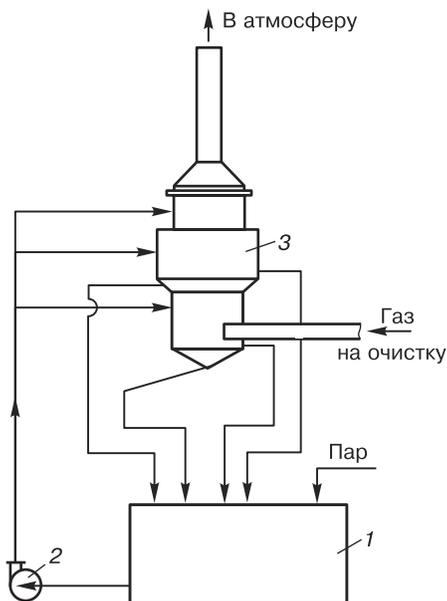


Рис. 4.10. Схема опытно-промышленной установки для очистки дымовых газов от оксидов азота и серы раствором карбамида: 1 — бак для раствора карбамида; 2 — насос; 3 — абсорбер

Установка состояла из бака для раствора карбамида вместимостью 18 м^3 , насоса ($30 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор 40 м вод. ст.) для подачи раствора в абсорбер, вентилятора МВ-18А ($100\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор 870 мм вод. ст.) для подачи дымового газа в абсорбер, абсорбера диаметром 3 м и высотой 8 м производительностью $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ с двумя ступенями вихревого контакта и ступенью орошения с 12 форсунками, установленными на выходе из абсорбера под каплеотбойником. Исследования были проведены при сжигании различного топлива (уголь, газ) и различных режимах работы установки. Результаты опытно-промышленных испытаний показали, что практически полная очистка дымовых газов от оксидов серы и азота достигается при концентрации карбамида в абсорбционном растворе $70\text{--}120 \text{ г/л}$ и температуре процесса $80\text{--}95 \text{ }^\circ\text{C}$. Степень окисленности оксидов азота в экспериментах колебалась от 19 до 26% .

В связи с накоплением в абсорбционном растворе сульфата аммония встает вопрос о его переработке. При поддержании постоянной концентрации карбамида абсорбционный раствор можно использовать для очистки дымовых газов вплоть до концентрации сульфата аммония в нем 350 г/л . Такой концентрированный раствор требуется выводить

из схемы и перерабатывать. Было рассмотрено несколько схем переработки отработанных абсорбционных растворов. На рис. 4.11 представлена схема получения гипса (можно получать сульфат аммония, но это, естественно, дороже) с предварительной очисткой дымовых газов от SO_2 мокро-сухим известняковым методом.

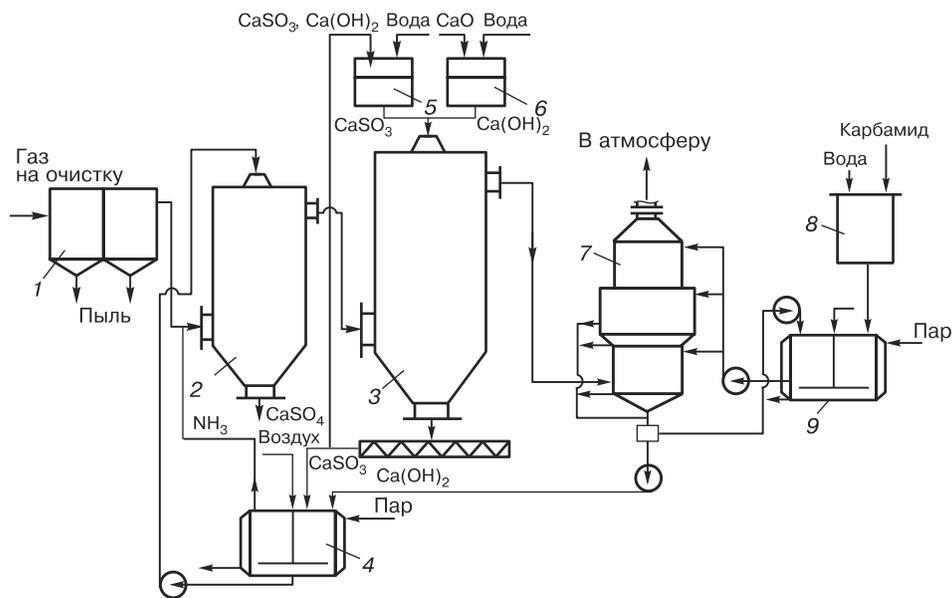


Рис. 4.11. Аппаратурно-технологическая схема установки для очистки дымовых газов от оксидов азота и серы с получением гипса: 1 — электрофильтр; 2 и 3 — распылительные сушилки; 4 — реакционный аппарат; 5 — емкость для суспензии CaSO_3 и $\text{Ca}(\text{OH})_2$; 6 — емкость для суспензии $\text{Ca}(\text{OH})_2$; 7 — абсорбер; 9 — емкость для рабочего раствора карбамида; 8 — емкость для концентрированного раствора карбамида

В распылительную сушилку 3 подают суспензию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaSO_3 (оборотный) влажностью не менее 88% и дымовые газы. В течение трех циклов происходит взаимодействие диоксида серы с гидроксидом кальция, в результате концентрация последнего снижается на 50%. После этого дымовые газы поступают в абсорбер 7 на очистку от оксидов азота и остатков диоксида серы. После карбамидной очистки газы выбрасываются в атмосферу.

Абсорбционный раствор готовят в емкости 9 из концентрированного раствора карбамида; он циркулирует в абсорбере до концентрации сульфата аммония в нем 300–350 г/л, после чего обрабатывается отработанной пульпой со стадии очистки газов от диоксида серы. Пульпа содержит $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (50%), $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и CaCO_3 , ее влажность составля-

ет 29%. Непрореагировавший с SO_2 гидроксид кальция взаимодействует с сульфатом аммония с образованием гипса и выделением аммиака.

Суспензия гипса, содержащая 25% $\text{Ca}(\text{OH})_2$, высушивается в распылительной сушилке 2 дымовыми газами, прошедшими электрофильтр 1 и направляемыми на очистку от SO_2 . Содержащийся в пульпе гидроксид кальция в условиях сушки частично взаимодействует с диоксидом серы, в результате чего образуется продукт, состоящий из 86% CaSO_4 , 7% $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 3% CaSO_3 и 4% золы. Выделяющийся аммиак направляется в дымосос перед сушилкой, где взаимодействует с SO_2 . В технологической схеме вместо гидроксида кальция может быть также использован карбонат кальция.

Таким образом, проверка карбамидного метода очистки в условиях действующего энергооборудования Змиевской ГРЭС показала, что степень очистки газов от оксидов азота достигает 98% при практически полном удалении диоксида серы. Процесс не требует предварительной подготовки газов, применения специальных коррозионностойких материалов и не зависит от колебаний входных концентраций оксидов азота и серы. Для орошения скруббера берется избыток карбамида, однако расходуется он строго в соответствии со стехиометрией. Непрореагировавший карбамид возвращается на абсорбцию, и цикл замыкается. Процесс практически безотходен, отработанные абсорбционные растворы могут быть утилизированы с получением сульфата аммония или гипса, катализатор не требуется. Температура процесса более чем в два раза ниже по сравнению с температурой аммиачно-каталитического процесса. Как недостаток метода отметим необходимость использования ценного удобрения — карбамида.

Карбамидный метод очистки отходящих газов от оксидов азота прекрасно зарекомендовал себя в различных производствах, однако необходимо отметить, что в энергетике в основном пока применяются регулирование процесса сжигания горючего (за счет чего уменьшается количество образующихся оксидов азота) и аммиачно-каталитический метод.

Снижение выбросов оксидов азота в атмосферу путем регулирования процесса горения. Наряду с установкой газоочистного оборудования в конце технологического цикла сжигания топлива весьма эффективным является ряд режимных и технологических мероприятий, позволяющих существенно снизить количество образующихся в процессе горения оксидов азота. К этим мероприятиям относятся:

- сжигание с низким коэффициентом избытка воздуха α ;
- рециркуляция части дымовых газов в зону горения;
- сжигание топлива в две и три ступени;
- применение горелок, позволяющих понизить выход NO_x ;
- подача влаги в зону горения;
- интенсификация излучения в топочной камере;

– выбор профиля топочной камеры, которому отвечает наименьший выход NO_x .

Следует отметить, что указанные мероприятия способны в той или иной мере подавить образование NO_x из азота воздуха, но не могут предотвратить их образования из азотосодержащих соединений, имеющих в составе топлива.

Образование NO_x в процессе горения возможно в результате реакции между кислородом и азотом воздуха при высоких температурах, по радикальному механизму с участием углеводородных радикалов и из связанного азота, содержащегося в топливе (угле, мазуте).

Рециркуляция дымовых газов является одним из наиболее распространенных и хорошо изученных способов снижения выхода оксидов азота. При коэффициенте избытка воздуха 1,03 подача рециркулируемых газов в дутьевой воздух позволяет снизить количество выделяющегося NO_x до 50% от первоначального его значения, подача через кольцевой канал вокруг горелки — до 75%, а через шлицы под горелками — до 85%.

Двух- и многоступенчатое сжигание топлива является одним из перспективных методов регулирования топочного режима и одновременно методом радикального снижения количества образующихся оксидов азота. Суть метода заключается в том, что в первичную зону горения топлива подается меньше воздуха, чем это необходимо теоретически ($\alpha = 0,7 - 0,95$). В результате происходит снижение температуры в зоне факела, содержания атомарного и молекулярного кислорода в факеле и скорости образования оксидов азота. Температура в первичной зоне снижается настолько, что заключительный, происходящий при избытке кислорода этап горения протекает при более низкой температуре, вследствие чего во вторичной зоне горения оксиды азота практически не образуются.

При сжигании природного газа в две стадии удается добиться устойчивого снижения выхода оксидов азота в зависимости от мощности котла на 40–50%, при сжигании мазута — на 20–50%, а при сжигании угольной пыли — на 20–40%. Сочетание двухступенчатого режима сжигания топлива и рециркуляции топочных газов позволяет снизить количество образующихся NO_x на 70–90% при использовании газа и мазута и на 55–60% при использовании угля.

Двухступенчатое горение с подводом недостающего воздуха через фурмы вокруг горелок иногда ухудшает качество горения и в ряде случаев не может быть применено из-за загромождения стенок котла фурмами. Использование в таких случаях специальных горелочных устройств позволяет снизить температуру в ядре факела или регулировать ее. Это также представляет интерес, поскольку дает возможность регулировать температуру перегретого пара и повышать надежность эксплуатируемого оборудования без ухудшения качества горения.

В СССР еще в 1960-е годы было разработано несколько конструкций горелок, пригодных для систем двухстадийного горения или получения растянутого по длине топочной камеры факела, с целью снижения выбросов NO_x .

Хорошие перспективы уменьшения количества образующихся оксидов азота просматриваются при подаче водяного пара в зону реакции. Как показали исследования, в присутствии молекул воды в зоне горения не только замедляется процесс образования NO_x , но и снижается температура в ядре факела, что дополнительно уменьшает выход оксидов азота.

4.5. ОЧИСТКА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТ ФТОР- И ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

Очистка от фторсодержащих газов подробно описана в гл. 10, касающейся переработки фосфатного сырья, всегда содержащего значительное количество фтора, и в книге [19]. Очистка от газовых выбросов, содержащих чаще всего хлороводород, в основном проводится известковым молоком. При граммовых концентрациях хлористого водорода его можно абсорбировать четыреххлористым углеродом или трихлорэтиленом с последующим выделением в концентрированном виде при нагревании смеси (не забывая об исключительной токсичности последних).

4.6. ОЧИСТКА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТ ОКСИДА УГЛЕРОДА И УГЛЕВОДОРОДОВ

Основным промышленным методом очистки отходящих газов от углеводородов и оксида углерода являются сжигание в пламени и термокаталитическое окисление. Наиболее известный пример сжигания — это широко применяемое в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности сжигание в факеле, т. е. в открытой горелке, направленной вверх. К недостаткам процесса, помимо потерь углеводородов при горении, следует отнести образование оксидов азота, а следовательно, вторичное загрязнение атмосферы.

В условиях термического и каталитического окисления обезвреживание углеводородов и оксида углерода протекает при более низких температурах, и образования значительных количеств оксидов азота не происходит.

К *общим недостаткам* процессов обезвреживания газовых выбросов путем сжигания относится необходимость организации дополнительной очистки газов при наличии в сжигаемых органических соединениях, кроме углерода и водорода, окисляемых до диоксида углерода и воды, фтора, хлора, серы и т. д. В этом случае в продуктах сгорания могут оказаться соединения более токсичные, чем первоначальные,

такие как фосген, бифенилы и дифураны (при сжигании полициклических углеводородов) и др.

Хорошие результаты получены при очистке отходящих газов, содержащих различные органические примеси, в том числе предельные и непредельные, ароматические и полиароматические соединения, в термokatалитическом реакторе (рис. 4.12 и 4.13), разработанном в РХТУ им. Д. И. Менделеева [20]. В качестве катализатора здесь используется катализатор нанесенного типа на основе муллиткремнеземистого волокна.

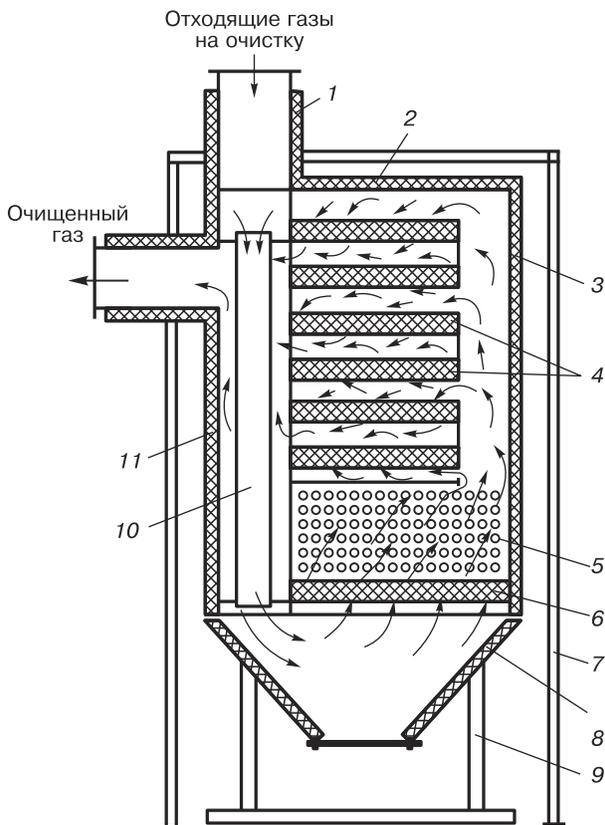


Рис. 4.12. Схема термokatалитического реактора ТКР-КС-1: 1 — входной патрубок; 2, 3 — верхняя и боковая крышки; 4 — съемные кассеты; 5 — теплоэлектронагреватели; 6 — кассета фильтра; 7 — защитный кожух; 8 — бункер; 9 — опора 10 — рекуператор тепла; 11 — корпус

Термokatалитический способ очистки является одним из самых перспективных, так как обладает рядом преимуществ, а именно: может осуществляться непрерывно, имеет высокую и стабильную степень очистки, обладает относительно низкой энергоемкостью, позволя-

ет обезвреживать органические примеси практически любого состава, осуществляется при невысоких температурах (250–500 °С).



Рис. 4.13. Общий вид промышленного термокаталитического реактора

Неоспоримые преимущества имеет и *катализатор нанесенного типа*: более эффективное использование активного компонента за счет большой удельной поверхности носителя, устойчивость к спеканию, простота приготовления, меньшая себестоимость за счет экономии дорогостоящей активной фазы, более высокая механическая прочность. Катализатор прекрасно зарекомендовал себя при обезвреживании отходящих газов камерных печей обжига графита. Степень очистки от полиароматических углеводородов (ПАУ) составила не менее 99,9% [21]. Он успешно применяется на Щелковском заводе вторичных драгоценных металлов, АО «Пролетарец» и в других местах.

4.7. РЕЦИРКУЛЯЦИЯ ГАЗОВ

Существующие системы локальной очистки промышленных газовых выбросов часто не обеспечивают снижения концентрации загрязнителей до ПДК, и требуется рассеивание газов через высокие трубы. В этом случае представляется целесообразным организация замкнутых газооборотных систем, использующих технологические и вентиляционные газы в замкнутом цикле. В нашей стране уже имеется промышленный опыт эксплуатации таких систем. Так, например, в НПО «Тулачермет» еще в 1978 г. проводилась проверка системы рециркуляции колошнни-

кового газа, в которой была предусмотрена его очистка от диоксида углерода.

Заслуживает внимания используемый в промышленном масштабе способ организации замкнутого газооборотного цикла в корпусах обогащения асбестовых горно-обогатительных комбинатов. Вентиляционный воздух, собранный в различных точках цехов, проходит глубокую очистку от асбестовой пыли на рукавных фильтрах, в случае необходимости разбавляется атмосферным воздухом, а затем с помощью нагнетательных вентиляторов вновь подается в помещения цехов.

Разработана схема организации рециркуляции технологических газов и для производства фосфорных удобрений. В частности, она используется при получении экстракционной фосфорной кислоты дигидратным методом, в производствах гранулированного двойного и простого суперфосфата, а также сложных удобрений. Вероятно, в будущем газооборотные циклы будут играть такую же решающую роль в защите воздушного бассейна от промышленных выбросов, какую играют сейчас водооборотные циклы в деле защиты водных бассейнов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В результате чего происходит загрязнение атмосферы SO_2 и NO_x и какова тенденция?
2. Какие достоинства и недостатки имеет известковый метод очистки дымовых газов от SO_2 ?
3. Какие достоинства и недостатки имеет известняковый метод очистки дымовых газов от SO_2 ?
4. Какие достоинства и недостатки имеет магнезитовый метод очистки дымовых газов ТЭС от SO_2 ?
5. Какие достоинства и недостатки имеет аммиачно-циклический метод очистки дымовых газов от SO_2 ?
6. Какие достоинства и недостатки имеет аммиачно-каталитический метод очистки от NO_x ?
7. Какие достоинства и недостатки имеет карбамидный метод очистки от NO_x ?
8. Какие достоинства и недостатки имеет мокро-сухой метод очистки дымовых газов ТЭС от SO_2 ?
9. Каков общий недостаток абсорбционных методов очистки дымовых газов ТЭС от SO_2 ?
10. Каков общий недостаток адсорбционных методов очистки отходящих газов от токсичных соединений?
11. Почему приходится подогревать очищенные абсорбционным методом дымовые газы ТЭС перед выбросом в трубу?
12. Каков основной источник загрязнения атмосферы больших городов и как с ним бороться?

13. Каковы основные методы очистки отходящих газов от фтористых соединений?
14. Каковы основные методы очистки отходящих газов от органических, в том числе от высокотоксичных полициклических соединений?
15. В чем суть газооборотных циклов?

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДЫ

Вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет природного тела, которое могло бы сравниться с ней по влиянию на ход основных самых грандиозных геологических процессов. Нет земного вещества, минерала, горной породы, живого тела, которое ее бы не заключало. Всё земное вещество . . . ею проникнуто и охвачено.

В. И. Вернадский

Вода является одним из важнейших природных ресурсов, во многом определяющих технический и социальный прогресс тех или иных регионов и стран. Количество потребляемой пресной воды в сотни раз превосходит масштабы потребления всех остальных видов природных ресурсов вместе взятых. Именно круговорот воды составляет основу техногенного круговорота веществ и связанного с ним превращения энергии в эколого-экономических системах.

Наша планета богата водными ресурсами, однако доля пресной воды составляет около 2%, а доля пригодной и удобной для использования — всего 0,01%. В Антарктиде содержится в три раза больше воды, чем во всех реках мира, а в Байкале находится 10% всей удобной пресной воды мира, причем высшего качества.

Основой водных ресурсов России является речной сток. В средние по водности годы он составляет 4262 км³, из которых около 90% приходится на бассейны рек, впадающих в Северный Ледовитый и Тихий океаны. В то же время более 80% населения России и ее основной промышленный и сельскохозяйственный потенциал сосредоточены в бассейнах рек, впадающих в Каспийское и Азовское моря. На долю этого стока приходится менее 8% годового объема речного стока страны. Пять наиболее крупных рек России: Енисей (630 км³), Лена (532), Обь (404), Амур (344) и Волга (254 км³) обеспечивают 46% всего стока пресных вод с территории нашей страны.

Физиологическая потребность человека в воде составляет 2–3 л в сутки. Социальная норма потребления воды в Москве — 135 л в день. Удельный расход воды в жилых домах в Москве в 2005 г. составил 357 л/сут. (при нормативе — 135 л), в 2010 г. — 223 л/сут., в целом по стране в городской местности — 194 л/чел. в сутки. Средний уровень потребления воды в Европе составляет (в л/сут.): в Германии — 130, в Дании — 134, в Нидерландах — 158, в Англии — 170, во Франции — 175, в Италии — 230.

В последние годы наблюдается некоторая стабилизация основных показателей водопользования: в 2006 г. водозабор составил 62,1 км³, (в 2005 г. — 61,3); сточных вод в 2006 г. было 51,4 км³, в 2005 г. — 50,9.

Всего в РФ в 2006 г. использовано 62,1 км³ свежей воды, в том числе: из поверхностных источников — 49,4 км³ (в 2005 г. — 48,2 км³), из подземных — 7,7 км³ (в 2005 г. — 8,0), морской воды — 5,0 км³ (в 2005 г. — 5,1).

Структура водопотребления имела следующие показатели (в%):

Производственные нужды	60,1;
Хозяйственно-питьевые нужды	19,3;
Орошение	13,1;
Сельскохозяйственное водоснабжение	1,0;
Прочие нужды	6,5

Потери воды во внешних сетях при транспортировке от водоисточников до потребителей в 2006 г. составили 8,0 км³ (более 10%).

Наиболее водоемкими отраслями хозяйства являются энергетика, машиностроение, целлюлозно-бумажная, топливная, химическая, нефтехимическая и пищевая промышленность, черная и цветная металлургия, а также жилищно-коммунальное и сельское хозяйство.

Ниже представлено распределение объемов потребляемой воды по отраслям (в%).

Деревообработка	19,4
Химическая промышленность	18,3
Электроэнергетика	14,4
Черная металлургия	9,5
Угольная промышленность	8,8
Машиностроение	8,6
Цветная металлургия	6,5
Нефтепереработка	3,1
Оборонная промышленность	2,3
Легкая промышленность	2,0
Пищевая промышленность	1,7
Промышленность стройматериалов	1,7
Нефтедобыча	0,3
Газовая промышленность	0,08

Со сточными водами в водные объекты поступают сотни тысяч тонн загрязняющих веществ, в результате качество воды большинства водных объектов России не отвечает нормативным требованиям. Наиболее распространенными веществами, загрязняющими поверхностные воды, являются нефтепродукты, фенолы, легко окисляющиеся органические

вещества, соединения металлов, аммонийный и нитратный азот, а также специфические загрязняющие вещества: лигнин, ксантогенаты, формальдегид и др.

Основные реки: Волга, Дон, Кубань, Обь, Енисей, Лена, Печора — оцениваются как «загрязненные», а их крупные притоки: Ока, Кама, Тотьма, Иртыш, Тобол, Миасс, Висеть, Тура — как «сильнозагрязненные». К последней категории относится и река Урал. Вода в Москва-реке относится к категории «грязных» и «чрезвычайно грязных». Основные загрязняющие вещества: соединения меди, железа, нитритный азот, нефтепродукты. Ниже сбросов Курьяновской и Люберецкой станций аэрации в речной воде обнаруживались аммонийный азот и формальдегид, среднегодовая концентрация которых достигала 8–22 ПДК_{рх}¹⁾.

Проблема обеспечения населения России питьевой водой нормативного качества и в достаточном количестве во многих регионах стала одной из главных и определяющих при проведении экономических реформ и усилении их социальной направленности.

Источниками централизованного водоснабжения в нашей стране служат: поверхностные воды, доля которых в общем объеме составляет 68%, и подземные воды, на долю которых приходится 32%. В настоящее время около 90% забираемых для нужд водоснабжения поверхностных и не менее 30% подземных вод подвергаются предварительной обработке. Однако из-за повышенного загрязнения водоисточников, в том числе солями тяжелых металлов, традиционно применяемые технологии обработки воды в большинстве случаев оказываются недостаточно эффективными.

Себестоимость подготовки воды питьевого качества на 2000 г. составляла 70–90 коп./м³. Себестоимость очистки сточных вод варьируется в широких пределах в зависимости от производств — от рубля до десятков рублей за кубометр. Себестоимость очистки коммунальных сточных вод имеет такой же порядок, как и себестоимость водоподготовки.

5.1. СОЗДАНИЕ ЗАМКНУТЫХ ВОДОБОРОТНЫХ СИСТЕМ

Годовой сток Волги составляет 254 км³. Объем сточных вод, поступающий в бассейн Волги, составляет порядка 22 км³. Чтобы довести их до рыбохозяйственного качества путем разбавления, необходимо еще

¹⁾Для санитарной оценки воды водоемов существует два типа предельно допустимых концентраций (ПДК), в мг/л. 1. ПДК_{рх} — предельно допустимая концентрация вещества в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей. 2. ПДК_в — предельно допустимая концентрация вещества в воде водоема, используемого для культурно-бытовых и хозяйственных целей. Эта концентрация не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений, а также не должна ухудшать гигиенические условия водопользования.

две Волги, что невозможно. Выход напрашивается сам собой — очистка и повторное использование, т. е. замкнутые водооборотные системы.

Настоятельная необходимость и целесообразность создания замкнутых систем производственного водоснабжения, являющихся основой рационального водопользования, обусловлены тремя основными факторами.

1. **Дефицит пресной воды.** В основном районы с дефицитом пресной воды находятся на юге и юго-востоке страны и занимают значительную территорию. На увеличение дефицита пресной воды влияет не только непрерывный рост водопотребления, но и деградация качества воды природных водоисточников в результате поступления в них сточных вод. Положение усугубляется еще и тем, что наблюдается общая тенденция к увеличению содержания солей в водах, сбрасываемых в реки, что, естественно, сказывается и на качестве воды.

2. **Исчерпание обезвреживающей (самоочищающей и разбавляющей) способности водоемов,** в которые сбрасываются сточные воды. Прогноз развития хозяйственной деятельности показывает, что для разбавления сточных вод при условии, что их качество после очистки будет находиться на современном уровне, потребуется использование всех водных ресурсов планеты. По вопросу самоочищения водоемов среди ученых имеются разные точки зрения. Академик И. В. Петрянов-Соколов, например, считал, что нельзя даже говорить о самоочищающей способности водоемов, поскольку масштабы поступления загрязняющих веществ превышают эту способность, а, кроме того, процессы самоочищения, как правило, протекают в ущерб другим жизненно важным процессам.

3. **Экономические преимущества** по сравнению с очисткой сточных вод до соответствующих нормативов, позволяющих их сброс в открытые водоемы. Современный уровень развития техники и технологии очистки сточных вод обеспечивает получение воды практически любой степени чистоты. Все определяется стоимостью такой очистки. Если стоимость 90%-й степени очистки сточных вод принять за единицу, то очистка на 99% обойдется примерно в 10 раз дороже, а очистка на 99,9%, которая часто и требуется для достижения ПДК_{рх}, будет дороже в 100 раз. В результате локальная очистка сточных вод с целью их повторного использования в производстве в большинстве случаев оказывается значительно дешевле их полной очистки в соответствии с требованиями санитарных норм. *В целом рецикл оказывается более выгоден, чем прямоточная система водоснабжения.*

5.2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ЗАМКНУТЫХ ВОДОБОРОТНЫХ СИСТЕМ

Создание экономически рациональных замкнутых систем водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов только

путем совершенствования способов очистки сточных вод или внедрения безводных процессов не представляется возможным. Для этого необходимо: многократное (каскадное) рациональное использование воды в производстве; применение маловодных или безводных технологических процессов и эффективных способов очистки локальных потоков сточных вод с учетом повторного их использования; создание локальных замкнутых систем технического водоснабжения; использование сточных вод, прошедших обработку на внеплощадочных очистных сооружениях, в системах технического и охлаждающего водоснабжения.

Анализ показывает, что создание экономически обоснованных замкнутых систем водного хозяйства является весьма трудной задачей. Сложный физико-химический состав сточных вод, разнообразие содержащихся в них соединений и их взаимодействие друг с другом делают невозможным подбор универсальной структуры бессточных схем, пригодных для применения в различных отраслях народного хозяйства. Создание таких систем на предприятиях зависит от особенностей технологии, технической оснащенности, требований к качеству получаемой продукции и используемой воды и т. д. В ряде отраслей они уже внедрены или внедряются, а в других еще необходимы определенные разработки и подготовка.

Вопросом первостепенной важности при создании замкнутых водооборотных систем является разработка научно обоснованных требований к качеству воды, используемой во всех технологических процессах и операциях.

В подавляющем большинстве технологических операций нет необходимости в использовании воды питьевого качества. Поэтому необходимо оценить максимально допустимые пределы основных показателей качества воды, которые в основном определяются следующими факторами:

- не должно ухудшаться качество получаемого продукта;
- должна обеспечиваться безаварийная работа оборудования; оно не должно разрушаться вследствие коррозии, на стенках не должны появляться отложения и т. д.;
- отсутствие влияния на здоровье обслуживающего персонала за счет изменения токсикологических или эпидемиологических характеристик воды.

Исторически сложилось так, что при разработке технологических схем на качество воды не обращали внимания. Питьевая и даже техническая вода в подавляющем большинстве случаев удовлетворяла технологов, а использованную воду просто сбрасывали в водоемы и только позднее стали направлять на очистные сооружения.

Общими вопросами при разработке замкнутых водооборотных систем для всех отраслей народного хозяйства являются следующие:

- максимальное внедрение воздушного охлаждения вместо водяного (на многих предприятиях на охлаждение расходуется до 70% всей используемой воды);
- размещение комплекса производств на промышленной площадке таким образом, чтобы было возможно многократно (каскадно) использовать воду в технологических процессах;
- последовательное, многократное использование воды в различных или идентичных производствах должно, по возможности, приводить к образованию небольшого объема максимально загрязненных сточных вод, для обезвреживания которых можно подобрать достаточно эффективные и, как правило, дорогостоящие методы очистки;
- использование воды для очистки газов только тогда, когда из газов извлекаются и используются ценные компоненты; применение воды для очистки газов от твердых частиц допускается только в случае замкнутого цикла;
- обязательная регенерация отработанных кислот, щелочей и солей, извлекаемых в качестве вторичного сырья.

При создании замкнутых водооборотных систем промышленных предприятий водоподготовка и очистка сточных вод должны рассматриваться как *единая система*. Проектирование замкнутых систем проводится одновременно с проектированием основного производства. Образующиеся при очистке сточных вод осадки перерабатываются в товарную продукцию или выдаются в виде вторичного сырья.

Особенностью замкнутых водооборотных систем является обязательный *учет токсикологической и эпидемиологической характеристик* очищенных сточных вод и их влияния на человека. Для предприятий, использующих очищенные сточные воды в замкнутых системах технического водоснабжения, где нет непосредственного контакта работающих с ними, рекомендуется проводить специальную *фильтрацию и обезвреживание хлором*. Однако в ряде случаев некоторые показатели сточных вод после хлорирования ухудшаются: появляются более интенсивные окраска и запах. Лучшие результаты по гигиенической эффективности доочистки сточных вод получены при использовании *озона*.

С целью предотвращения загрязнения воздушного бассейна и почвы в районе градирен необходим *минимальный унос* из них капельной влаги. В обычных условиях унос капельной влаги из градирен достигает 0,3% и более. Однако при использовании очищенных сточных вод для пополнения систем охлаждающего водоснабжения унос не должен превышать 0,05–0,1%, поскольку мельчайшие капли влаги содержат вредные вещества.

Большое внимание в оборотных системах охлаждающего водоснабжения уделяется борьбе с *биологическим обрастанием*, для чего приходится применять специальные ингибиторы, содержащие токсич-

ные вещества, например соли хрома, или хлорировать (озонировать) воду.

Общая система водного хозяйства должна включать сбор, очистку и использование *ливневых вод*, которые в ряде случаев применяются для подпитки систем оборотного водоснабжения. Сбор и очистка ливневых вод в связи с выпадением осадков достаточно сложны и требуют значительных капитальных вложений. Обычно для подпитки оборотных систем, а в ряде случаев и для технического водоснабжения в целом используются очищенные сточные воды городов.

5.3. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ (ОЧИСТКИ) СТОЧНЫХ ВОД

Вопросам очистки сточных вод посвящено громадное количество статей, обзоров и монографий, только одно перечисление которых может составить солидную по объему книгу. Однако при создании замкнутых водооборотных систем, как уже отмечалось, очистка сточных вод является важным, но далеко не решающим фактором. *Главное* — *многократное использование воды без очистки* или с частичной очисткой в зависимости от требований к качеству воды для различных технологических операций. При локальной очистке всегда стремятся извлечь и переработать в полезные продукты вещества, загрязняющие сточные воды.

Классификация методов. Все существующие методы переработки (очистки, регенерации) промышленных и сельскохозяйственных сточных вод можно разделить на три большие группы.

1. Методы, основанные на выделении примесей без изменения последних, например отстаивание или фильтрация, это *физические* методы.

2. Методы, основанные на превращении примесей в другие формы или состояния, — *физико-химические* методы. Эта самая большая группа включает такие методы, как коагуляция, флотация, кристаллизация, образование малорастворимых соединений, окисление или восстановление. Сюда же относятся мембранные процессы, ионный обмен, экстракция и т. д.

3. *Биохимические* методы: аэробные и анаэробные.

В большинстве случаев используется комплекс этих методов. Широко применяемая биохимическая очистка обеспечивает степень очистки от органических веществ 90% и от неорганических соединений 20–40%. Однако общее содержание солей в стоках при этом практически не снижается. Обессоливание сточных вод представляет особенно большую трудность. Согласно СанПиН на питьевую воду, общее содержание солей в ней не должно превышать 1000 мг/л, содержание хлоридов регламентируется на уровне 350 мг/л, а сульфатов — на уровне 500 мг/л.

5.4. ОЧИСТКА ОТ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ (СУСПЕНЗИЙ И ЭМУЛЬСИЙ)

Для этих целей используются отстаивание (осветление), гидроциклонирование, процеживание и фильтрация. Для интенсификации процессов в сточные воды обычно добавляют коагулянты или флокулянты, иногда применяется магнитная обработка (для очистки сточных вод металлургических производств, содержащих ферромагнитные компоненты), в ряде случаев эффективна ультразвуковая обработка. Средняя эффективность этих методов колеблется в пределах 50–70%.

5.5. ОЧИСТКА ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Основным методом очистки сточных вод от органических примесей является биологическое окисление: аэробное окисление в присутствии свободного растворенного кислорода и анаэробное окисление в отсутствие свободного кислорода, но за счет связанного. Процесс биохимической очистки по своей сути есть природный процесс, его характер одинаков для процессов, протекающих как в водоемах и очистных сооружениях, так и в сосудах для определения биохимической потребности в кислороде (БПК¹).

Биологическое окисление осуществляется сообществом микроорганизмов (биоценозом), включающим множество различных бактерий, простейших и более высокоорганизованных организмов (водоросли и грибы), связанных между собой в единый комплекс сложными взаимоотношениями. Это сообщество принято называть *активным илом*. Последний содержит от 10^6 до 10^{14} клеток на 1 г сухой биомассы (около 3000 мг микроорганизмов на литр сточной воды).

Аэробный процесс. Для жизнедеятельности живых организмов необходимо поддерживать соответствующие условия:

- температура процесса 20–30 °С;
- рН среды 6,5–7,5;
- соотношение полного БПК_п и количества биогенных элементов азота и фосфора (БПК_п : N : P) не более 100 : 5 : 1;
- кислородный режим — не ниже 2 мг O₂/л;
- содержание токсичных веществ не выше: тетраэтилсвинца—0,001 мг/л, соединений бериллия, титана, шестивалентного хрома и ок-

¹ Биохимическая потребность в кислороде (БПК_{5,10,15,20,п}) — количество кислорода, использованное при биохимических процессах окисления органических веществ (не включая процессы нитрификации) за определенное время инкубации пробы (5, 10, 15, 20 суток, п (полное) — более 30 суток), мг O₂/л.

Часто используется понятие *химической потребности в кислороде* (ХПК), определяемой бихроматным методом, — количество кислорода, эквивалентное количеству расходуемого окислителя, необходимого для окисления всех содержащихся в воде органических веществ и неорганических, способных к окислению, мг O₂/л.

сида углерода по 0,01 мг/л, соединений висмута, ванадия, кадмия и никеля по 0,1 мг/л, сульфата меди—0,2 мг/л, цианида калия—2 мг/л и т. д.

Все органические соединения окисляются по-разному. Первичные спирты окисляются легче вторичных, а вторичные — легче третичных. Легко окисляются низшие органические кислоты с числом атомов углерода до 10. При большем их числе для окисления требуется определенная адаптация микроорганизмов. *Скорость окисления тем ниже, чем длиннее углеродная цепь.* Циклические углеводороды в целом окисляются труднее парафиновых. Практически не окисляются меламина, нитроформ, нитробензол, оксихинолин, пикриновая кислота, гексахлорбензол, гексахлорбутан, дихлорэтан, дихлорметан, тетрахлорбензол, циклогексан и др.

Биохимическая аэробная очистка сточных вод проводится в специальных сооружениях: аэротенках, окситенках, биофильтрах, биологических прудах и т. д. На аэробную очистку направляются сточные воды с содержанием органических веществ (по БПК) до 5000 мг O_2 /л; конечная их концентрация не превышает 10 мг O_2 /л. Принципиальные схемы широко распространенных одно- и трехкоридорных аэротенков представлены на рис. 5.1 и 5.2.



Рис. 5.1. Схема однокоридорного аэротенка

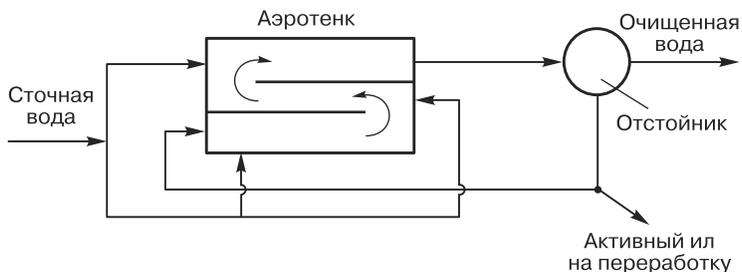


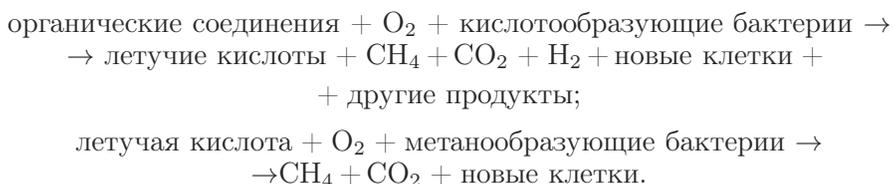
Рис. 5.2. Схема трехкоридорного аэротенка

Время пребывания сточных вод в аэротенке в смеси с активным илом колеблется от 6 до 10 ч. После отстаивания иловой смеси часть

активного ила возвращается в аэротенк, а основная его часть поступает на переработку в метантенки или на иловые поля. Очищенная сточная вода направляется на доочистку или непосредственно в водоемы. Способность активного ила к оседанию характеризуется **иловым индексом**, представляющим собой объем в миллилитрах, занимаемый 1 г ила в его естественном состоянии после 30-минутного отстаивания. Ил с индексом до 120 мл/г оседает хорошо, с индексом 120–150 мл/г — удовлетворительно, а при индексе выше 150 мг/л — плохо.

Общая схема очистки сточных вод представлена на рис. 5.3.

Анаэробный процесс. Биологическое окисление органических веществ происходит за счет кислорода, химически связанного в таких соединениях, как SO_4^{2-} , SO_3^{2-} и CO_3^{2-} . В этом случае свободный кислород отсутствует. Процесс протекает в две основные стадии: на первой стадии образуются органические кислоты, на второй образовавшиеся кислоты преобразуются в метан и диоксид углерода:



В метантенках перерабатываются активный ил и концентрированные сточные воды (обычно $\text{БПК}_n \geq 5000$), содержащие органические вещества, которые разрушаются анаэробными бактериями в ходе метанового брожения (в естественных условиях аналогичный процесс протекает на болотах).

Основные технологические параметры процесса:

- температура в *мезофильных* условиях 25–37°C, *термофильных* — 50–60°C;
- рН от 6,7 до 7,4 (повышение рН вызывает снижение скорости процесса брожения, а при рН выше 8 оно прекращается);
- концентрация органических веществ (по БПК) обычно выше 5000 мг O_2 /л, однако при высокой концентрации микроорганизмов (1–3%) анаэробный процесс протекает и при более низком содержании органических веществ — вплоть до 1000 мг O_2 /л;
- как и в аэробном процессе, необходимы питательные элементы — соединения азота и фосфора, но в два раза меньших количествах;
- микробы чувствительны к наличию некоторых соединений, особенно пероксидов, а также хлор- и серосодержащих производных, поэтому в ряде случаев их приходится предварительно удалять.

Анаэробный процесс весьма чувствителен к залповым сбросам, а восстановление микрофлоры может продолжаться от 1 до 6 мес., хотя

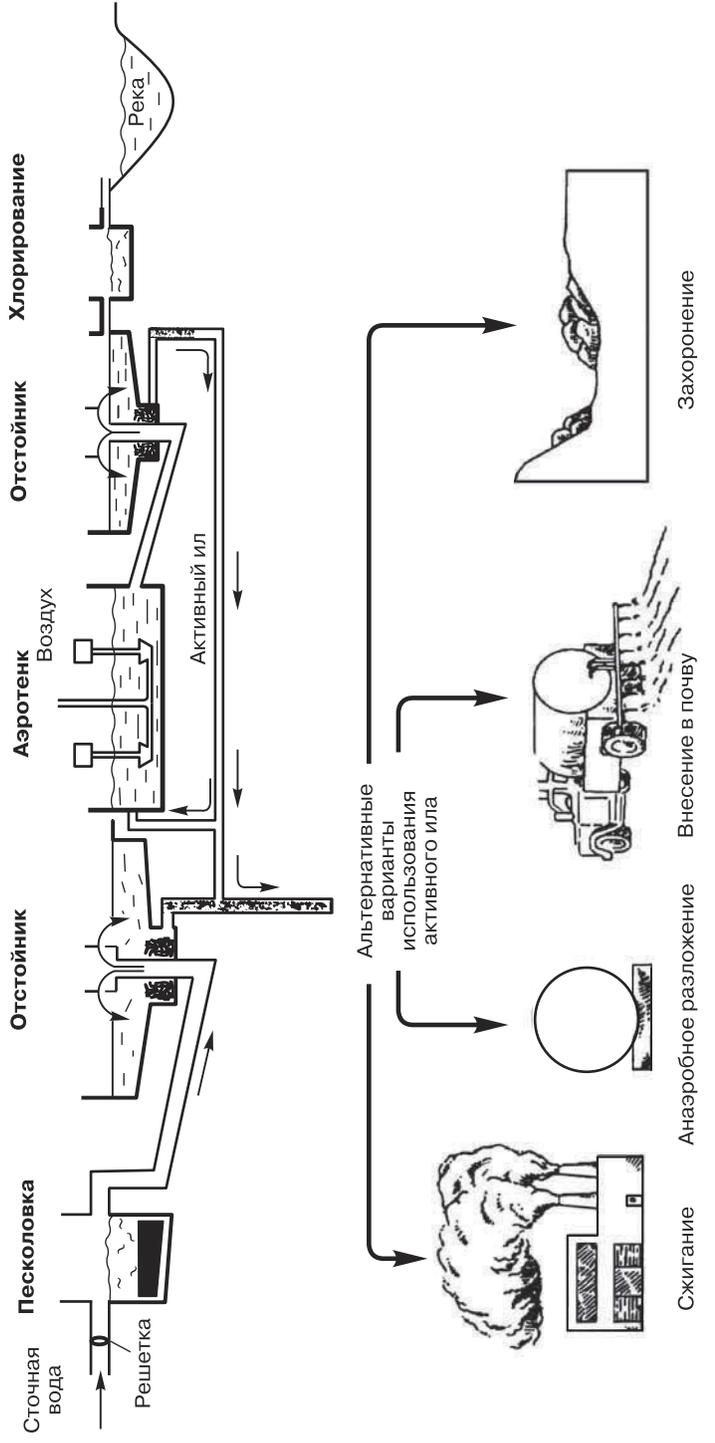


Рис. 5.3. Общая схема очистки городских сточных вод

в нормальных условиях микрофлора может храниться 12–18 мес. и начать работать в течение нескольких дней.

Степень обезвреживания органических соединений в этом процессе в расчете на единицу микробной массы значительно ниже, чем в аэробном (примерно 25% от ее величины для аэробного процесса). Обычно она составляет от 50 до 80%, что явно недостаточно, однако суммарно оба процесса (аэробный и анаэробный) обеспечивают степень очистки от органических веществ (по БПК) до 99%.

В анаэробном процессе, по сравнению с аэробным, образуется значительно меньше шлама — примерно $1/3$ – $1/5$ от его количества в случае аэробного процесса. Анаэробный процесс значительно дешевле (нет аэраторов), но в связи с образованием метана он является взрыво- и пожароопасным.

Основная цель анаэробной обработки — уменьшение объема активного ила или количества органических веществ в сточной воде, получение метана и, самое главное, *получение хорошо фильтрующегося осадка, не имеющего запаха*. Осадки после фильтрации могут быть использованы в качестве удобрения в растениеводстве при условии, что содержание тяжелых металлов в них не превышает предельно допустимых концентраций в почве (ПДК_п). Получаемый в метантенках газ содержит до 75% (об.) метана (остальное — диоксид углерода и воздух) и используется в качестве горючего.

Для очистки водоемов и сточных вод от различных органических и неорганических веществ весьма перспективным, особенно в южных регионах нашей страны, является использование водяного гиацинта (эйхория) (Экология и промышленность, 1998, № 4, с. 8–11).

5.6. ОЧИСТКА ОТ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Хорошо освоенным и широко применяемым методом обессоливания является *дистилляция* (как и в природе, испарение воды). Для обессоливания морской воды используются установки мощностью от 15 до 40 000 м³/сут. Основной их недостаток — большой расход энергии. Лучшие из них расходуют не менее 0,02 Гкал на 1 м³ получаемой воды.

В южных странах для опреснения соленых вод, в основном для питьевых целей, используют солнечную энергию.

В отдельных случаях для удаления солей применяют *вымораживание*. Известно, что при медленном охлаждении соленой воды из нее в первую очередь вымораживаются кристаллы льда, практически не содержащие солей.

Весьма перспективными и уже получившими широкое распространение методами удаления солей являются *мембранные*: электродиализ и обратный осмос. *Электродиализ* основан на направленном переносе ионов диссоциированных солей в поле постоянного тока че-

рез селективные мембраны из естественных или синтетических материалов. Метод позволяет разделять не только сточные воды на обессоленную (чистую) воду и концентрированный раствор солей, но и раствор солей на кислоты, щелочи и другие составляющие. За рубежом метод электродиализа широко применяется для обессоливания воды. Обычно мощность установок составляет 150–250 м³/сут., однако уже действуют установки производительностью 20 и даже 400 тыс. м³/сут.

Обратный осмос — это процесс разделения водных растворов путем их фильтрации через полупроницаемые мембраны под действием давления, много выше осмотического. Метод имеет существенные преимущества перед другими: меньшие энергозатраты, простота изготовления, монтажа и эксплуатации установок и их малые габариты и т. д.

Во всех странах мира широкое распространение получило обессоливание воды с применением ионитов — **ионный обмен**. Несмотря на значительные успехи в развитии методов химического обессоливания воды и дистилляции, ионный обмен до сих пор остается основным методом приготовления глубокообессоленной воды для АЭС и ТЭС с паровыми котлами высокого, сверхвысокого и критического давления, а также для получения ультрачистой и обессоленной воды для химической, электронной и некоторых других отраслей промышленности.

Появление таких методов обессоливания воды, как электродиализ и обратный осмос, не ослабило интереса к ионообменному обессоливанию. Надо полагать, что и в ближайшем будущем этот метод будет самым распространенным и экономически наиболее предпочтительным методом глубокого обессоливания воды со средней степенью минерализации (содержанием солей до 2 г/л).

Основным недостатком общепринятых технологических схем ионообменной очистки является значительное количество солей, образующихся при регенерации ионообменных фильтров (к извлекаемым из очищаемой воды солям прибавляется в 2–4 раза большее количество солей от регенерации ионообменных смол). Большой расход воды на собственные нужды (20–60% от номинальной производительности) и необходимость предварительного освобождения воды от органических веществ, необратимо сорбирующихся на ионообменных смолах и снижающих их обменную емкость, существенно ухудшают показатели процесса очистки. Поэтому среди методов обессоливания ионный обмен следует рассматривать не как способ удаления солей, а как сугубо специфический технологический прием для получения глубоко обессоленной воды и извлечения некоторых ценных или высокотоксичных элементов.

Экономический анализ показывает, что при использовании **дистилляционного опреснения** целесообразно применение высокопроизводительных станций (мощностью несколько десятков тысяч кубических метров в сутки) и сильноминерализованных вод (более 10 г/л).

Мембранные методы обессоливания в настоящее время экономичны при опреснении вод с содержанием солей до 15 г/л.

Электродиализ и *обратный осмос* позволяют получать воду относительно низкой стоимости на установках малой и средней (до нескольких тысяч кубических метров в сутки) производительности. В ряде случаев хорошие результаты достигаются при комбинации методов дистилляции и электродиализа, или обратного осмоса и ионного обмена, или обратного осмоса и электродиализа и др.

5.7. ПЕРЕРАБОТКА РАССОЛОВ И РАПЫ

Все обессоливающие установки, помимо очищенной пресной воды, производят определенное количество растворов со значительной концентрацией солей — рассолов и даже рапы (смесь пересыщенного раствора и солей). Эти концентрированные растворы должны быть либо утилизированы в производственных процессах, либо подвергнуты дальнейшему концентрированию до получения твердых солей с последующим их использованием или безопасным захоронением.

В последнее время в США и Японии интенсивно развиваются исследования по применению электродиализа в технологических схемах опреснения сильноминерализованных, хозфекальных и промышленных сточных вод при создании замкнутых систем водоснабжения с получением выделяемых веществ в виде товарных продуктов. В этих странах уже работает ряд установок такого типа. Большое внимание уделяется разработке метода электродиализа с биполярными мембранами, промышленное внедрение которых позволяет непосредственно получать кислоты и щелочи из растворов солей. В результате появляется возможность решать вопросы утилизации рассолов, получаемых на ионообменных установках. В связи с этим расширяются работы по синтезу новых ионообменных мембран, не подверженных «отравлению» органическими веществами, биполярных мембран, а также мембран с повышенной избирательностью к определенным ионам.

В ряде водооборотных схем, разработанных и внедренных в нашей стране, вещества, выделенные при очистке сточных вод, широко используются для получения товарной продукции. Следует, однако, отметить, что в целом проблема переработки рассолов и рапы решается крайне медленно. В то же время без решения данной проблемы может замедлиться создание замкнутых систем водоснабжения промышленных предприятий. В любой замкнутой системе водоснабжения неизбежно накапливаются соли, которые должны быть выведены и переработаны. Чем больше замкнутых систем промышленного водопотребления будет создано, тем более острой будет проблема переработки этих рассолов и рапы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие вещества в наибольшей степени загрязняют поверхностные воды?
2. Чем обусловлена необходимость создания замкнутых систем производственного водоснабжения?
3. Каковы основные принципы создания замкнутых водооборотных систем?
4. Какие требования должны быть предъявлены к качеству воды, используемой во всех технологических процессах и операциях?
5. Как классифицируются методы переработки (очистки, регенерации) промышленных и сельскохозяйственных сточных вод?
6. Какие методы используются для очистки сточных вод от взвешенных веществ?
7. Какие методы используются для очистки сточных вод от органических веществ?
8. Аэробный процесс. Каковы условия жизнедеятельности живых организмов? Перечислите основные сооружения для биохимической аэробной очистки сточных вод.
9. Анаэробный процесс. Каковы особенности анаэробной очистки сточных вод? Перечислите основные сооружения.
10. Что такое иловый индекс?
11. Назовите основные методы очистки сточных вод от неорганических растворенных веществ.
12. Перечислите методы обессоливания.

ПЕРЕРАБОТКА И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

В химии нет отходов, а есть неиспользованное сырье.

Д. И. Менделеев

Образование отходов производства и потребления относится к числу глобальных проблем, порожденных развитием человеческой цивилизации. Только в России ежегодно образуется около 7 млрд тонн отходов, в том числе около 130 млн тонн твердых бытовых (коммунальных) отходов, и это количество увеличивается на 3–4% в год. Вполне понятно, что при таком положении вещей утилизация отходов безоговорочно признается важнейшей социальной и политической проблемой, как это показали недавние события в Неаполе (Италия). Решение этой проблемы требует серьезных усилий и материальных вложений. Накопление отходов наносит огромный экологический, экономический и социальный ущерб. Отходы, обладая высокой токсичностью, являются существенным источником загрязнения окружающей среды (атмосферы, почв, поверхностных и подземных вод), оказывают негативное воздействие на все компоненты структуры ландшафтов. Особая опасность связана с проникновением загрязняющих веществ в пищу и организм человека. Для хранения и захоронения отходов отторгаются большие площади земель, зачастую сельскохозяйственного назначения.

Особое внимание в мировой практике обращения с отходами уделяется ресурсной стороне вопроса. В связи с исчерпаемостью природных ресурсов решение проблемы заключается в рациональном их использовании, в целенаправленном повышении роли вторичных ресурсов и организации локального, регионального, а затем и глобального (в масштабах государства) техногенного круговорота веществ. При этом первичное сырье будет затрачиваться только на восполнение потерь и расширение объемов производства. В конечном итоге основным для промышленного производства должно стать вторичное сырье.

Последствия нерационального обращения в этой сфере исключительно неблагоприятны не только для окружающей среды, но и для развития экономики. Использование вторичных ресурсов существенно сокращает затраты на производство различных видов продукции, значительно снижает потребление невозобновляемых природных ресурсов и уменьшает негативное воздействие на окружающую среду в процессе производства. Устойчивое развитие общества, качество жизни населения и его здоровье могут быть обеспечены лишь при условии поддержания соответствующего качества окружающей среды. Поэтому *эффективное управление отходами, включающее вовлечение их в пере-*

работку и экологически безопасное обезвреживание, является важнейшим фактором экономического и социального развития города, региона и страны в целом.

6.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОТХОДОВ

Отходы — это сырье, по тем или иным причинам неиспользованное или недоиспользованное. В соответствии с ГОСТ 25916-83 «Ресурсы материальные вторичные (термины и определения)» к **отходам производства** относятся остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, образующиеся при производстве продукции или выполнении работ и утратившие полностью или частично исходные потребительские свойства, а к **отходам потребления** — изделия и материалы, утратившие свои потребительские свойства в результате физического или морального износа.

Федеральный закон № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», 1998 г. гласит: *«отходы* — остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов, которые образовались в процессе производства или потребления, а также товары (продукция), утратившие свои потребительские свойства; *опасные отходы* — отходы, которые содержат вредные вещества, обладающие опасными свойствами (токсичностью, взрывоопасностью, пожароопасностью, высокой реакционной способностью) или содержащие возбудителей инфекционных болезней, либо которые могут представлять непосредственную или потенциальную опасность для окружающей природной среды и здоровья человека самостоятельно или при вступлении в контакт с другими веществами».

Отходы производства и потребления, которые образуются в народном хозяйстве, являются *вторичными материальными ресурсами* (ВМР). Вторичные материальные ресурсы — это еще не вторичное сырье. *Вторичное сырье* определяется как «вторичные материальные ресурсы, которые в настоящее время могут повторно использоваться в народном хозяйстве», т. е. для этого имеются технические и экономические возможности. Вторичные материальные ресурсы, для использования которых в настоящее время нет условий, относятся к неиспользуемым отходам.

ВМР рассматриваются как совокупность отходов производства и потребления, которые могут быть использованы в качестве основного или вспомогательного материала для получения продукции. По мнению компетентных специалистов 2/3 образующихся отходов может быть восстановлено, переработано и использовано повторно. Известный американский ученый, лауреат Нобелевской премии Глен Сиборг писал, что «... все отходы и лом, которые называют сегодня вторичным сырьем, станут нашим главным ресурсом, а нетронутые природные ресурсы станут нашим резервом».

Все отходы классифицированы. В 2002 г. приказом Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 02.12.02 № 786 введен Федеральный классификационный каталог отходов (дополнение к Каталогу утверждено приказом от 30.07.03 № 663).

Тринадцатизначный Федеральный классификационный каталог отходов — это перечень образующихся в Российской Федерации отходов, систематизированных по совокупности приоритетных признаков: происхождению, агрегатному и физическому состоянию, опасным свойствам, степени вредного воздействия на окружающую природную среду.

Каталог предназначен для использования в системе государственного управления в области обращения с отходами: при учете, контроле, нормировании, лицензировании деятельности в области обращения с отходами; выдаче разрешений на трансграничные перевозки и размещение отходов; при проектировании природоохранных сооружений и проведении средозащитных мероприятий; при оценке материального ущерба или риска возникновения аварии при обращении с отходами. Выборка из Федерального классификационного каталога отходов приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Выборка из Федерального классификационного каталога отходов

Код	Наименование
100 000 00 00 00 0	Отходы органические природного происхождения (животного и растительного)
110 000 00 00 00 0	Отходы производства пищевых и вкусовых продуктов
120 000 00 00 00 0	Отходы растительных и животных жировых продуктов
130 000 00 00 00 0	Отходы содержания, убоя и переработки животных и птиц (включая отходы рыбы и иных морепродуктов)
170 000 00 00 00 0	Древесные отходы
180 000 00 00 00 0	Отходы целлюлозы, бумаги и картона
190 000 00 00 00 0	Другие отходы от переработки продуктов животного и растительного происхождения
300 000 00 00 00 0	Отходы минерального происхождения
340 000 00 00 00 0	Отходы добывающей промышленности
350 000 00 00 00 0	Отходы металлов и сплавов

Окончание табл. 6.1

Код	Наименование
500 000 00 00 00 0	Отходы химического происхождения
540 000 00 00 00 0	Отходы переработки нефти, угля, газа, горючих сланцев и торфа
550 000 00 00 00 0	Отходы органических растворителей, красок, лаков, клея, мастик и смол
560 000 00 00 00 0	Отходы фармацевтической продукции и гигиенических средств
580 000 00 00 00 0	Отходы текстильного производства, производства волокон
900 000 00 00 00 0	Отходы коммунальные
910 000 00 00 00 0	Твердые коммунальные отходы
920 000 00 00 00 0	Отходы сложного комбинированного состава в виде изделий, оборудования, устройств, не вошедшие в другие пункты
970 000 00 00 00 0	Медицинские отходы (больниц и лечебно-оздоровительных учреждений)

Тринадцатизначный код определяет вид отходов, характеризующий их общие классификационные признаки. Первые восемь цифр используются для кодирования происхождения отхода; девятая и десятая цифры содержат код агрегатного состояния и физической формы (0 — данные не установлены, 1 — твердый, 2 — жидкий, 3 — пастообразный, 4 — шлам, 5 — гель, коллоид, 6 — эмульсия, 7 — суспензия, 8 — сыпучий, 9 — гранулят, 10 — порошкообразный, 11 — пылеобразный, 12 — волокно, 13 — готовое изделие, потерявшее потребительские свойства, 99 — иное); одиннадцатая и двенадцатая цифры используются для кодирования опасных свойств и их комбинаций (0 — данные не установлены, 1 — токсичность (т), 2 — взрывоопасность (в), 3 — пожароопасность (п), 4 — высокая реакционная способность (р), 5 — содержание возбудителей инфекционных болезней (и), 6 — (т+в), 7 — (т+п), 8 — (т+р), 9 — (в+п), 10 — (в+р), 11 — (в+и), 12 — (п+р), 13 — (п+и), 14 — (р+и), 15 — (т+в+п), 16 — (т+в+р), 17 — (т+п+р), 18 — (в+п+р), 19 — (в+п+и), 20 — (п+р+и), 21 — (т+в+п+р), 22 — (в+п+р+и), 99 — опасные свойства отсутствуют); тринадцатой цифрой кодируется класс опасности для окружающей природной среды (0 — класс опасности не установлен, 1 — I класс опасности, 2 — II класс опасности, 3 — III класс опасности, 4 — IV класс опасности, 5 — V класс опасности).

При поиске вида отхода в Каталоге отходов определяющим является код, а не наименование отхода.

Постановлением Правительства Москвы от 14.10.03 № 865-ПП введен «Сводный кадастр отходов производства и потребления города Москвы», в основном повторяющий Федеральный классификационный каталог отходов.

6.2. ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОТХОДОВ

Как уже неоднократно отмечалось, при производстве продукции в нее переходит около 10% исходного сырья и материалов. Общая полезная степень использования добываемых материалов (с учетом закладки выработанного пространства, засыпки оврагов, планировочных работ и т. д.) составляет примерно 30%. Оценивая значение использования отходов с точки зрения рационального природопользования, следует иметь в виду, что в структуре производственных затрат в нашей стране определяющими являются затраты на сырье, топливо и материалы. В общем объеме валового общественного продукта эти затраты составляют около 60%. Исключительно пагубное влияние отходов на окружающую среду вызывает всеобщую озабоченность.

Первым государственным актом о вторичном сырье в нашей стране является указ Петра I от 24 апреля 1714 г. о сборе и использовании отходов холста. В 1998 г. принят специальный Федеральный закон «Об отходах производства и потребления». Этот закон, являющийся дальнейшим развитием Закона «Об охране окружающей среды», определяет государственную политику в области обращения с отходами производства и потребления.

Основной тенденцией в сфере управления отходами в России и в других развитых странах мира является их минимизация (waste minimization) [22] путем:

- предотвращения или уменьшения образования отходов (т. е. безотходное или малоотходное производство);
- улучшения качества образующихся отходов, включая уменьшение количества токсичных веществ в них;
- повторного использования, рецикла и восстановления или извлечения полезных компонентов из них.

В большинстве стран соблюдается следующий приоритетный ряд в обращении с отходами:

- предотвращение образования отходов имеет приоритет перед повторным их использованием;
- повторное использование или рецикл в том же процессе предпочтительнее внешнего использования;
- использование отходов предпочтительнее использования их энергии (получаемой, например, путем сжигания); однако в Германии, Кореи и Швейцарии оба направления обладают равной приоритетностью;

– во всех странах повторное использование или восстановление (извлечение) имеет безусловный приоритет перед складированием или захоронением;

– в ряде стран сжигание отходов относится к категории «минимизация» только в случае использования энергии.

В связи с тем что переработка промышленных отходов является или должна являться составной частью технологии, по которой они образуются, в этой и следующей главах будут рассмотрены переработка и обезвреживание бытовых (коммунальных) и токсичных отходов.

6.3. ТВЕРДЫЕ БЫТОВЫЕ ОТХОДЫ

История проблемы бытовых отходов. Проблема бытовых отходов — древнейшая проблема, ибо родилась вместе с появлением человека. Как отмечал В. И. Вернадский, «ни один вид не может существовать в созданных им отходах». С момента, когда человек начал осознавать всю опасность этого явления для себя, он в меру своих сил и возможностей старался тем или иным способом оградить среду своего обитания от накопления загрязняющих веществ. Первые известные примеры такой деятельности восходят к античным цивилизациям.

Около 1445 г. до н. э. Моисей обязал народ возвращать отбросы обратно в землю (Второзаконие, гл. 23, стихи 12–13). В то время население было немногочисленным (а значит, количество отходов — небольшим), человек вел натуральное хозяйство (что исключало образование токсичных веществ), поэтому природа была в состоянии справляться с отходами.

В период средневековья с ростом городов и численности населения, бурным развитием ремесел и торговли проблема бытовых отходов стала уже весьма серьезной для городских жителей; средневековые города утопали в грязи и отбросах. Даже такие красивейшие города, как Париж, Генуя и Неаполь, буквально купались в нечистотах.

В 1297 г. в Англии был принят закон, обязывающий домовладельцев содержать дом и тротуар перед домом в чистоте. Закон 1354 г. обязывал жителей убирать грязь на улице еженедельно; вскоре появилась профессия мусорщика и специальные повозки для вывоза отходов.

В начале 1870-х гг. британский парламент издал ряд законов и создал административный орган, ведавший общественным здравоохранением, управлением отходами и охраной рек от загрязнения. Впервые вся Англия и Уэльс были разделены на городские и сельские санитарные районы, причем сеть контроля за канализацией, сбором и удалением мусора, загрязнением рек была организована по всей стране. Законодательные постановления были такими всесторонними и предусматривающими такие далекие цели, что проведение их в жизнь было не только затруднительным, но в некоторых случаях даже невозможным. Это было единственным случаем, когда законодательство оставило позади

технологии. Закон требовал, чтобы сточные воды были «свободны от всех экскрементирующих, загрязняющих или токсических веществ, которые могут влиять на качество воды или ухудшать его в любом водном потоке, в который они вливаются». Эта идеальная цель никогда не была достигнута. Однако высокие стандарты, установленные в то время законодательством, дали стимул техническим нововведениям, и в конце столетия применение фильтров для обработки сточных вод уже прочно вошло в практику. В некоторых больших городах бытовые отходы сжигали, а сваливание и закапывание отходов контролировались.

В начале прошлого века и в других странах Европы и Америки решению проблемы бытовых отходов уже уделяется значительное внимание. В Берлине, Триесте, Мариенбаде начинают практиковать систему мусоросборников, а также создаются специальные службы, обеспечивающие замену наполненных мусоросборников на пустые и чистые. В 1934 г. на конференции Международного союза городов проблема бытовых отходов рассматривалась крайне серьезно и впервые упоминалось, что в ряде городов Италии в некоторых домах уже функционируют мусоропроводы.

В Париже производители контейнеров для сборки мусора начинают продавать не только их, но и услуги по их обслуживанию специальными рабочими; впервые появляются машины для перевозки мусора. С 1934 г. вместо открытых машин уже используются закрытые, снабженные устройством, прессующим мусор. К этому моменту проблема сокращения объема мусора приобретает все большее значение. В результате создаются пункты, где производится дробление мусора, который вывозится автотранспортом на все более удаленные от города свалки. Затем муниципальными властями была создана специальная служба по уборке улиц.

С 1934 г. в Риме и Генуе сбором мусора также занимались специальные рабочие, которые собирали мусор с каждой квартиры в большие полотняные мешки. Эти мешки периодически стирались в специально оборудованных прачечных. В Америке наряду с такими мешками использовались и одноразовые бумажные мешки, которые потом сжигались на специальных мусоросжигающих заводах со всем своим содержимым.

Особо следует остановиться на мусоропроводах. Большинство современных домов оборудовано мусоропроводами, но их сооружение и содержание были предметом строгой регламентации. Их полезность в настоящее время постоянно оспаривается, так как они не вполне удовлетворительны с точки зрения гигиены. Стеклоянная тара, которая в них сбрасывается, разбивается, что может приводить к несчастным случаям. Кроме того, они требуют частой промывки, что, как правило, не соблюдается. Собираемые мусоропроводами отходы вывозятся достаточно нерегулярно, и это создает благоприятную среду обитания для вредных насекомых и грызунов, а также ведет к загрязнению воздуха.

Проблема твердых бытовых отходов (ТБО) в настоящее время становится все более и более актуальной, особенно в городах. Согласно данным последней переписи населения, в нашей стране около 70% людей проживает в крупных городах. При этом ежегодно на каждые 100 тыс. жителей образуется около 200 тыс. тонн отходов (средние цифры для крупнейших мегаполисов РФ), в том числе в жилом фонде — примерно 25 тыс. тонн ТБО и крупногабаритного мусора. Около 14 тыс. тонн ТБО и крупногабаритных материалов и 15 тыс. тонн отходов производства образуются в нежилом фонде города. К этим отходам добавляется примерно 6 тыс. тонн медицинских и биологических отходов. При увеличивающихся повсеместно масштабах строительных работ в городах образуется еще около 110 тыс. тонн строительных отходов. При очистке сточных вод производится около 30 тыс. тонн осадков. В ближайшие 5–7 лет аналогичные объемы отходов будут характерны и для большинства крупных городов РФ.

Темпы роста ТБО в три раза превышают темпы роста численности населения. Количество ТБО на душу населения в различных странах и регионах различно. В развитых европейских странах (Бельгия, Великобритания, Германия, Дания, Италия, Нидерланды, Швеция, Швейцария), а также в Японии этот показатель уже достиг 340–440 кг, в Австрии и Финляндии — свыше 620 кг, а в США — превысил 720 кг на одного человека в год. Отходы упаковки в развитых странах Европы составляют до 150 кг на человека в год, в США — около 250 кг, а в небольшой густонаселенной Японии — почти 400 кг.

В последнее время наблюдается беспрецедентный рост количества муниципальных отходов в нашей стране, обусловленный ростом деловой активности, увеличением покупательской способности населения, развитием индустрии упаковочных материалов. По некоторым данным, в отдельных регионах страны масса ТБО в год на одного человека уже составляет от 300 до 400 кг.

В 2003 г. в Москве объем отходов составил 19 млн тонн, из них: ТБО и КГМ (крупногабаритный мусор, например мебель, холодильники) — 3,9, отходы производств — 3,2, медицинские отходы — 0,24, биологические отходы — 0,2, осадки очистных сооружений — 3,5, загрязненный грунт — 6,0, строительные отходы — 2,0 млн тонн. В 2010 г. с территории Москвы вывезено 20,162 млн м³ ТБО, в том числе на мусороперерабатывающие заводы — 1,03 млн м³.

В настоящее время система сбора и переработки ТБО превратилась в крупную отрасль промышленности, оснащенную современной техникой. Вопросами первостепенной важности являются система сбора ТБО и, отчасти, их транспортировка. Эти же операции являются и самыми дорогостоящими: стоимость сбора и транспортировки ТБО составляет сейчас до 80% общей стоимости всей переработки отходов.

Состав твердых бытовых отходов зависит от многих факторов: уровня развития страны и региона, культурного уровня населения и его

обычаев, времени года и других причин. Среднестатистические данные для ряда развитых стран мира и Москвы приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2
Среднестатистические данные по составу ТБО в ряде развитых стран и в Москве, %

Компоненты отходов	Развитые страны мира	Москва
Бумага, картон	20–40	28,8
Металлы	2–10	5,7
Пищевые отходы	25–40	28,5
Пластмасса	3–8	5,1
Текстиль	4–6	3,0
Стекло	4–10	4,4
Различные горючие материалы		1,8
Инертные материалы		3,4
Отсев (< 15 мм)		16,1

Более трети ТБО составляют упаковочные материалы, количество которых непрерывно увеличивается. Состав упаковочных материалов в Японии и Великобритании представлен ниже (%):

Компоненты упаковочных материалов	Япония	Великобритания
Бумага	29,7	25,9
Пластмассы	37,4	25,1
Стекло	21,3	28,5
Металлы	11,1	20,4
Прочие	0,5	0,1

За последние 20 лет произошли принципиальные изменения в идеологии и технике обращения с твердыми бытовыми отходами [23]. Вначале преобладали суммарный сбор и общая переработка путем вывоза на санитарные свалки (полигоны), компостирование и сжигание. Затем в различных странах (США, Великобритании, Франции, Германии, Швейцарии, Италии и других, включая Россию) стали проводиться работы по механической сепарации ТБО и отдельному (селективному) сбору ТБО путем их сортировки населением на несколько видов: пищевые отходы, черные и цветные металлы, стекло, пластмасса, бумага, картон, тряпье и т. д. Для этих целей используются контейнеры, ящики или мешки различного цвета. Собранные в отдельные емкости компоненты отходов подлежат отдельной транспортировке на перерабатывающие предприятия. На рис. 6.1 в качестве примера приведена схема магнитного извлечения черных металлов из твердых бытовых

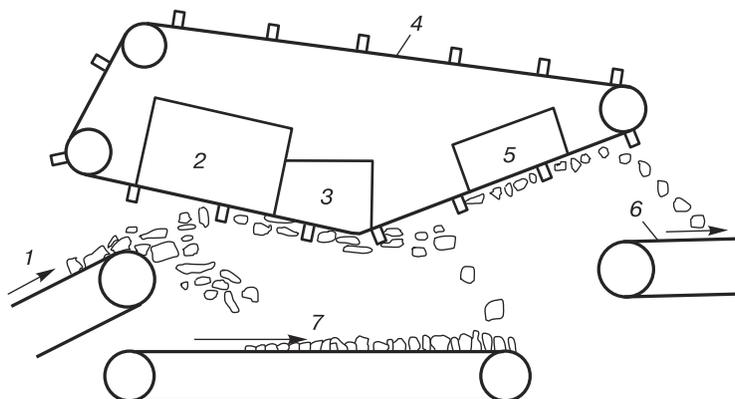


Рис. 6.1. Аппаратурно-технологическая схема извлечения черных металлов из ТБО методом магнитной сепарации: 1 — транспортер для подачи измельченных отходов; 2 — вибрирующий магнит; 3 — транспортирующий магнит; 4 — движущаяся лента; 5 — сбрасывающий магнит; 6 — транспортер для железосодержащей фракции; 7 — транспортер для немагнитной фракции

отходов. Предварительно и в ходе организации отдельного сбора ТБО среди населения проводилась большая разъяснительная и воспитательная работа. В Германии, например, для организации отдельного сбора ТБО потребовалось более 20 лет.

В промышленном масштабе комплексная переработка ТБО с механическим извлечением ценных компонентов наиболее полно была решена итальянской компанией «Сорайн Чеккини». По технологии, применяемой на заводах этой фирмы, предусмотрено извлечение черных металлов, макулатуры, пластмассы, стекла и органической части, из которой производили корм для скота и органическое удобрение — компост (рис. 6.2).

Извлеченное магнитной сепарацией железо подвергается термической обработке для удаления примесей и прессуется в брикеты по 150 кг. В сутки выпускается около 50 т таких брикетов.

Макулатура «мокрым способом» переводится в бумажную массу, которая затем применяется при изготовлении серого и крашеного картона, оберточной бумаги и т. п. После облагораживания она может заменять часть древесной массы при изготовлении газетной и журнальной бумаги, а также прессованной бумаги, например бумажной тары для хранения яиц и фруктов. Заводы выпускают около 200 т/сут. бумажных волокон.

Из крупной фракции органической части отходов приготавливали корм для скота в объеме около 45 т/сут., сушили до содержания влаги 8% и после получения однородной массы и очистки гранулировали. *В связи с имевшимися случаями отравления скота в настоящее время такой корм не выпускается.*

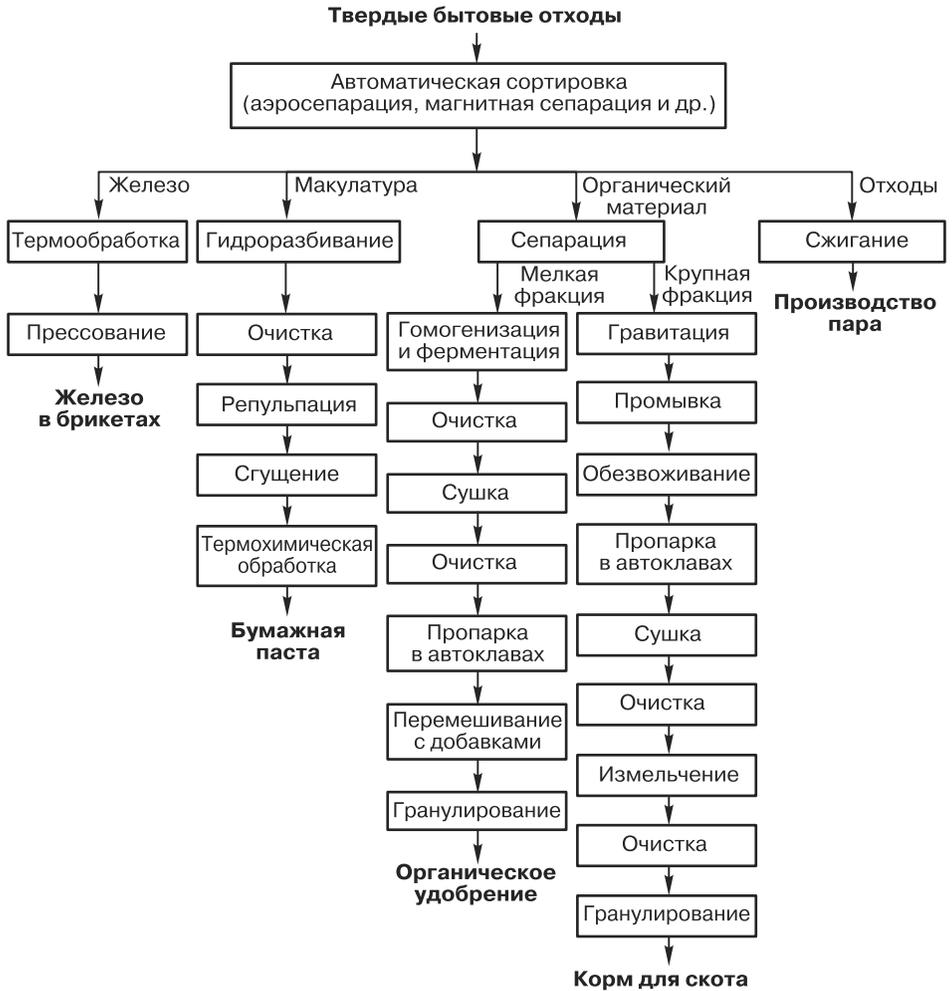


Рис. 6.2. Принципиальная схема промышленной переработки ТБО по технологии компании «Сорайн Чеккини» (Италия)

Из многочисленных видов пластмасс извлекают только полимерную пленку, остальные пластмассовые изделия (штампованные полиэтиленовые материалы высокой плотности, хлорвиниловые и другие материалы) сжигают. Пленка поставляется заводам в виде кип, из которых производится гранулированный материал, пригодный для штамповки.

Около 45% исходного количества ТБО, поступающих на переработку, сжигают. Тепло используют для производства пара, применяемого в технологических процессах: при очистке бумажной массы, при сушке кормов и удобрений, а также при разгрузке мусоровозов (совместно

с оксихлоридами для уменьшения количества пыли и приостановления начинающегося брожения). Заводы работают на оборотной воде.

По данным компании «Сорайн Чеккини», степень извлечения в товарные продукты из исходного сырья составляла: железа — 95% (при исходном содержании в ТБО около 3%), бумаги — 75% (при 15% в ТБО), органических веществ для кормов и удобрений — 85%, пластмасс — 50% (при 2% в ТБО).

Заводы работали в две смены. Практически все оборудование было смонтировано в закрытом исполнении для предупреждения распространения неприятных запахов. Расход электроэнергии при переработке 1 т ТБО составлял около 80 кВт·ч, расход воды — 1 м³. Обслуживающий персонал завода — 150 человек. Площадь, занимаемая заводом и вспомогательными цехами, составляла 3,5 га.

В 1983 г. в СССР на МПО «Полимер» была реализована технология механизированного извлечения из ТБО легкой (макулатуросодержащей) фракции, черного и цветного металлолома (рис. 6.3) [24]. В настоящее время эта установка не работает.

Исходные ТБО из мусоровозов выгружаются в приемный бункер, дном которого служит пластинчатый питатель, и затем конвейерной эстакадой подаются на механизированную линию сортировки. Над ленточным конвейером установлен подвесной электромагнитный сепаратор (первая основная магнитная сепарация); в качестве приводного барабана конвейера используется магнитный шкив (первая контрольная магнитная сепарация). Основная сепарация обеспечивает извлечение черного металлолома, находящегося на слое ТБО, контрольная — под слоем отходов.

Далее поток ТБО поступает в вертикальный аэросепаратор, где материал делится на две фракции — легкую, выносимую потоком воздуха в циклон, и тяжелую, поступающую на второй ленточный конвейер. Над его лентой установлен подвесной магнитный сепаратор (вторая основная магнитная сепарация), а в качестве приводного барабана используется магнитный шкив (вторая контрольная магнитная сепарация).

Многостадийная схема магнитной сепарации обеспечивает практически полное (95–100%) извлечение черного металлолома из потока ТБО, что необходимо не только для комплексного использования сырья, но и для обеспечения оптимальных условий работы узла электродинамической сепарации.

Электродинамические сепараторы основной стадии установлены после аппаратов магнитного обогащения под лентой третьего конвейера, а контрольной стадии — под лентой четвертого конвейера. Электродинамические сепараторы работают в автоматическом режиме по сигналу металлоискателей и включаются точно в момент попадания цветного металлолома в зону индуктора.

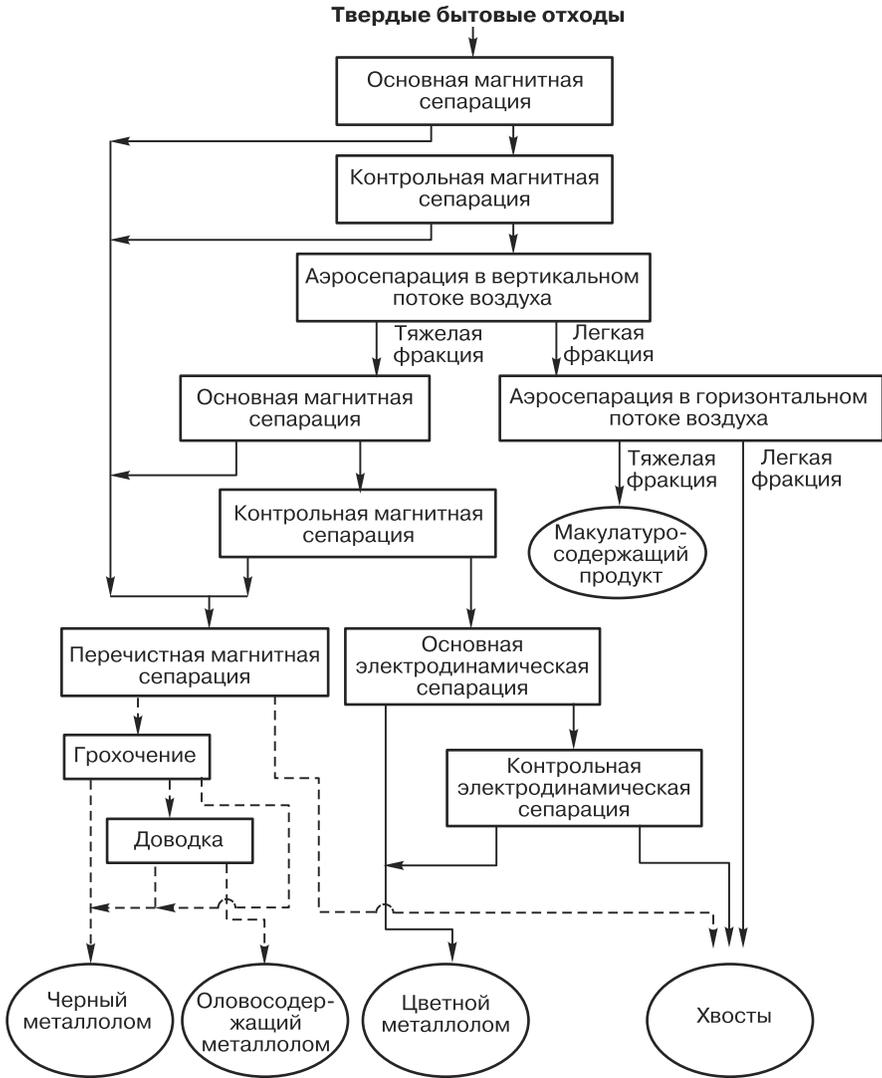


Рис. 6.3. Принципиальная технологическая схема обогащения ТБО, реализованная на МПО «Полимер» для извлечения металлов и легкой фракции: пунктиром отмечено выделение оловосодержащего металлолома (консервные банки)

Металлоискатель при электродинамической сепарации создает наиболее экономичные условия для работы индуктора (цветной металл не идет сплошным потоком) и обеспечивает наибольшую эффективность его работы как сортирующего устройства (импульсный режим). Степень извлечения цветного металлолома находится на уровне 80%.

Наиболее сложным в ходе освоения технологии оказался узел первичной аэросепарации. Первоначально потоки воздуха в вертикальном аэросепараторе были организованы с помощью как всасывающего, так и нагнетающего вентиляторов. Однако питатели лопастного типа вертикального аэросепаратора из-за их непригодности к работе были демонтированы. В реконструированном аппарате воздушный поток формировался только за счет всасывающего вентилятора. По существу была создана новая модель аэросепаратора и найден режим, обеспечивающий эффективное извлечение из ТБО легкой фракции при работе аппарата без питателей. Проводились также работы по изысканию путей утилизации легкой фракции, извлеченной из ТБО.

На первом этапе внедрения технологии обогащения бытовых отходов на МПО «Полимер» получали коллективный магнитный концентрат, который реализовывался как черный металлолом. На втором этапе было предусмотрено разделение магнитного концентрата после его перемешивания на два продукта — собственно черный металлолом и оловосодержащий металлолом.

Хвосты обогащения ТБО на МПО «Полимер» сжигали. Возможны два варианта их вовлечения в дальнейшую переработку: 1) грубое обогащение с целью выделения пищевой части для последующего компостирования или 2) тонкое обогащение с целью очистки от примесей пищевой части, идущей на приготовление корма для скота. Для отработки первого направления не требуется строительства специального экспериментального цеха, для отработки второго направления такое строительство обязательно.

Для грубого обогащения тяжелой фракции ТБО можно использовать специальный грохот или гравитационный сепаратор (разработанный ВИВРОм¹⁾), который позволяет отделять от пищевой части стекло, камни, кости, остатки металлов и т. п. Концентрат, получаемый на стадии гравитации, следует перерабатывать в компост.

В итоге сортировки ТБО с извлечением металлов и легкой фракции и переработки обогащенной тяжелой фракции в компост или корм для скота утилизируется около 50% исходных ТБО.

При эксплуатации завода производительностью 200 тыс. тонн ТБО в год можно ежегодно получать около 45 тыс. тонн легкой фракции (в том числе полимерной пленки около 1,5 тыс. тонн), 2–4 тыс. тонн черного металлолома, 1,5–2 тыс. тонн оловосодержащего металлолома, до 1 тыс. тонн лома алюминия, 35–45 тыс. тонн компоста или около 5 тыс. тонн сухого корма для скота. Хвосты обогащения следует подвергать пиролизу или сжигать.

Заводы по обогащению ТБО, в отличие от мусоросжигательных заводов, прибыльны, не загрязняют окружающую среду и способствуют рациональному и экономному использованию природных ресурсов.

¹⁾ В настоящее время ФБУ «НИЦПУРО».

Экономика заводов во многом зависит от условий реализации продуктов обогащения и переработки ТБО.

Опыт большинства стран показал, что будущее за отдельным сбором ТБО населением (по эффективности ему нет альтернативы), но вводить его можно только тогда и только там, где общественное сознание и культура населения приемлют его. Количество контейнеров (или частей ТБО при отдельном сборе) не должно превышать трех-четырёх, пять — уже много даже для высокоразвитых стран. В начале организации отдельного сбора ТБО желательно сортировать ТБО хотя бы на две фракции: утилизируемую (подлежащую переработке) и не утилизируемую (подлежащую захоронению или сжиганию). В практическом плане сейчас рассматриваются различные комбинации переработки ТБО с различной долей сепарации, в том числе и населением.

Для ближайшего будущего система сбора и переработки ТБО, вероятно, будет выглядеть следующим образом [22]:

- площадка для приема и первичного осмотра отходов;
- платформа предварительной сортировки (удаление крупногабаритных отходов, таких как мебель, бытовая техника и т. д.);
- устройство для разрыва пакетов и отделения органической части отходов для последующей переработки, например компостированием;
- платформа вторичной сортировки для ручного извлечения ценных компонентов для повторного использования (бумага, картон, различные виды пластмасс, стекло и т. д.) с последующим прессованием;
- секция магнитного выделения железосодержащих материалов и их прессования;
- секция для выделения изделий из цветных металлов (в первую очередь алюминиевых банок) за счет наведенного электрического поля;
- оборудование для высокоплотного прессования неиспользуемых компонентов ТБО для вывоза на полигон.

Однако в настоящее время в нашей стране, да и в большинстве других стран, основными методами обезвреживания твердых бытовых отходов являются: вывоз на полигоны, сжигание и компостирование (по крайней мере выделенной органической их части). В технологии и аппаратурном оформлении процесса компостирования за последнее время произошли большие изменения: ранее применявшиеся биобарабаны заменены бассейнами, а время обработки увеличилось в разы. Все это позволило доводить ферментацию до конца (в биобарабанах она только начиналась) и получать качественный продукт.

На рис. 6.4 представлено соотношение различных методов утилизации ТБО в Европе в 2009 г.

6.4. ВЫВОЗ НА СВАЛКИ (ПОЛИГОНЫ)

В развитых странах на свалки вывозится 35–85% ТБО (рис. 6.4), в нашей стране — около 96%, и часто это неконтролируемые свалки. Всего

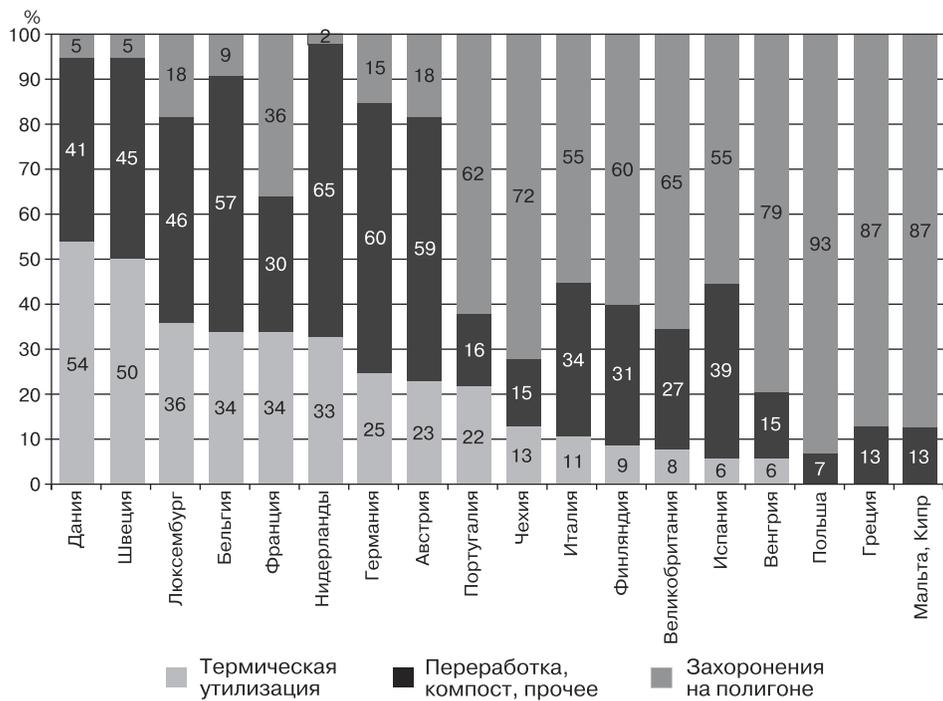


Рис. 6.4. Утилизация ТБО в Европе (2009 г.)

на территории РФ в 2010 г. эксплуатировалось 4617 полигонов (свалок). Достоинствами этого метода являются простота и относительная дешевизна по сравнению с другими методами, недостатком — расход больших площадей, вторичное загрязнение окружающей среды и потеря ценных компонентов ТБО.

Система сбора и вывоза ТБО в Москве (1997 г.) представлена на рис. 6.5 [25].

В сфере обращения с твердыми бытовыми отходами в Москве на долю их транспортировки приходится более 70–75% всех затрат. Основным требованием к выбору и организации системы транспортировки является обеспечение экологической безопасности при минимуме затрат.

Прямая (одноэтапная) система транспортировки обычно применяется при небольшом удалении мест образования отходов от объектов их переработки и обезвреживания. Двухэтапная система с применением мусороперегрузочных станций (МПС) эффективна при средней и большой дальности перевозок ТБО и обычно используется в крупных городах.

Создание сети МПС позволяет повысить экономическую эффективность и экологическую безопасность транспортировки ТБО за счет

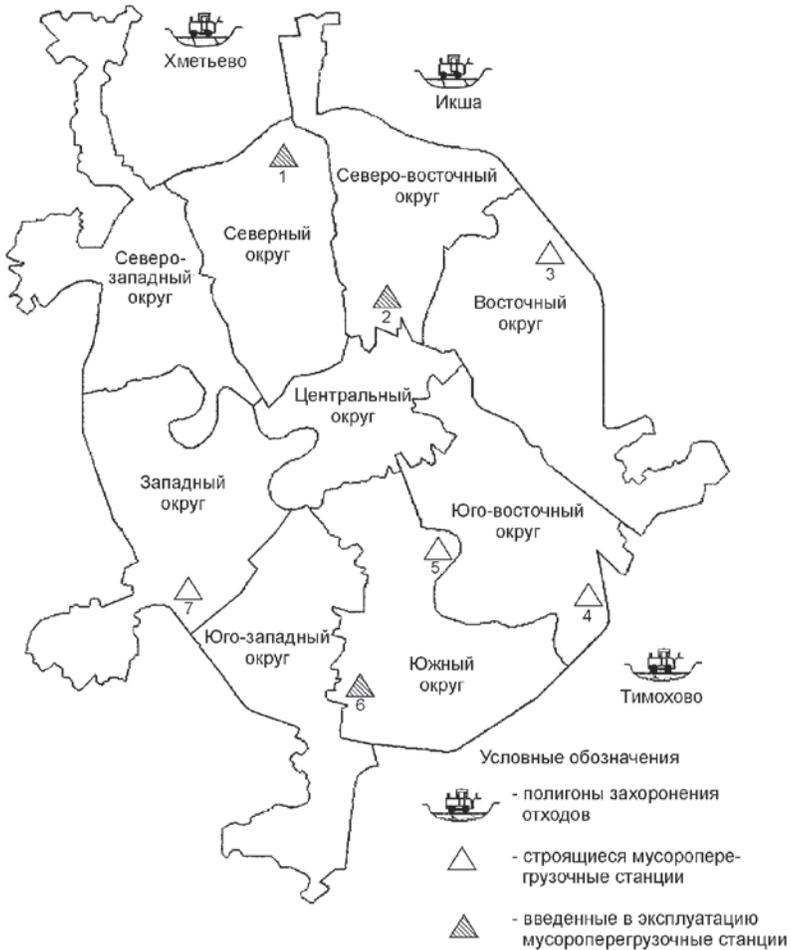


Рис. 6.5. Размещение мусороперегрузочных станций ТБО в г. Москва

более эффективного использования собирающих большегрузных транспортных мусоровозов, уменьшения объема транспортируемых отходов и степени загрузки транспортной сети города, улучшения условий размещения отходов на полигоне.

По производительности МПС подразделяются на малые (количество перерабатываемых отходов не более 50 т/сут.), средние (50–100 т/сут.) и крупные (более 100 т/сут.). На ряде МПС предусмотрена операция уплотнения отходов. При ее отсутствии МПС эффективны лишь при малой производительности. В зарубежной практике большое распространение получили МПС со стационарными прессами для уплотнения ТБО в кузове (сменных кузовах) транспортных мусоровозов, что

позволяет максимально использовать их полезную грузоподъемность. Это дает возможность себестоимость вывоза 1 м^3 отходов снизить примерно на 25%, капиталовложения — на 30%, уменьшить численность обслуживающего персонала и водителей мусоровозов, экономить до 35% горючесмазочных материалов.

Эффективность использования МПС может быть значительно увеличена с помощью систем уплотнения ТБО в виде тюков (рис. 6.6).

Увеличение плотности тюков ТБО до $1000\text{--}1200 \text{ кг/м}^3$ позволяет:

- уменьшить объем транспортируемых ТБО в пять раз;
- увеличить срок эксплуатации полигона в три–пять раз;
- уменьшить потребление грунта для технологических нужд полигона в десять раз;
- снизить содержание влаги в тюках на 60–70%, что позволяет значительно уменьшить количество образующихся фильтрационных стоков и направлять выделенный фильтрат на городские очистные сооружения;
- свести к минимуму количество образующегося биогаза и газов с неприятным запахом;
- понизить степень возгораемости мусора;
- практически исключить возможность размножения грызунов и птиц, являющихся переносчиками инфекций;
- придать полигонам эстетический вид промышленных предприятий, что имеет определенную социальную значимость для обслуживающего персонала, проживающего в близлежащих населенных пунктах.

Годовые эксплуатационные затраты на санитарную очистку г. Москва при двухэтапном вывозе ТБО составляют 84 347 млн руб., при прямом вывозе — 297 133 млн руб. (в ценах 1996 г.). При двухэтапном вывозе годовые эксплуатационные расходы снижаются в 3,5 раза, величина экономического ущерба от выбросов — в 7 раз, расход топлива — в 2,8 раза, расход топлива в черте города — в 1,5 раза, количество транспорта — в 4,4 раза.

6.5. СЖИГАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ И БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛА

Метод сжигания (или в целом термические методы обезвреживания ТБО) имеет как несомненные достоинства (можно использовать теплоту сгорания ТБО для получения электроэнергии и отопления зданий, надежное обезвреживание отходов), так и существенные недостатки. Для этого метода необходима хорошая система очистки отходящих газов, так как при сжигании ТБО в атмосферу выделяются хлор- и фтороводород, оксиды азота и серы, а также металлы и их соединения (цинк, кадмий, свинец, ртуть и т. д.), в основном в виде аэрозолей. Особенно важно, что в процессе горения отходов образуются диоксины, дифенилы и дифураны, присутствие которых в отходящих газах

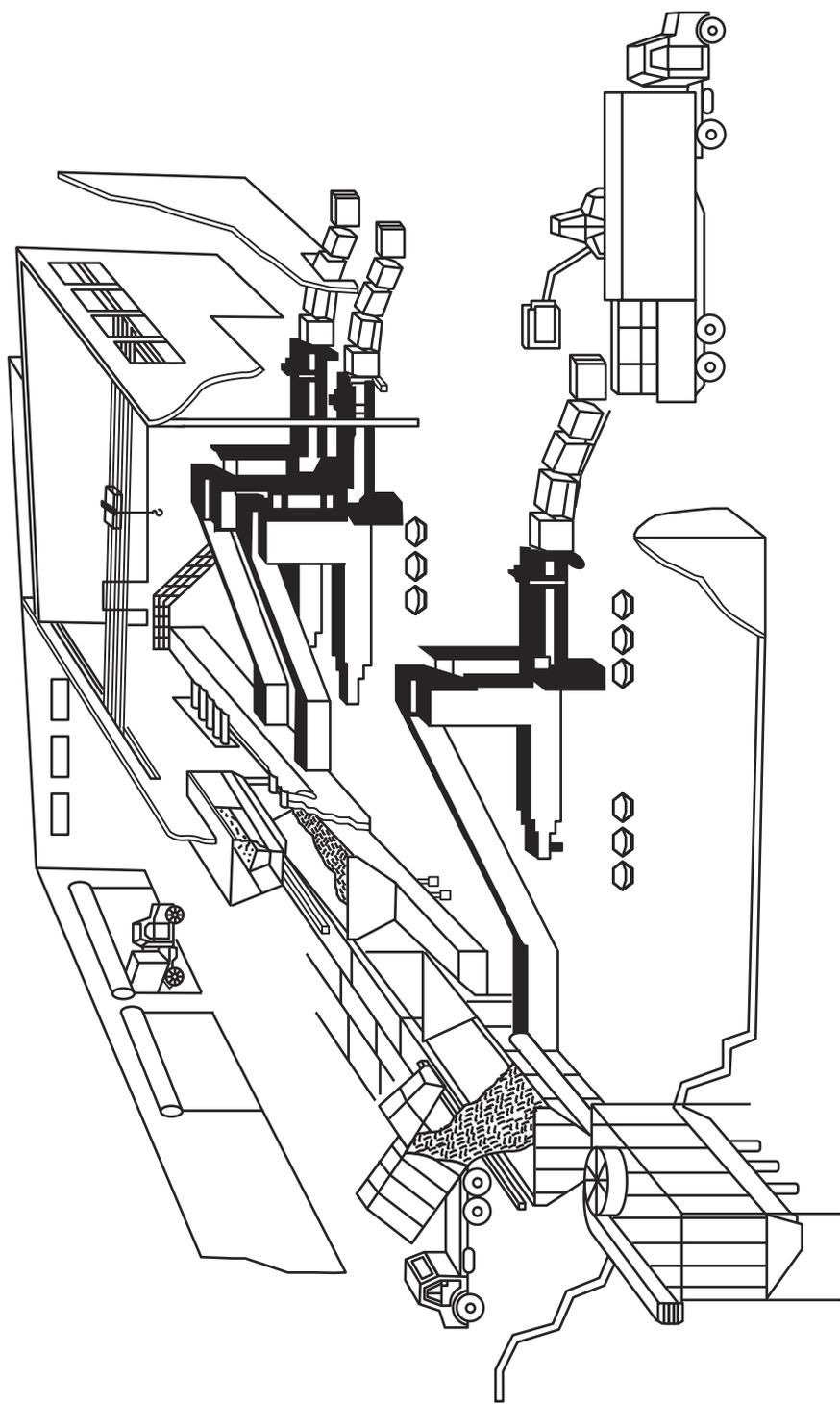


Рис. 6.6. Аппаратурно-технологическая схема мусороперегрузочной станции с прессованием в брикеты

значительно осложняет их очистку из-за малой концентрации этих высокотоксичных соединений. Имеются также проблемы с утилизацией золошлаковых отходов в связи с их высокой токсичностью. В 2010 году в нашей стране функционировало 11 МСЗ (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Мусоросжигание и переработка в РФ в 2010 году

Мусоросжигательные заводы		Мусороперерабатывающие заводы	
Регионы РФ	Количество	Регионы РФ	Количество
г. Москва	3	Московская область	4
г. Санкт-Петербург	2	г. Санкт-Петербург	1
Вологодская область	1	Иркутская область	4
Мурманская область	1	Ленинградская область	1
Ставропольский край	1	Ставропольский край	2
Камчатский край	1	Белгородская область	1
Приморский край	1	Самарская область	1
Московская область Ветеринарно-санитарный завод «Эколог»	1		
Итого	11		14

В настоящее время в мире эксплуатируется около 4 тысяч мусоросжигательных заводов (МСЗ) с удовлетворительной газоочисткой, где используется гидроксид кальция и активированный уголь (рис. 6.7). Наибольшее количество МСЗ находится в Японии — 1900 (2010 г.), в Европе — 421 (2008 г.). На этих заводах перерабатывается значительная доля ТБО (табл. 6.4).

Таблица 6.4

Доля различных методов утилизации ТБО в развитых странах, в %

Страна	Термическая переработка	Захоронение	Переработка, компостирование и пр.
Австрия	23	18	53
Бельгия	34	9	57
Германия	25	15	60
Люксембург	36	18	46
Нидерланды	33	2	65
США	30	55	15
Япония	75	15	10

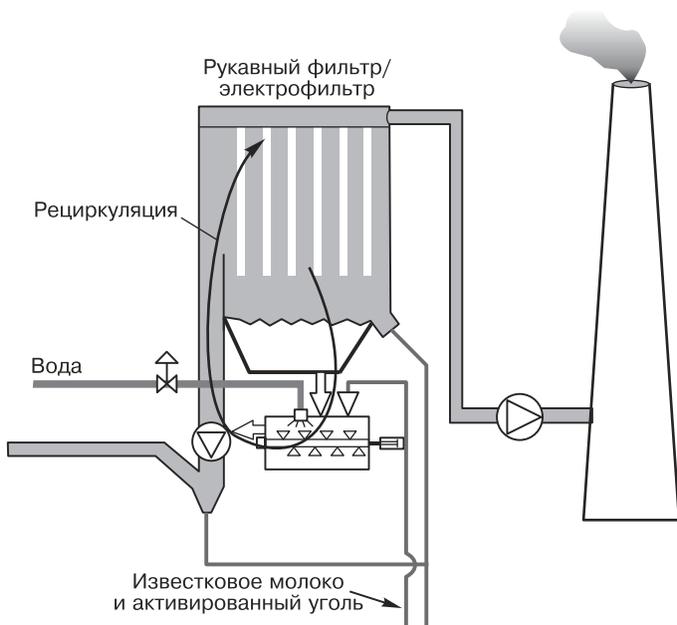


Рис. 6.7. Аппаратурно-технологическая схема очистки отходящих газов на МСЗ

Первый МСЗ в нашей стране был запущен в 1975 г. в Москве. Температура сжигания составляла 900–1000 °С, очистка отходящих газов проводилась только на электрофильтрах (следовательно, только от пыли и аэрозолей). В настоящее время в Москве работают три современных МСЗ с получением тепловой и электрической энергии и полной очисткой отходящих газов: МСЗ № 2, производительностью 130 тыс. тонн в год (рис. 6.8), МСЗ № 3, производительностью 360 тыс. тонн в год (рис. 6.9) и МСЗ № 4, производительностью 250 тыс. тонн (рис. 6.10). На МСЗ № 4 сжигание отходов (за исключением предварительно отделенной крупногабаритной фракции) производится в печах с вихревым кипящим слоем инертного материала (кварцевого песка). Сжигание бытовых отходов с циркулирующим кипящим слоем позволяет:

- исключить механические устройства в зоне горения отходов;
- обезвреживать отходы в широком диапазоне изменения их влажности и зольности;
- достигать высокие удельные тепловые нагрузки при равномерном распределении температур в кипящем слое;
- обеспечить пониженное содержание оксидов азота в дымовых газах.

На МСЗ № 2 и № 3 сжигание ТВО проводится в печах с колосниковыми решетками без предварительной подготовки, в отличие от зарубежных, где предварительная подготовка обязательна. В настоящее время

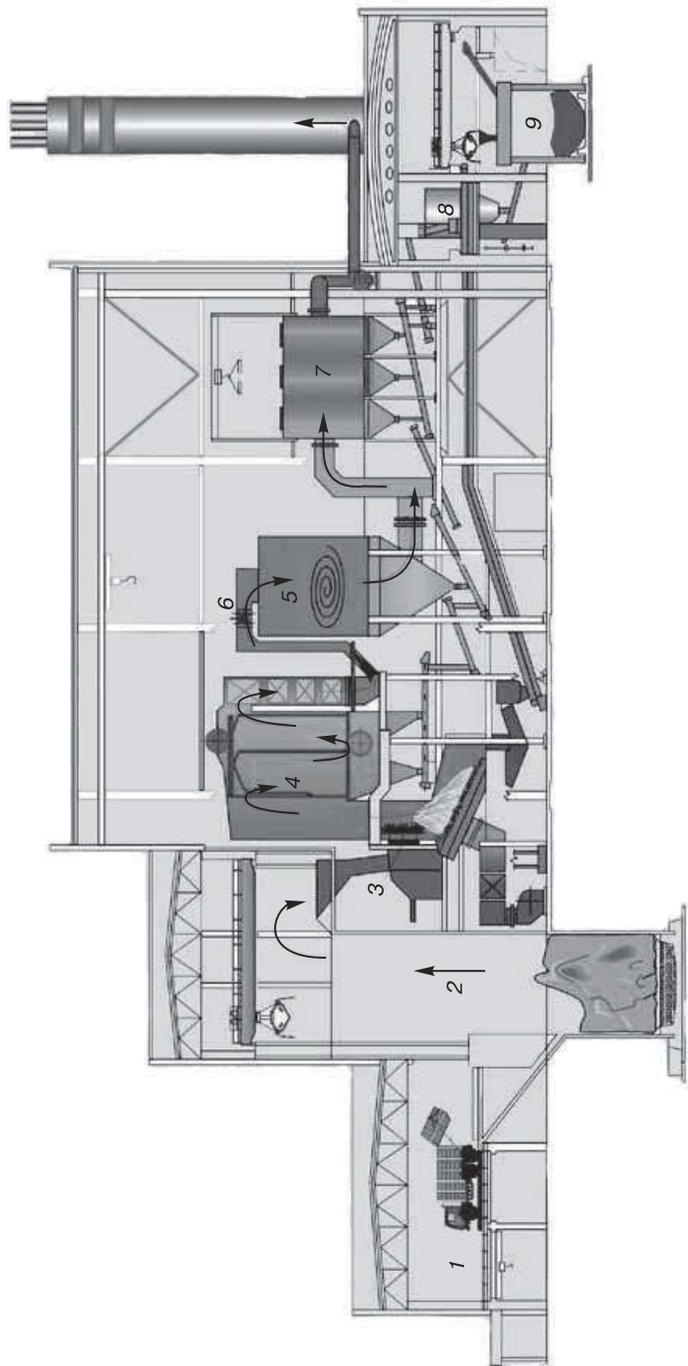


Рис. 6.8. Аппаратурно-технологическая схема МСЗ № 2: 1 — приемное отделение; 2 — приемный бункер ТБО; 3 — загрузка ТБО в печь; 4 — отделение газоочистки; 5–7 — отделение газоагрегата; 8, 9 — шлаковое отделение

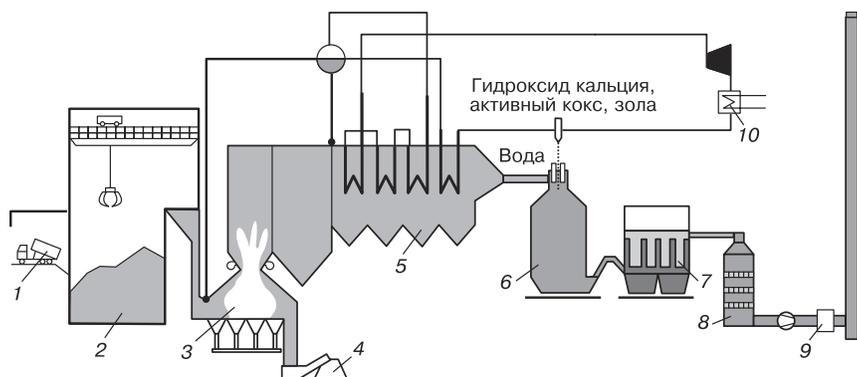


Рис. 6.9. Аппаратурно-технологическая схема МСЗ № 3: 1 — доставка ТБО; 2 — бункер ТБО; 3 — топка; 4 — шлаки; 5 — котел-утилизатор тепла; 6 — форсуночный абсорбер; 7 — рукавный фильтр; 8 — установки для очистки от NO_x (аммиачный метод); 9 — выброс отходящих газов; 10 — получение электроэнергии и горячей воды

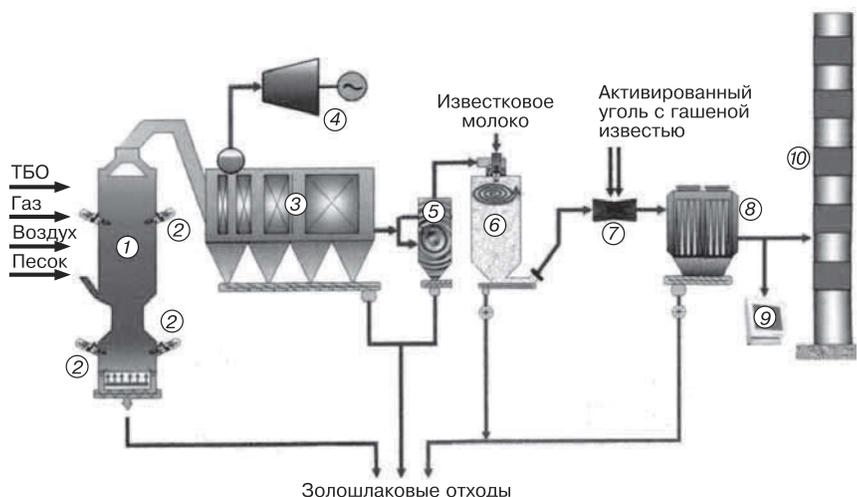


Рис. 6.10. Аппаратурно-технологическая схема МСЗ № 4: 1 — печь для сжигания отходов; 2 — газовые горелки; 3 — котел-утилизатор; 4 — турбогенератор; 5 — циклон; 6 — распылительный абсорбер; 7 — реактор с активированным углем; 8 — рукавный фильтр; 9 — контроль состава дымовых газов; 10 — дымовая труба

(2012 г.) спроектирован МСЗ № 1, аналог МСЗ № 3, производительностью 700 тыс. тонн ТБО в год, также без предварительной сортировки.

Разновидностью процесса сжигания является **пиролиз** — термическое разложение ТБО без доступа воздуха. Применение пиролиза позволяет уменьшить воздействие ТБО на окружающую среду и получать такие полезные продукты, как горючий газ, масло, смолы и твердый

остаток (пирокарбон). Этот процесс в комбинации с компостированием будет рассмотрен ниже.

Разработан процесс высокотемпературной переработки бытовых и промышленных отходов в барботируемом шлаковом расплаве. Основным агрегатом технологической схемы является барботажная печь (рис. 6.11). Печь проста по конструкции, имеет небольшие габариты и высокую производительность (печь Ванюкова).

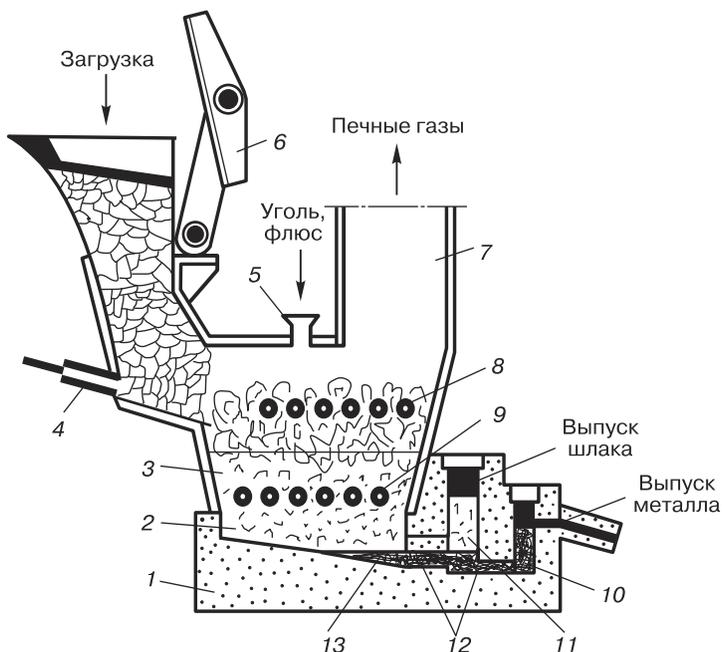


Рис. 6.11. Печь для термической переработки бытовых и промышленных отходов в барботируемом шлаковом расплаве: 1 — огнеупорная подина; 2 — слой спокойного шлака; 3 — слой шлака, через который барботирует воздух; 4 — толкатель загрузочного устройства; 5 — загрузочная воронка; 6 — крышка; 7 — патрубок для отвода газа; 8 — фурмы для подачи топлива; 9 — фурмы для подачи воздуха; 10 — сифон для выпуска металла; 11 — сифон для выпуска шлака; 12 — перегородка; 13 — слой металла

Процесс осуществляется следующим образом. Бытовые отходы подают в загрузочное устройство периодически. Толкатель 4 сбрасывает их в шлаковую ванну, продуваемую воздухом 9, обогащенным кислородом. В ванне отходы быстро погружаются в интенсивно перемешиваемый вспененный расплав. Температура шлака составляет 1400–1500 °С. За счет интенсивной теплопередачи отходы подвергаются скоростному пиролизу и газифицируются. Минеральная их часть растворяется в шлаке, а металлические предметы расплавляются, и жидкий металл опускается на подину 1 с последующим выпуском через сифон 10. При низкой

калорийности отходов для стабилизации теплового режима в качестве дополнительного топлива в печь через загрузочную воронку 5 подают в небольших количествах уголь. Вместо угля может быть использован природный газ, подаваемый через фурмы 8. Для получения шлака заданного состава загружают флюс.

Шлак выпускается из печи через сифон 11 непрерывно или периодически и подается в жидком виде на переработку. Химический состав шлака можно регулировать в широких пределах, получая композиции, подходящие для производства различных строительных материалов: каменного литья, щебня, наполнителей для бетонов, минерального волокна, цемента.

Металл через переток 12 поступает в сифон 10 и непрерывно или порциями сливается в ковш. Далее он передается на переработку, или непосредственно у печи разливается в чушки, либо гранулируется.

Горючие газы — продукты пиролиза и газификации отходов и угля, выделяющиеся из ванны, — дожигают над ванной путем подачи воздуха, обогащенного кислородом, или чистого кислорода.

Печные высокотемпературные (1400–1600 °С) газы отсасываются дымососом через патрубок 7 в паровой котел для охлаждения и полезного использования их энергии. В котле осуществляется полное дожигание газов. Затем охлажденные газы направляются в систему очистки. Перед выбросом в атмосферу производится их очистка от пыли и вредных примесей.

Высокие температуры процесса, рациональная схема сжигания, заключающаяся в сочетании окислительно-восстановительного потенциала газовой фазы и температурного режима, обуславливают низкое содержание оксидов азота (NO_x) и других вредных примесей в дымовых газах.

Дымовые газы в результате высокотемпературного сжигания содержат значительно меньше органических соединений, в частности диоксинов.

Перевод щелочных и щелочноземельных металлов в парогазовую фазу в условиях процесса способствует связыванию хлора, фтора и диоксида серы в безопасные соединения, улавливаемые при газоочистке в виде твердых частиц пыли.

Замена воздуха кислородом позволяет в два-четыре раза снизить объем дымовых газов, облегчить их очистку и уменьшить сброс токсичных веществ в атмосферу.

Вместо большого количества зольного остатка (до 25% при обычном сжигании), содержащего тяжелые цветные металлы и диоксины, образуется инертный шлак, являющийся сырьем для производства строительных материалов.

Пыль, выносимая из печи с дымовыми газами, селективно улавливается на разных ступенях очистки. Количество пыли в 2–4 раза меньше, чем при использовании традиционных печей. Крупная пыль возвра-

щается в печь, мелкая, представляющая собой концентрат тяжелых цветных металлов (цинка, свинца, кадмия, олова и др.), пригодна для дальнейшего использования.

Несмотря на кажущуюся перспективу, широкого применения этот процесс переработки ТБО не нашел. Эксплуатация подобных высокотемпературных установок требует высококвалифицированного обслуживания (и культуры производства).

6.6. КОМПСТИРОВАНИЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Основными целями компстирования являются обеззараживание ТБО (в результате саморазогрева до 60–70 °С происходит уничтожение возбудителей болезней) и переработка в удобрение (компост) за счет биохимического разложения органической части ТБО микроорганизмами. Применение компоста в качестве удобрения в сельском хозяйстве позволяет повысить урожайность выращиваемых культур, улучшить структуру почвы и увеличить содержание гумуса в ней. Весьма существенным является и то, что при компстировании в атмосферу выделяется меньшее количество «парниковых» газов (прежде всего диоксида углерода), чем при сжигании или вывозе на свалки. Основным недостатком компоста — высокое содержание в нем тяжелых металлов и других токсичных веществ.

Оптимальные условия компстирования таковы: рН от 6 до 8, влажность 40–60%, а вот ранее применявшаяся продолжительность компстирования 25–50 ч оказалась недостаточной. В настоящее время компстирование осуществляется в специальных закрытых бассейнах или тоннелях в течение месяца.

Переработка ТБО в компост в небольших масштабах (1–3% от общей массы отходов) осуществляется в ряде стран (Нидерланды, Швеция, Германия, Франция, Италия, Испания и др.). Часто компстируется выделенная из ТБО органическая часть, менее загрязненная цветными металлами, чем все отходы. Наиболее широко компстирование ТБО распространено во Франции, где уже в 1980 г. действовало 50 установок для компстирования, а также 40 комбинированных установок по сжиганию и компстированию. В США компстирование практически не получило распространения. В Японии этим методом перерабатывается около 1,5% ТБО. В СССР был построен ряд заводов по компстированию ТБО в биобарабанах (в Москве, Ленинграде, Минске, Ташкенте, Алма-Ате). Большинство из них уже не функционирует.

Хорошо работал комбинированный (компстирование и пиролиз) завод по переработке ТБО в Ленинградской области. Комплекс завода состоял из приемного, биотермического и дробильно-сортировочного отделений, склада готовой продукции и установки для пиролиза некомпстируемой части отходов.

Технологической схемой предусматривалась разгрузка мусоровозов в приемные бункеры, из которых пластинчатыми питателями или грейферными кранами отходы подавались на ленточные конвейеры, а затем — во вращающиеся биотермические барабаны.

В биобарабанах при постоянной подаче воздуха происходила стимуляция жизнедеятельности микроорганизмов, результатом которой являлся активный биотермический процесс. В ходе этого процесса температура отходов повышалась до 60 °С, что способствовало гибели болезнетворных бактерий.

Компост представлял собой рыхлый продукт без запаха. В расчете на сухое вещество компост содержал 0,5–1% азота, 0,3% калия и фосфора и 75% органического гумусного вещества.

Просеянный компост проходил магнитную сепарацию и направлялся в дробилки для измельчения минеральных составляющих, а затем транспортировался на склад готовой продукции. Выделенный металл прессовался. Отсеянная некомпостируемая часть ТБО (кожа, резина, дерево, пластмасса, текстиль и т. д.) направлялась на установку пиролиза.

Технологической схемой этой установки предусматривалась подача некомпостируемых отходов в бункер-накопитель, из которого они направлялись в загрузочную воронку сушильного барабана. После сушки отходы поступали в печь пиролиза, в которой без доступа воздуха происходило их термическое разложение. В результате получали парогазовую смесь и твердый углеродистый остаток — пирокарбон. Парогазовую смесь направляли в тепломеханическую часть установки на охлаждение и разделение, а пирокарбон — на охлаждение и дальнейшую переработку. Окончательными продуктами пиролиза являлись пирокарбон, смола и газ. Пирокарбон использовался в металлургической и некоторых других отраслях промышленности, газ и смола — в качестве топлива.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы основные пути решения проблемы ТБО?
2. Какова тенденция в изменении состава ТБО?
3. Можно ли избежать образования ТБО?
4. Как можно удешевить вывоз ТБО на полигоны?
5. Каковы сложности сортировки ТБО населением?
6. Назовите достоинства и недостатки компостирования ТБО.
7. Каковы достоинства и недостатки сортировки ТБО?
8. Перечислите достоинства и недостатки сжигания ТБО.
9. В чем сложность утилизации золошлаковых отходов МСЗ?
10. Какова тенденция управления ТБО?

ПЕРЕРАБОТКА, ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ И ЗАХОРОНЕНИЕ ОПАСНЫХ ОТХОДОВ

Все есть яд и ничто не лишено ядовитости, одна лишь доза делает яд незаметным.

Парацельс

Переработка, обезвреживание и захоронение *опасных*, или *токсичных*, отходов (в Германии их называют специальными, в США — опасными, в Финляндии — сложными) представляют особую экологическую необходимость и являются технически и организационно достаточно сложной задачей, не говоря уже о больших капитальных и эксплуатационных затратах. В развитых странах количество токсичных отходов оценивается примерно в 70 кг на одного человека в год, а средняя стоимость обезвреживания одной тонны составляет примерно 500 долл. США.

К сожалению, наши знания о токсичности веществ, как это можно видеть из данных табл. 7.1, весьма ограничены. Даже для лекарств, пищевых добавок и косметических средств эти сведения недостаточны. И хотя данные таблицы относятся к 1984 г., маловероятно, что они существенно изменились в лучшую сторону, ввиду высокой стоимости определения степени токсичности веществ и выпускаемых продуктов.

В соответствии со статьей 14 Федерального Закона от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» разработаны Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды, по которому опасные отходы делятся на пять классов опасности: I класс — *чрезвычайно опасные*, II — *высокоопасные*, III — *умеренно опасные*, IV — *малоопасные* и V — *практически неопасные*.

В соответствии с Критериями отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды, утвержденными приказом Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 15.06.2001 г. № 511, I–IV классы опасности определяются расчетным методом на основании показателя (К), характеризующего степень опасности отхода при его воздействии на окружающую природную среду. Если в результате расчета отход должен быть отнесен к V классу опасности, то необходимо его подтверждение экспериментальным методом, иначе отход будет отнесен к IV классу.

На территории РФ в хранилищах, накопителях, могильниках, на складах, полигонах, свалках и других объектах наблюдения накопилось свыше 1400 млн тонн токсичных отходов производства и потребления (по данным статистической отчетности по форме № 2-ТП (отходы)).

Отходы, не подлежащие использованию и переработке, направляются на захоронение. К сожалению, более 15% учтенных мест организованного захоронения опасных отходов не отвечают действующим нормативам.

Таблица 7.1

Данные о токсичности различных продуктов

Наименование	Общее число выпускаемых продуктов	Сведения о токсичности, %				
		полные	частичные	минимальные	некоторые	отсутствие
Пестициды и их компоненты	3350	10	24	2	26	38
Косметические средства и их компоненты	3410	2	14	10	18	56
Лекарственные препараты и их компоненты	1815	18	18	3	36	25
Пищевые добавки	8627	5	14	1	34	46
Многотоннажные химические продукты	12 860	11	11	—	—	78
Малотоннажные химические продукты	13 911	12	12	—	—	76
Химические вещества с неопределенным объемом производства	21 752	10	8	—	—	82

Еще в Постановлении Совета Министров СССР № 394 от 3 мая 1984 г. «Об утилизации, обезвреживании и захоронении токсичных промышленных отходов» было определено, что «ответственность за проведение мероприятий по утилизации, обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов несут министерства и ведомства СССР, предприятия и организации, в которых образуются такие отходы». Во исполнение этого Постановления была разработана достаточно четкая система обращения с токсичными отходами. В настоящее время управление отходами регламентируется Федеральным законом от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» и соответствующими подзаконными актами.

Обезвреживание и захоронение токсичных отходов проводятся на специальных полигонах. Строительство и эксплуатация полигонов осуществляются в соответствии с «Санитарными правилами проектирования, строительства и эксплуатации полигонов захоронения не утилизируемых отходов» и строительными нормами и правилами СНиП 2.01.28–85 «Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию». К этому СНиПу имеется подробное «Пособие по проектированию полигонов по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов»¹⁾ под тем же номером.

Выбор места для полигона, проектирование, строительство и функционирование строго регламентированы. Полигон размещается в обособленных, свободных от застройки, хорошо проветриваемых местах, которые допускают осуществление мероприятий и инженерных решений, исключающих загрязнение окружающей среды, населенных пунктов, зон отдыха трудящихся и источников питьевого водоснабжения.

Особое внимание уделяется проектированию дождевой, хозяйственно-бытовой канализации и дренажа. Вертикальная планировка полигона должна обеспечивать, как правило, один стоковый бассейн дождевых вод, а плановая компоновка — быть простой и по возможности прямолинейной. Общая система канализации полигона должна быть бессточной; незагрязненная часть сточных вод должна использоваться для производственного водоснабжения, загрязненные сточные воды — сжигаться или испаряться. На заднем форзаце книги представлен полигон для токсичных отходов Есокет (Финляндия). Схема участка этого полигона для захоронения токсичных отходов представлена на рис. 7.1.

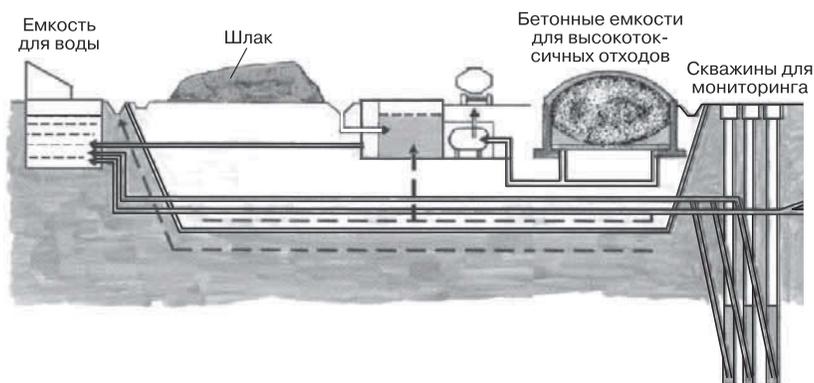


Рис. 7.1. Схема участка для захоронения токсичных отходов полигона Есокет (Финляндия)

¹⁾ Несмотря на 1985 г., это наиболее точный и добротнo подготовленный документ.

Полигоны являются природоохранными сооружениями и предназначены для централизованного сбора, обезвреживания и захоронения токсичных отходов промышленных предприятий, научно-исследовательских организаций, учреждений и других источников их образования.

Приему на полигон подлежат только токсичные отходы I, II, III и, при необходимости, IV классов опасности, перечни которых в каждом конкретном случае согласовываются с органами и учреждениями санитарно-эпидемиологического контроля.

Твердые промышленные отходы IV и V классов опасности, по согласованию с органами и учреждениями санитарно-эпидемиологического контроля, могут вывозиться на полигоны складирования городских бытовых отходов и применяться в качестве изолирующего инертного материала в средних и верхних частях карт полигона. Прием твердых промышленных отходов IV класса опасности на участок захоронения токсичных промышленных отходов допускается при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Жидкие токсичные промышленные отходы перед вывозом на полигон должны быть обезвожены на предприятиях. Допускается прием на полигон жидких токсичных отходов только от промышленных предприятий, на которых согласно технико-экономическому обоснованию их обезвреживание неэкономично.

Не подлежат приему на полигон отходы следующих видов:

- отходы, для которых разработаны эффективные методы извлечения металлов или других веществ (отсутствие методов утилизации и переработки отходов в каждом конкретном случае должно быть подтверждено);

- радиоактивные отходы;

- нефтепродукты, подлежащие регенерации.

Технологическая схема работы полигона должна предусматривать следующие основные мероприятия, позволяющие регулярно и организованно, с соблюдением мер безопасности удалять не утилизируемые токсичные отходы, обезвреживать их и надежно захоранивать, обеспечивая защиту окружающей среды:

- организацию сбора не утилизируемых токсичных отходов на предприятиях-поставщиках;

- организацию транспортировки токсичных отходов на полигон;

- организацию приема токсичных отходов на полигоне, их обезвреживание и захоронение.

При организации сбора токсичных отходов на предприятиях руководствуются следующими документами: «Предельное количество накопления токсичных промышленных отходов на территории предприятия (организации)» и «Порядок накопления, транспортировки, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов».

Временное хранение отходов осуществляется, как правило, на стационарных складах. При этом должны быть обеспечены требования Сан-

ПиН 2.1.7.1322-03 «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления».

Допускается временное хранение отходов на специальной площадке под навесом при соблюдении следующих условий:

- содержание вредных веществ в воздухе над промышленной площадкой на высоте до 2 м от поверхности земли не должно превышать 30% ПДК для рабочей зоны;

- содержание вредных веществ в подземных и поверхностных водах и в почве на территории предприятия не должно превышать ПДК этих веществ и должно соответствовать государственным стандартам системы «Охрана природы» для окружающей среды и правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами;

- площадка для временного хранения отходов должна располагаться в подветренной зоне территории и быть покрыта неразрушаемым и непроницаемым для токсичных веществ материалом.

Хранение токсичных отходов в открытом виде (навалом, насыпью) или в негерметичной открытой таре как на складе, так и на специальной площадке не допускается. Твердые и пастообразные негорючие токсичные отходы I класса опасности и растворимые отходы II класса опасности отдельными партиями в небольших количествах собираются в специальные металлические контейнеры со стенками толщиной 10 мм, проверенные на герметичность. Пастообразные, быстро застывающие органические отходы, а также небольшие количества жидких горючих отходов можно хранить в барабанах, бочках и другой металлической таре при условии вместимости тары не более 200 л.

Транспортировка токсичных отходов на полигон, как правило, осуществляется специализированным автотранспортом полигона. Допускается транспортировка жидких горючих органических отходов III и IV классов опасности автотранспортом предприятий-поставщиков при условии согласования с органами и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы и полигоном. Транспортировка токсичных отходов осуществляется в соответствии с «Инструкцией по обеспечению безопасности перевозки опасных грузов автомобильным транспортом».

Твердые отходы обычно принимаются на хранение в железобетонные бункеры, установленные в помещении. Для каждого вида пастообразных и жидких отходов предусматриваются специальные обогреваемые емкости, установленные на открытой площадке. Высокоагрессивные пастообразные отходы транспортируются в барабанах (60–100 л) из сгораемых синтетических материалов или, если отходы некоррозионно-активные, в стальных барабанах емкостью до 200 л. Отходы в таре, как правило, хранятся на открытой площадке под навесом.

Многообразие поступающих на полигон токсичных отходов требует точного знания их состава и свойств для определения условий хранения и метода обезвреживания. Все эти показатели должны быть приведены в паспорте и опросном листе на отходы. Лаборатория полигона вы-

полняет выборочный контроль на соответствие состава поступающих отходов данным, приведенным в паспорте и опросном листе.

На основании изучения состава отходов и их физико-химических свойств разрабатываются технологические схемы их обезвреживания. Получаемые после обезвреживания остатки не должны содержать водорастворимых веществ, так как в противном случае при захоронении отходов будет происходить загрязнение грунтовых вод.

Наиболее распространенными методами обезвреживания токсичных отходов в настоящее время являются:

- для отходов органического происхождения — сжигание при высоких температурах;
- для неорганических отходов — физико-химическая обработка, которая приводит к образованию безвредных, в большинстве случаев нейтральных и не растворимых в воде соединений.

7.1. ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ

Поскольку около 2/3 токсичных веществ являются органическими соединениями, высокотемпературное сжигание служит основной операцией для любого полигона по обезвреживанию токсичных отходов. Агрегат для термического обезвреживания токсичных промышленных отходов представлен на рис. 7.2.

Установка для сжигания твердых, пастообразных и жидких не утилизируемых токсичных отходов состоит из:

- системы подачи и дозировки отходов;
- печи с вращающимся барабаном;
- камеры дожигания;
- системы золо- и шлакоудаления;
- котла-утилизатора;
- системы очистки дымовых газов.

Условия сжигания и дожигания органических отходов строго регламентированы:

- температура 1000–1100 °С для отходов, не содержащих галогенпроизводных углеводородов и полициклических соединений; степень разложения и удаления углеводородов должна быть не менее 99,99%;
- температура 1200–1300 °С для отходов, содержащих галогенпроизводные углеводороды и полициклические соединения; степень разложения и удаления органических соединений — не ниже 99,9999%;
- время нахождения газов, образующихся при разложении, в печи и камере дожигания — не менее 2 с;
- коэффициент избытка воздуха в печи 2,2–2,5;
- концентрация O₂ в отходящих газах — не менее 3%;
- концентрация СО не более 57 мг/нм³;
- концентрация взвешенных частиц и аэрозолей не более 20 мг/нм³;

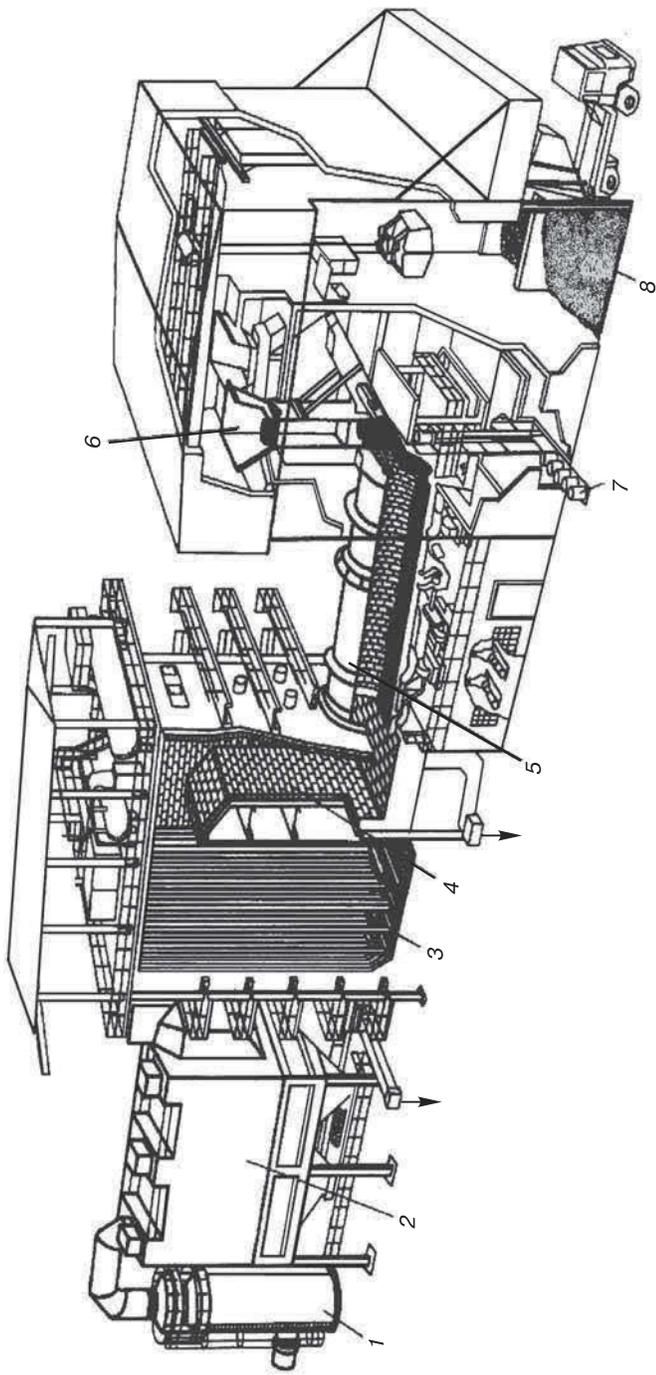


Рис. 7.2. Агрегат для термического обезвреживания токсичных промышленных отходов (фирма «MAN», Германия): 1 — скруббер; 2 — электрофильтр; 3 — котел-утилизатор; 4 — камера дожигания; 5 — печь с вращающимся барабаном; 6 — бункер для загрузки сыпучих отходов; 7 — приемное отделение для бочек; 8 — приемное отделение для твердых отходов

- концентрация диоксинов и фуранов не более 0,5 нг/нм³;
- концентрация HCl менее 75 мг/нм³, степень его удаления более 90%, где нм³ — нормальный метр кубический, т. е. единица объема газа, приведенного к нормальным условиям.

Для получения сопоставимых величин все концентрации токсичных веществ должны быть приведены к содержанию O₂ в отходящих газах, равному 11%, по уравнению:

$$C_x = C_{x_1} \frac{20,9 - 11,0}{20,9 - C_{O_2}},$$

где C_x — концентрация загрязнителя при концентрации кислорода в отходящих газах 11%, мг/м³; C_{x_1} — концентрация искомого токсичного вещества по результатам анализа, мг/м³; C_{O_2} — концентрация кислорода в отходящих газах по данным анализа, %. В зависимости от условий сжигания концентрация может изменяться в достаточно широких пределах.

Как уже отмечалось ранее, обезвреживание 1 т токсичных отходов в среднем обходится в 500 долл. США, для некоторых же веществ дороже в 3–5 раз и более, поэтому во всех странах уделяется пристальное внимание поиску эффективных и дешевых методов обезвреживания. Наиболее широкое признание в настоящее время получили процессы обезвреживания токсичных отходов при производстве цемента и строительной керамики. Неотъемлемой частью технологии таких процессов является высокотемпературная обработка.

7.2. ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ТОКСИЧНЫХ ОТХОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА

Обезвреживание токсичных отходов при производстве цемента в развитых странах за последние десятилетия стало повседневной практикой [22]. В этих странах приняты новые стандарты по контролю за отходящими газами цементных печей. При этом в США нормы на выбросы из цементных печей, сжигающих токсичные отходы, даже жестче, чем на выбросы из обычных печей на полигонах по обезвреживанию опасных отходов.

Следует кратко остановиться на физико-химических процессах, протекающих при производстве цемента. Основными цементобразующими оксидами являются CaO, SiO₂, Al₂O₃ и Fe₂O₃. Сырьем для производства цемента служат различные минералы, содержащие эти оксиды (например, мергель) или искусственно приготовленные смеси из известняка и глины. При их обжиге до температуры 550 °С происходят сушка и дегидратация минералов, с 550 до 900 °С — разложение известняка с образованием CaO и CO₂, а при температуре 900–1450 °С оксиды реагируют с образованием силикатов кальция, алюмосиликата и ферроалюмината кальция. Так, минералогический состав портландцемента

(без добавок) содержит: 40–60% $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 15–35% $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, 4–14% $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и 10–18% $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

Обезвреживание токсичных отходов при производстве цемента имеет следующие преимущества по сравнению с их сжиганием в специальных установках, описанных ранее:

- высокая температура в пламени — 2000 °С;
- время пребывания газов при температуре выше 1200 °С от 5 до 6 с, при требуемых 2 с;
- избыток кислорода при сжигании и после него;
- высокая турбулентность;
- нейтрализация кислых газов (например, диоксида серы и хлороводорода) оксидом кальция, присутствующим в большом избытке по сравнению со стехиометрически необходимым количеством;
- связывание тяжелых металлов, находящихся в отходах, с включением в структуру клинкера (обоженная смесь оксидов); тяжелые металлы обычно содержатся в сырьевых материалах и связываются в труднорастворимые соединения при спекании;
- после очистки не образуются такие побочные продукты, как шлак, зола и шламы (мокрая газоочистка не требуется, а пыль после фильтров представляет собой готовый продукт или сырьевую массу);
- экономится энергетическое сырье и уменьшается объем выделяющихся «парниковых» газов;
- малые капитальные затраты.

Производство цемента требует большого количества энергии: на 1 т клинкера расходуется 80 кг топлива. При сжигании токсичных органических отходов в цементных печах полезно используется 100% их энергетического потенциала, при термическом обезвреживании на полигоне — только та его часть, которая утилизируется в виде горячей воды и/или электроэнергии. Количество «парниковых» газов уменьшается пропорционально сэкономленному горючему.

При производстве цемента используется большое количество различных промышленных отходов, в том числе шламов очистных сооружений (органическая часть — в качестве горючего, минеральная — в качестве компонентов сырья, поскольку часто содержит значительное количество оксида кальция). В цементных печах нельзя использовать инфицированные медицинские отходы (из-за сложности их подачи в печь) и категорически запрещается использовать радиоактивные отходы ввиду их особой опасности и статуса (обращение с ними регламентируется специальным законом).

7.3. ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ТОКСИЧНЫХ ОТХОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ

Большое количество различных токсичных отходов (шламы гальванических производств, отработанные смазочно-охлаждающие жидкости

(СОЖ), обезжиривающие растворы, древесные опилки, формовочная земля, нерегенерируемые масла, отходы бумажной промышленности, лигнин, смесь мазута и шлама) использовалось на Палемонасском керамическом заводе (г. Каунас, Литовская республика). Внедрению этих процессов предшествовала длительная и кропотливая работа [26].

В Литве очистка сточных вод гальванических производств проводилась с помощью электрогенерированного коагулянта (смесь гидроксидов железа), и поэтому гальванический шлам в основном состоял из гидроксидов железа и небольшого количества гидроксидов цветных металлов (около 5% в пересчете на сухое вещество).

Добавки гидроксидов железа в сырьевую массу благоприятно влияют на внешний вид керамических изделий (черепицы, кирпича), повышая интенсивность красного цвета. Кроме того, они на 15–20% повышают их прочность и на 20–25% уменьшают продолжительность сушки полуфабрикатов. На качество керамических материалов влияет также степень гомогенизации сырьевой смеси: надежное обезвреживание тяжелых металлов достигается в однородных керамических смесях. О степени гомогенизации гальванических шламов судят по коэффициенту вариации концентрации хрома в них как одного из наиболее токсичных компонентов гальванического шлама.

Надежность обезвреживания и захоронения тяжелых металлов в керамических изделиях определяют методом вытяжек. Испытываемый керамический образец заливают дистиллированной водой, подкисленной уксусной кислотой до pH 5, в соотношении 1:10 и выдерживают в течение 24 ч при постоянном перемешивании, после чего определяют количество тяжелых металлов в вытяжке.

Испытания с образцами из глиняной сырьевой смеси с добавлением 5% гальванического шлама (в расчете на сухое вещество), обожженными при температуре 970 °С, показали, что необходимая степень гомогенизации глиняной сырьевой смеси достигается при мокрой подготовке сырья (рис. 7.3).

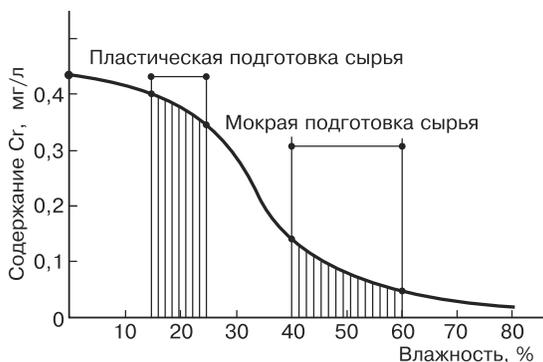


Рис. 7.3. Зависимость содержания хрома в водной вытяжке от влажности сырьевой смеси

Мокрая подготовка сырьевых материалов обусловлена влажностью гальванического шлама. Шлам, влажность которого ниже 40–50%, перед введением в сырьевую массу должен подвергаться дополнительно измельчению. Если соотношение железа и других тяжелых металлов в гальваническом шламе находится в пределах (3–5):1, требования к режиму термической обработки минимальны, при отклонении же состава от оптимального требования ужесточаются и необходима дополнительная корректировка состава глиняной смеси. О надежности обезвреживания тяжелых металлов в зависимости от количества введенного в сырьевую массу гальванического шлама можно судить по данным табл. 7.2, а в зависимости от температуры обжига — по данным, представленным на рис. 7.4.

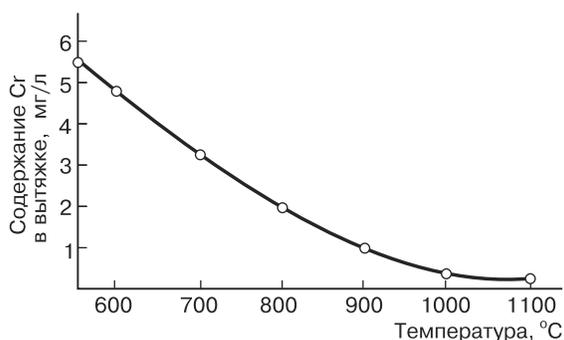


Рис. 7.4. Влияние температуры обжига на надежность обезвреживания гальванического шлама

Таблица 7.2

Влияние количества гальванического шлама в сырьевой смеси на содержание тяжелых металлов в водной вытяжке¹⁾

Содержание шлама, %	Содержание металла в керамическом образце, г/кг					Содержание металла в водной вытяжке, мг/л				
	Cr	Ni	Cu	Cd	Zn	Cr	Ni	Cu	Cd	Zn
1	0,62	0,45	0,01	0,01	0,01	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0
2	1,22	0,89	0,02	0,02	0,02	0,1	0,0	0,0	0,02	0,1
3	1,79	1,33	0,04	0,04	0,04	0,1	0,0	0,0	0,02	0,1
5	3,03	2,25	0,04	0,06	0,06	0,2	0,0	0,0	0,03	0,1
10	5,91	4,51	0,08	0,13	0,12	0,8	0,0	0,0	0,03	0,2
25	14,78	11,22	0,21	0,32	0,31	2,8	0,0	0,0	0,04	0,2
50	29,55	22,44	0,42	0,64	0,62	3,0	0,0	0,0	0,04	0,2

¹⁾ Температура обжига керамического образца составляет 970 °C.

Как видно из табл. 7.2, с увеличением содержания гальванического шлама в сырьевой смеси возрастает и количество тяжелых металлов

в водной вытяжке, хотя прямой зависимости не отмечается. По санитарно-гигиеническим нормам, допустимое содержание гальванического шлама составляет 3%, а элементом, определяющим максимальное количество добавки шлама, является хром. В табл. 7.3 в качестве примера приведены данные по обезвреживанию тяжелых металлов при производстве черепицы.

Таблица 7.3

Содержание тяжелых металлов в водной вытяжке

Металлы	Содержание элементов	
	В черепице, г/кг	В водной вытяжке, мг/л
Хром	0,70–1,70	0,01–0,05
Никель	0,10–0,20	Отсутствует
Медь	0,60–1,60	—
Кадмий	0,00–0,10	—
Цинк	0,50–1,30	—

На Палемонасском керамическом заводе применяли также отработанную формовочную смесь литейного производства в качестве отощающей добавки при получении *кирпича*. Смесь содержала 3–4% бентонита, 2–3% жидкого стекла, 1,5–2% феррохромного шлама, 0,2–0,5% едкого натра, 0,1–0,4% угля, остальное — кварцевый песок. Отработанная формовочная смесь полностью заменяет песок, при ее использовании достигается надежное обезвреживание токсичных компонентов смеси. Оптимальное количество формовочной смеси составляет 15–17%, но, если в состав глиняной сырьевой смеси входят и другие отощители (гидролизный лигнин, опилки, отходы углеобогащения), содержание формовочной смеси литейного производства должно быть уменьшено. Промышленные испытания показали, что хром из кирпича с добавкой отходов формовочной смеси литейного производства не вымывается.

Проверена возможность использования гальванического шлама в производстве *керамзита*. В этом случае надежность его обезвреживания значительно увеличивается за счет обжига в восстановительной среде при вспучивании гранул керамзита и последующего образования керамзитобетона. В исходную смесь кроме гальванического шлама вводится также 1,5% мазута.

Последующие промышленные испытания показали, что при введении в сырьевую смесь гальванического шлама в количестве 3% наблюдается заметное повышение прочности и понижение плотности керамзита, а также уменьшение температуры вспучивания. Это связано с наличием в шламе необходимого количества геля гидроксида железа. Гель гидроксида железа образует расплав с глинистыми минералами

при более низких температурах, благодаря чему интенсивное вспучивание сырья происходит при пониженных температурах.

Тяжелые металлы в керамзите надежно связаны в оксиды и силикаты и не представляют опасности для окружающей среды. Введение до 3% шлама не влияет на качество керамзитового гравия и основные технологические процессы его получения.

Проверена также возможность применения отработанных лигнина, СОЖ (смазочно-охлаждающая жидкость), ПАВ и некоторых других промышленных отходов при получении керамических материалов. Промышленные испытания показали, что наименьшая насыпная плотность керамзита достигается при добавлении в сырьевую смесь 5–10% лигнина. Добавки лигнина были испытаны и при производстве кирпича. При увеличении количества лигнина в сырьевой смеси до 15% пластичность массы возрастает с 14,1 до 19,9, при дальнейшем повышении его содержания в смеси она снижается.

Разработанная и внедренная на Палемонасском керамическом заводе технология использования СОЖ и нерегенерируемых нефтепродуктов при производстве керамзита обеспечивала надежное обезвреживание и ликвидацию как концентрированных, так и разбавленных отходов. Часть нерегенерируемых масел использовалась при получении керамзита по «пластичной технологии», обводненные масла и отработанные СОЖ — по «мокрой технологии» подготовки сырья.

При производстве керамзита «мокрым» способом в сырьевую смесь вводят воду в количестве 40–50%. Этот способ позволяет использовать отработанные СОЖ и нерегенерируемые масла без предварительной подготовки, например концентрирования, что значительно облегчает их обезвреживание как для крупных, так и особенно для мелких металлообрабатывающих предприятий.

С целью переработки отходов СОЖ, получаемых на различных предприятиях в небольших количествах и неоднородных по составу, на заводе предусматривалась их предварительная сортировка (с содержанием до 10% органических веществ, с 10 до 80%, более 80%; последние использовались при получении керамзита по «пластическому способу»).

Практика показала, что на вспучиваемость влияет не только общее количество органических веществ, но и исходный состав СОЖ, а также условия применения последних. Дозировка СОЖ упрощается, если в сырьевую смесь дополнительно вводится мазут.

На этом же заводе использовались и отходы растворов, применяемых для обезжиривания поверхности металла перед электрохимической обработкой. Обезжиривающие растворы содержат ПАВ, фосфаты и силикаты натрия, а также нефтепродукты, растворившиеся в процессе обезжиривания. Положительное влияние ПАВ на свойства керамических изделий известно. Но и остальные компоненты обезжиривающего раствора заметно влияют как на текучесть шликера,

так и на температуру вспучивания и плавления формовочной смеси. Полупромышленные испытания показали, что минимальная насыпная плотность керамзита достигается при добавлении к сухой глине 10–15% отработанного обезжиривающего раствора.

В производстве керамических материалов на Палемонасском керамическом заводе использовалось 10 видов токсичных отходов (испытано 20 видов). Безопасность получаемых материалов и надежность обезвреживания токсичных промышленных отходов при производстве черепицы, кирпича и керамзита подтверждены Научно-исследовательским институтом общей и коммунальной гигиены им. А. Н. Сысина Академии медицинских наук СССР (в настоящее время Научно-исследовательский институт экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина Российской академии медицинских наук).

Согласно заключению Каунасской санитарно-эпидемиологической станции загрязнения атмосферного воздуха продуктами переработки, отходов не обнаружено. На заводе была внедрена замкнутая система водопотребления, твердые отходы не образовывались.

7.4. ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ РТУТЬСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Ртуть широко используется в различных изделиях. Герметичные приборы с ртутным заполнением абсолютно безвредны, так как пары ртути не способны проникать через стекло. Однако при нарушении герметичности, даже при появлении небольшой трещины, ртуть начинает испаряться, загрязняя воздух высокотоксичными парами ртути. Поэтому приборы с ртутным заполнением требуют аккуратного обращения, а приборы, вышедшие из строя, должны в обязательном порядке сдаваться на утилизацию. К числу ртутьсодержащих отходов потребления относятся следующие приборы, вышедшие из строя: ртутьсодержащие выключатели и переключатели, термометры и терморегуляторы, люминесцентные лампы, ртутные лампы медицинского и технического назначения, барометры, манометры и т. д.

В советское время ртутьсодержащие отходы (PCO), образующиеся на территории СССР, централизованно перерабатывались на Никитовском ртутном комбинате (Украина). Существовала отработанная система сбора, учета, транспортировки и переработки PCO. Ежегодно перерабатывалось до 205 тыс. тонн PCO 12 наименований, и из этого сырья производилось до 400 т товарной ртути. В настоящее время эта система разрушена. С каждым годом все более обостряется проблема сверхлимитных накоплений PCO на предприятиях, использующих и использовавших ртуть в прошлом. По состоянию на 2000 г. на территории России накопилось около 650 тыс. тонн ртутьсодержащих отходов с содержанием ртути от 0,02 до 75% и ежегодно образуется и складывается до 11 тыс. тонн таких отходов.

Проблема ртутного загрязнения территорий обострилась в связи с остановкой предприятий по производству хлора и каустика (Архангельский, Котласский ЦБК, Усольехимпром и т. п.). Для этих предприятий возникла проблема утилизации загрязненных ртутью строительных конструкций, грунтов, инструмента, спецодежды и т. д., а также проблема распространения ртутного загрязнения, связанная с ослаблением контроля за хранением ртутьсодержащих отходов. Существует также проблема масштабного техногенного загрязнения окружающей среды ртутью в золотодобывающих районах России. Несмотря на то что использование ртути в золотодобыче прекращено с 1989 г., появление ртути в грунтовых водах и в атмосфере населенных пунктов отмечается до сего времени, причем концентрация ртути превышает предельно допустимый уровень в 14 и более раз.

Не менее опасными являются накопления ртути и ртутьсодержащих приборов в различных учебных заведениях, научных учреждениях, опытных заводах и у населения крупных городов. В 1997 г. в рамках выполнения муниципальной программы по инвентаризации источников ртути в г. Санкт-Петербурге было определено, что количество ртути в термометрах и тонометрах, находящихся у граждан города, составляет не менее 3 т. На промышленных предприятиях, в НИИ, в медицинских, школьных и дошкольных учреждениях города хранится 10–12 т ртути. Подобная ситуация наблюдается и в Москве.

По данным различных источников, в Москве ежегодно образуется 7–8 млн штук отработанных источников света, в Московской области — около 4 млн штук. В Москве в настоящее время функционирует предприятие, принимающее люминесцентные лампы низкого давления. Это ООО НПП «Экотром», перерабатывающее ежегодно около 4,5 млн ламп, собираемых в Москве и Московской области.

В начале 2002 г. Министерство экологии Московской области проанализировало состояние дел с переработкой люминесцентных ламп в области. Оказалось, что на предприятиях области (ООО «Экорцикл», г. Ногинск; ООО «Мерком», г. Лыткарино; ООО «Фид-Дубна», г. Дубна; ООО «Экосвет», г. Чехов) ежегодно перерабатывается около 2 млн ламп. Отсюда следует, что на территории московского региона перерабатывается 6,5–7 млн ламп из 11–12 млн ламп, выходящих из употребления ежегодно. Около 4 млн ламп, содержащих около 400 кг ртути, поступает на полигоны бытовых отходов и на неорганизованные свалки. Косвенно это подтверждается данными о том, что в районе полигонов, в том числе и законсервированных, концентрация ртути в воздухе превышает допустимый уровень в 2–3 раза. Подобная, если не худшая, ситуация существует и в других регионах России, где зачастую еще отсутствуют условия для хранения и утилизации отработанных люминесцентных ламп.

В гораздо худшем положении находится проблема утилизации промышленных РСО. По имеющимся данным, на некоторых предприятиях

России организована переработка собственных высококонцентрированных РСО с целью регенерации ртути. Однако в результате переработки образуются отходы с содержанием ртути 0,2–0,4%, остающиеся отходами I класса опасности и требующие специальных мер для их хранения. Для решения вопроса переработки только текущего накопления отходов необходимо перерабатывать ежегодно 10–12 тыс. тонн ртутьсодержащих отходов.

В 1998–1999 гг. в рамках Федеральной целевой программы «Отходы» выполнена реконструкция ЗАО НПП «Кубаньцветмет» (Краснодарский край) и предприятие приступило к переработке опытных партий РСО. Всего за 1998–2000 гг. на предприятии переработано более 500 т ртутьсодержащих отходов. Однако отсутствие собственного сырья и нахождение предприятия в зоне природного заповедника накладывают непреодолимые ограничения на работу этого предприятия. Проблема заключается и в невозможности удаления ртути из материала переработки до уровня санитарных норм. Остаточное содержание ртути в огарках составляет 30–50 мг/кг при норме 2,1 мг/кг. Следовательно, продукты переработки РСО остаются отходами I класса опасности, требующими специальных мероприятий по их складированию.

В России известно несколько предприятий, специализирующихся на утилизации (демеркуризации) ртутьсодержащих отходов потребления, главным образом люминесцентных ламп. Одним из таких предприятий является ООО НПП «Экотром» (г. Москва), которое в 2000 г. успешно переработало около 4,5 млн вышедших из строя люминесцентных ламп.

На этом предприятии процесс переработки основан на разделении ламп на компоненты: стеклобой, алюминиевые цоколи, ртутьсодержащий люминофор. Для очистки воздуха, отводимого в атмосферу, применяется многоступенчатая система, последовательно включающая: циклон, рукавный фильтр, кассетный фильтр, производственный адсорбер, цеховой адсорбер и санитарный адсорбер. Стеклобой и алюминиевые цоколи являются конечными продуктами переработки. Ртутьсодержащий люминофор в виде цементно-люминофорных блоков помещается в герметичные мешки из полиэтилена и направляется для извлечения ртути на специализированные предприятия. Экологический аудит показал, что установка «Экотром» полностью соответствует существующим в России экологическим требованиям.

Для переработки РСО наиболее универсальной является термомеркуризационная установка УРЛ2м (рис. 7.5), разработанная фирмой ООО ВФ «Фид-Дубна». Установка предназначена для эксплуатации в стационарных условиях, однако конструкция установки позволяет использовать ее и в передвижном (мобильном) варианте на шасси грузового автомобиля (рис. 7.7). Таким образом, установку можно транспортировать к месту накопления отходов для их обезвреживания и переработки.



Рис. 7.5. Термодемеркуризационная установка УРЛ2М



Рис. 7.6. Использование установки УРЛ2М в передвижном (мобильном) варианте

Установка обеспечивает термическую демеркуризацию (удаление ртути) из люминесцентных ламп всех типов, а также горелок ртутных ламп высокого давления типа ДРЛ. Стеклобой, оставшийся после удаления ртути, может использоваться в стекловарении или в качестве засыпки при производстве строительных и дорожных работ, а также захораниваться на полигоне твердых бытовых или промышленных отходов (IV класс опасности). Установка пригодна для обезвреживания и переработки любых ртутьсодержащих отходов.

Принцип действия установки основан на зависимости давления насыщенного пара ртути от температуры. Обрабатываемые лампы разрушают в камере установки и нагревают до температуры быстрого испарения ртути (конструкция установки допускает нагрев демеркуризационной камеры до 450°C). Пары ртути откачивают вакуумной системой установки через низкотемпературную ловушку (НТЛ), охлаждаемую жидким азотом. Ртуть конденсируется на поверхности ловушки и стекает в сборник в виде жидкого металла после размораживания ловушки.

Результаты исследований показали, что для вакуумной дистилляции (отгонки) паров металла достаточно достичь давления насыщенных паров 1,8 мм рт. ст. Для ртути такое давление создается при температуре 130°C . Скорость испарения металлической ртути при этой температуре равна $0,04 \text{ г}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$. Это значит, что содержащаяся в одной лампе ртуть (порядка 60 мг) испаряется при температуре 130°C за время менее 1 с.

Уровень остаточного содержания ртути в выхлопных газах на работающей установке значительно ниже ПДК_{сс}.

Вопреки распространенному мнению, при нормальной эксплуатации установок по обезвреживанию отдельных токсичных веществ на полигонах, они не представляют опасности для жителей близлежащих районов (рис. 7.7).

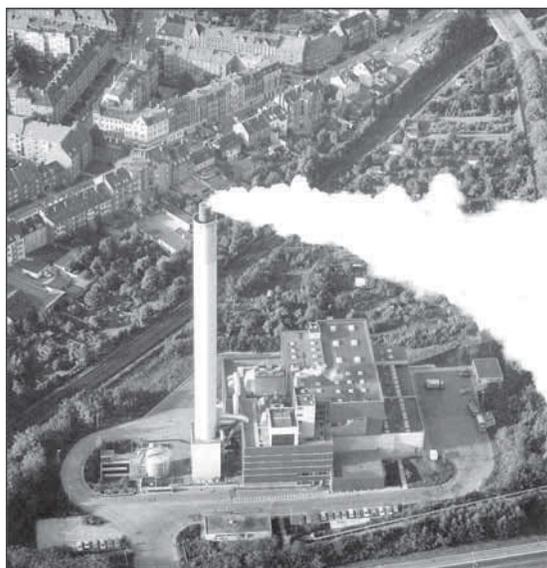


Рис. 7.7. Использование установки УРЛ2М в передвижном (мобильном) варианте

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем разница между опасными и токсичными отходами?
2. Как определяется класс опасности?
3. Почему основной метод обезвреживания токсичных отходов — термический?
4. Каковы требования к проектированию полигона для обезвреживания токсичных отходов?
5. Чем обосновано обезвреживание токсичных отходов в процессе производства цемента, черепицы и керамзита?
6. Можно ли обезвреживать токсичные отходы в процессе производстве силикатного кирпича?
7. Как обезвреживаются ртутьсодержащие отходы?
8. Почему радиоактивные отходы не принимаются на полигоны по обезвреживанию токсичных веществ?

ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И ЭКОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПАРКИ

Для достижения устойчивого развития необходима переориентация предпринимательской деятельности в сторону стабильной окружающей среды и процветающей экономики одновременно.

*Стефан Шмидхейни,
председатель Международного бизнес-совета
предпринимателей по устойчивому развитию*

Большинство развитых стран в настоящее время уже осознали, что экономический прогресс без сохранения имеющейся ресурсной базы и устойчивой экосистемы не представляется возможным, а производство товаров должно осуществляться по безотходным, или чистым, технологиям. Разработка и реализация безотходных, или чистых, технологических процессов требуют много сил и во многих случаях просто неосуществимы. Более вероятным является создание безотходных или чистых предприятий (комплекса процессов). Однако самые благоприятные возможности по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов складываются при кооперировании специально подобранного комплекса производств в рамках промышленных центров и территориально-производственных комплексов (ТПК). Промышленные центры и ТПК играют решающую роль в производстве товаров и услуг, но большинство из них представляют серьезную угрозу окружающей природной среде. Их число и размеры быстро увеличиваются, в то время как оставшиеся природные экосистемы катастрофически сокращаются.

8.1. ТПК — НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНАЯ ФОРМА ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВ

В рамках территориально-производственных комплексов складываются наиболее благоприятные условия для решения сложнейших экологических и экономических проблем путем кооперирования различных производств таким образом, чтобы отходы одних предприятий использовались другими в качестве сырья. Легче решаются транспортные проблемы, проблемы размещения жилых массивов и рекреационных зон и т. д.

Территориально-производственным комплексом называется такое экономическое (взаимообусловленное) сочетание предприятий в одной промышленной точке или в целом районе, при котором достигается определённый экономический эффект за счет удачного (планового)

подбора предприятий в соответствии с природными и экономическими условиями района, с его транспортным и экономико-географическим положением [27].

В СССР созданию ТПК как наиболее эффективной форме организации народного хозяйства уделялось большое внимание. На важность усиления работ по развитию действующих и созданию новых ТПК было обращено особое внимание в «Государственном пятилетнем плане развития народного хозяйства СССР на 1971–1975 годы» и в последующих планах.

Экономическое развитие ТПК предусматривает создание эффективной структуры производства основных видов продукции, инфраструктуры для обеспечения выпуска этой продукции, охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. При размещении производительных сил необходимо:

- максимально сохранять природные условия на заповедных территориях;
- внедрять малоотходные и безотходные (чистые) процессы и производства, потребляющие минимальное количество сырья и материалов;
- экономно использовать имеющиеся земли и в первую очередь сельскохозяйственные;
- перераспределять природные ресурсы и промышленное сырье с целью создания условий для сохранения благоприятной природной среды;
- ограничивать или даже прекращать отдельные производства в некоторых районах (курортных или туристских зонах, заповедниках, зонах интенсивной жилой застройки и др.), а в ряде случаев, наоборот, создавать новые (например, предприятия по производству стройматериалов, на которых можно использовать большинство отходов).

Большое значение в деле охраны окружающей среды имеют разработка и строительство в населенных пунктах и на предприятиях очистных сооружений, переработка промышленных и коммунальных отходов, озеленение, создание санитарно-защитных зон и проведение некоторых других санитарно-гигиенических мероприятий.

Особое внимание следует уделять предприятиям, производящим строительные материалы, поскольку они могут использовать большое количество отходов. Это дает возможность не только улучшить экономические показатели предприятий и региона в целом, но и весьма ощутимо уменьшить вредное воздействие промышленности на окружающую среду. Переработка многотоннажных отходов химических, металлургических, энергетических и других производств в ценные строительные материалы и изделия позволяет высвободить дефицитные земельные угодья, отводимые под отвалы, весьма существенно уменьшить загрязнение окружающей среды и повысить степень обеспеченности народного хозяйства страны строительными материалами при минимальных издержках производства. Использование отходов способ-

ствуется повышению рентабельности как предприятий, их производящих, так и предприятий, перерабатывающих отходы, снижению затрат на геологоразведочные работы и экономии природного сырья в целом, т. е. повышению эффективности капитальных вложений в народное хозяйство.

Особое значение для экономики страны имеет интенсификация развития таких территориально-производственных комплексов РФ, как Курская магнитная аномалия, Оренбургский и Ангаро-Енисейский ТПК, Саянский, Братский, Усть-Илимский и Канско-Ачинский (КАТЭК) топливно-энергетические комплексы и др.

8.2. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ И ЭКО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПАРКИ

Для определения эффективности промышленного производства Международный бизнес-совет предпринимателей по устойчивому развитию ввел понятие **экоэффективности** [11]. Экоэффективность достигается при производстве конкурентоспособных товаров и услуг, удовлетворяющих потребности людей, повышающих качество жизни, существенно уменьшающих вредное воздействие на окружающую природную среду и снижающих потребление природных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла, по крайней мере до уровня, соответствующего ассимиляционной емкости Земли. Экоэффективность должна способствовать:

- уменьшению количества материалов, используемых при производстве товаров и услуг;
- снижению энергетических затрат при производстве товаров и услуг;
- уменьшению объемов попутно образующихся (неиспользуемых) продуктов и токсичных отходов;
- максимизации использования возобновимых природных ресурсов;
- продлению срока пользования товаров и услуг;
- увеличению интенсивности и времени пользования товаров и услуг.

8.3. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

Промышленные экосистемы — это взаимосвязанная сеть компаний и организаций в регионе, которые используют попутно образующиеся продукты, отходы и энергию по одному из следующих направлений [28]:

- уменьшение объемов потребляемого первичного сырья;
- снижение степени загрязнения окружающей среды;
- повышение эффективности использования энергии, а следовательно, уменьшение объемов потребления первичных энергетических ресурсов;

- уменьшение количества отходов и затрат на их обезвреживание и захоронение;
- увеличение количества и видов продукции.

В таких системах оптимизировано использование сырьевых и энергетических ресурсов, сведено к минимуму образование отходов, а отходы одних процессов и производств служат сырьем для других.

Промышленный симбиоз в Калундборге

Одним из широко известных примеров промышленной экосистемы является «промышленный симбиоз» в Калундборге (Дания) [28]. В небольшом районе на берегу моря в конце XX в. образовалась сеть материальных и энергетических потоков между предприятиями, жилыми зданиями и сельскохозяйственными фермами. Первоначальным мотивом для организации такой системы было желание предпринимателей снизить себестоимость продукции за счет использования отходов и получить больше прибыли. Постепенно руководители предприятий и муниципалитет осознали, что наряду с увеличением прибыли предприятий уменьшился ущерб от загрязнения окружающей среды.

Система предприятий в Калундборге включает пять основных партнеров (рис. 8.1):

- 1) электростанцию компании Asnaes — крупнейшую электростанцию в Дании мощностью 1500 МВт, работающую на угле;
- 2) нефтеперерабатывающий завод (НПЗ) компании Statoil — крупнейший в Дании мощностью 4,8 млн т/год;
- 3) завод гипсовых плит компании Gypros, производящий 14 млн м² гипсовых плит ежегодно;
- 4) фармацевтический завод международной биотехнологической компании Novo Nordisk с ежегодным оборотом более 2 млрд долл.; компания выпускала около 40% мирового объема производимого инсулина и промышленных энзимов;
- 5) город Калундборг, в котором проживает 20 тыс. жителей, нуждающихся, как и предприятия города, в тепле и горячей воде.

Более 20 лет назад эти партнеры спонтанно, через двусторонние договоры начали организацию симбиоза. Никакого первоначального плана не существовало, всё делалось на основании договоренностей между партнерами и взаимной выгоды.

Энергетические потоки. До создания симбиоза термическая эффективность использования угля на электростанции компании Asnaes составляла всего 40%, остальное, в буквальном смысле, вылетало в трубу. В то же время другой мощный потребитель энергии — НПЗ компании Statoil — выбрасывал большие объемы горючих газов. В начале 70-х г. XX в. началась серия переговоров и соглашений:

- НПЗ согласился передавать избыточный газ заводу гипсовых плит, которого устраивала низкая цена на горючее;

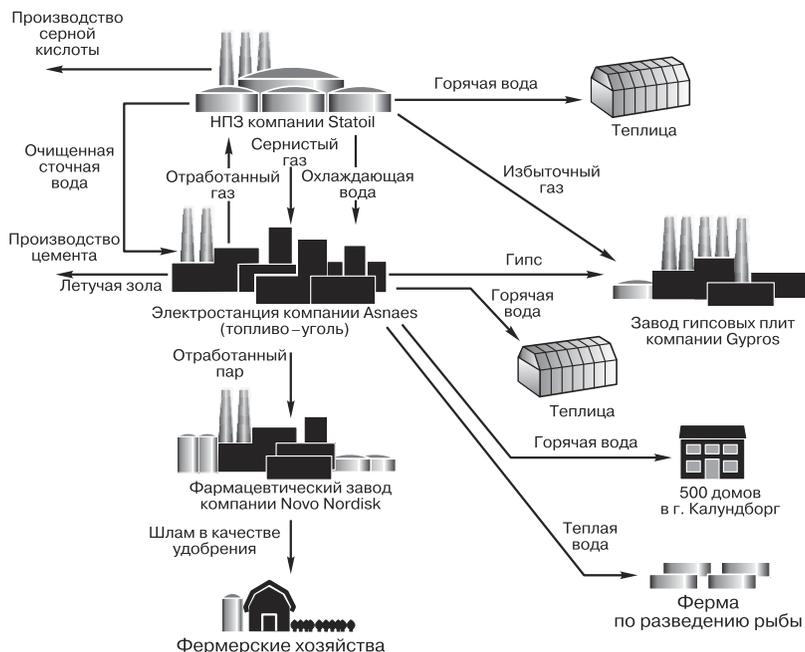


Рис. 8.1. Схема связей между предприятиями в промышленном симбиозе г. Калундборга

— электростанция начала снабжать новый район города отработанным паром, а с 1981 г. — также и заводы компаний Novo Nordisk и Statoil; обогрев района паром позволил ликвидировать 3500 печек, работающих на мазуте (громадный рассредоточенный источник загрязнения атмосферы);

— электростанция стала использовать для охлаждения морскую воду вместо пресной из озера Тиссо; часть нагретой морской воды стали направлять в 57 прудов по разведению рыбы;

— с 1992 г. на электростанции часть угля заменили газом, поступающим с завода компании Statoil; это стало возможным после того, как на НПЗ построили установку для очистки сбросных газов от серы, поскольку газы не соответствовали стандарту на топливо.

Материальные потоки. В 1976 г. началась организация материальных потоков:

— шлам с фармацевтического завода и шлам после очистки воды прудов для разведения рыбы стали использовать в качестве удобрения на растениеводческих фермах (количество шлама — более 1 млн тонн в год);

— цементный завод использует золу с электростанции;

— гипс после известняковой очистки отходящих газов электростанции используется на заводе гипсовых плит (удовлетворяется 2/3 его потребности, остальное завозится со стороны);

- сера, полученная в результате процесса сероочистки на НПЗ, отправляется на производство серной кислоты;
- избыточные дрожжи от производства инсулина используются в качестве корма для свиней.

Симбиоз позволил вовлеченным в него предприятиям снизить затраты на производство продукции и уменьшить загрязнение воздуха, воды и почвы в регионе. Инвестиции в размере 60 млн долларов, сделанные в 1993 г., дали доход в размере 120 млн долларов.

Организация и функционирование симбиоза в Калундборге дали возможность сделать следующие общие выводы:

- предприятия могут быть разными по профилю, но должны быть готовы к кооперации;
- расстояние между ними должно быть небольшим, что особенно важно при передаче тепла и некоторых материалов;
- большое значение имеет взаимное доверие руководителей предприятий;
- все контракты между предприятиями следует заключать на двусторонней основе;
- каждый контракт должен быть экономически привлекательным;
- риск для каждого участника должен быть минимальным.

Следует отметить, что каждый участник занимался делами самостоятельно, организующей системы не существовало и, по мнению участников, вряд ли она могла быть. Когда же симбиоз фактически состоялся, власти города стали уделять ему повышенное внимание.

8.4. ЭКО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПАРКИ

Особая форма промышленных экосистем реализована в эко-промышленных парках (ЭПП). В них появляются условия для более эффективной экономической и экологической организации жизнедеятельности региона. Подход тот же, что и при организации ТПК, но с более тесными и целенаправленными связями между предприятиями, расположенными на меньшей территории. Агентство по охране окружающей среды США (ЕРА) приводит следующее определение ЭПП:

Эко-промышленный парк — это объединение производителей товаров и услуг, желающих улучшить экономическое и экологическое состояние путем совместного управления природными ресурсами (энергией, водой и материалами) и окружающей средой. Работая вместе, производители надеются получить больший коллективный эффект, чем тот, который они имели бы, работая по отдельности.

Цель ЭПП — улучшить экономическое состояние участвующих производителей и уменьшить загрязнение окружающей среды. Данный подход включает планирование или перепланирование инфраструктуры парка, предотвращение загрязнения окружающей среды, повышение эффективности использования сырьевых и энергетических ресур-

сов и партнерство между производителями товаров и услуг. Через взаимную кооперацию эти предприятия становятся **промышленной экосистемой**.

Одним из наиболее известных экопромышленных парков является промышленный парк Бернсайд (Burnside Industrial Park) в Новой Шотландии (Канада). Парк спланирован и организован командой университета Далхауз (Dalhousie University) под руководством проф. Рэймонда Коте (Raymond P. Cote) [29]. Разработаны принципы и стратегия объединения предприятий (более 1200 больших и средних производств) в промышленную экосистему. В проекте выделено несколько ключевых позиций:

- организованы материальные и энергетические потоки между предприятиями; создана информационная система об отходах; привлечены компании, традиционно занимающиеся сбором, обезвреживанием и утилизацией отходов;

- увязаны в единый природный комплекс здания и парк, предусмотрены обогрев жилищ солнечной энергией и использование болот для обезвреживания сточных вод;

- создана доступная для всех предпринимателей информационная система о необходимых материалах, используемой энергии и образующихся в регионе отходах;

- организована обратная связь между предприятиями и администрацией парка.

Разработана компьютерная программа «ECOPARK» для управления парком и входящими в него предприятиями. Она содержит базу данных о предприятиях, используемых материалах и технологиях, законодательстве и регламентирующих документах, правительственной помощи, продукции из рециркулируемых и восстановленных материалов и проводимых исследованиях. Создание «ECOPARK» позволяет бизнесменам определить потенциальный рынок для своей продукции и провести анализ затрат и выгод. Все это способствует успешному функционированию экопромышленного парка.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое ТПК?
2. Как организуется безотходный ТПК?
3. Промышленные экосистемы и экопромышленные парки — это одно и то же или нет?
4. В чем отличие промышленной экосистемы от промышленного симбиоза в г. Калундборге?
5. Какое значение имеют промышленные экосистемы для устойчивого развития общества?

Часть III

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Необходимо побыстрее преодолеть традиционное заблуждение, что выбросы, загрязняющие воздух, воду, землю, — неизбежное зло всех современных предприятий.

Академик И. В. Петрянов-Соколов

В качестве основных отраслей в данном разделе рассматриваются наиболее материало- и энергоемкие производства, оказывающие наибольшее влияние на окружающую среду.

Переход на безотходный (чистый) путь развития начинается с производства строительных материалов. Прежде всего, без строительных материалов невозможно никакое строительство. Их производство имеется практически во всех регионах.

Само производство строительных материалов является весьма материало- и энергоемким и оказывает серьезное вредное влияние на окружающую среду. Однако уже сейчас сырьевая база большинства многотоннажных строительных материалов базируется на отходах других отраслей (вскрышные породы, шлаки, фосфогипс и т. д.).

Поэтому организация безотходных территориально-производственных комплексов или экопромышленных парков — то, к чему мы должны стремиться, — в подавляющем большинстве случаев просто невозможно, если в их составе нет предприятий по производству строительных материалов. Уже сейчас ряд предприятий по производству строительных материалов использует отходы многих отраслей промышленности.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА СТРОЙМАТЕРИАЛОВ

Главная цель передовой технологии — отыскание способа производства полезного из бросового, бесполезного.

Д. И. Менделеев

Промышленность строительных материалов — крупнейший потребитель природных ресурсов. В РФ эта отрасль ежегодно добывает и перерабатывает около 3 млрд тонн сырья: песка, глин, гипса, известняков, гранитов, базальтов и многих других осадочных и изверженных пород. Таким образом, она наносит серьезный ущерб окружающей среде, выражающийся, прежде всего, в загрязнении атмосферы и поверхности земли.

По загрязнению атмосферы пылью промышленность строительных материалов занимает первое место (34,7%) среди всех отраслей промышленности, второе место — тепловая энергетика (29,5%), третье — автотранспорт (15,8%).

С другой стороны, промышленность строительных материалов в больших масштабах и с большим эффектом использует отходы других отраслей. Так, уже сейчас в отрасли используется в год более 300 млн тонн различных отходов других отраслей промышленности. Это позволяет получать дополнительно значительное количество цемента, мягкой кровли, стекла, керамических изделий и других строительных материалов. Однако возможности значительно большего и высокоэффективного использования отходов вторичных и вскрышных пород гораздо шире. Так, только золошлаковых отходов ТЭЦ в нашей стране ежегодно образуется около 100 млрд тонн, а используется всего около 10%.

На основе зол и шлаков ТЭЦ можно выпускать более 15 видов строительных материалов. По данным ЕЭК ООН, общее использование золошлаковых отходов ТЭЦ в ФРГ составляет 80%, во Франции — 65, в Великобритании — 53, в Бельгии — 44, в России — 10%.

Однако необходимо отметить, что производство строительных материалов основано на точных химических законах, поэтому для изготовления многих видов строительных материалов, например цементов, можно использовать золы и другие отходы только определенных составов и фракций, в частности отобранных в циклонах и электрофильтрах при сухом золоудалении. На большинстве ТЭЦ применяется мокрое золоудаление, в результате которого зола теряет свои вяжущие свой-

ства и не может быть использована в производстве цемента. Большое остаточное содержание топлива в золе (иногда до 20–30%) служит препятствием для изготовления ячеистых бетонов и силикатного кирпича.

В то же время эти золы крайне выгодно использовать в качестве сырьевой смеси для производства цемента, аглопорита, глиняного кирпича, поскольку в процессе обжига топливо выгорает, что способствует его меньшему общему расходу.

Этот пример показывает, что для использования отходов в других производствах они должны быть выданы в удобном для последующего использования, «товарном», облагороженном виде.

9.1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

К основным строительным материалам относятся:

- природные каменные материалы и изделия, получаемые из горных пород путем механической обработки;
- искусственные обожженные каменные материалы из глины: кирпич, керамические блоки, черепица, облицовочные плитки, канализационные трубы, керамзит и аглопорит, санитарно-технические изделия и т. д.;
- минеральные вяжущие вещества: цементы, известь, гипсовые вяжущие вещества, магнезиальные вяжущие вещества, служащие для изготовления растворов и бетонов;
- искусственные каменные необожженные материалы и изделия: силикатный кирпич, асбестоцементные изделия, бетонные изделия, грунтоблоки;
- тепло- и звукоизоляционные материалы: минеральная вата, пеностекло, пеногазобетон, пенокерамика, некоторые органические теплоизоляционные материалы и т. д.;
- битумные вяжущие вещества, гидроизоляционные и кровельные рулонные материалы (рубероид);
- стекло, шлакоситаллы и изделия из них;
- металлические изделия;
- лесоматериалы;
- краски, лаки и другие материалы.

9.2. ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Вяжущими называются строительные материалы, способные в результате физико-химических процессов переходить из жидкого или тестообразного состояния в твердое камневидное, связывая при этом смешанные с ним куски и частицы инертных наполнителей (щебень, гравий, керамзит, песок) в одно монолитное целое (бетон) или соединять кирпич, камни и т. д.

Вяжущие материалы разделяются на **неорганические минеральные вещества** (цементы, известь, гипс) и **органические** (битумные, дегтевые, асфальт), которые применяются в дорожном строительстве, а также при гидроизоляции, кровельных и других работах [30].

В зависимости от условий твердения вяжущие материалы делятся на две группы:

1) **воздушные** — твердеющие и сохраняющие или повышающие свою прочность только на воздухе (известь, гипсовые и магниезальные вяжущие материалы);

2) **гидравлические** — твердеющие и сохраняющие или повышающие свою прочность не только на воздухе, но и в воде (цементы, гидравлическая известь, получаемые путем смешения цементов или извести с гидравлическими добавками).

Для наземных сооружений применяются воздушные и гидравлические вяжущие материалы, для подземных, гидротехнических и подводных сооружений — только гидравлические.

1. **Воздушная известь** получается посредством обжига при 900°C природных материалов, содержащих CaCO_3 : известняков, в том числе доломитизированных, мела. В основном она состоит из CaO и в таком состоянии называется негашеной известью или **кипелкой**.

При обработке водой негашеная известь переходит в гашеную, содержащую в основном $\text{Ca}(\text{OH})_2$. При гашении извести ограниченным количеством воды получается **пушонка**. При гашении извести большим количеством воды образуется **известковое тесто** или **известковое молоко**, которое применяют при изготовлении строительных растворов для кладки стен и штукатурки. В больших количествах известковое молоко используется для нейтрализации и очистки сточных вод. На воздухе известковые растворы постепенно твердеют с кристаллизацией $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в толще раствора и с образованием CaCO_3 в поверхностном слое при взаимодействии с углекислым газом воздуха.

Гипсовые вяжущие материалы на основе CaSO_4 получают из природного двухводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), природного ангидрита (CaSO_4) и некоторых отходов промышленности, самым многотоннажным из которых является **фосфогипс**. Различают **быстротвердеющие** гипсовые вяжущие материалы, состоящие в основном из полуводного гипса, и **медленнотвердеющие**, в состав которых в основном входит безводный гипс. К первым относятся строительный гипс, а также формовочный и медицинский гипсы, ко вторым — ангидритовый цемент и высокообжиговый гипс (обжигаемый при температуре $800\text{--}1000^{\circ}\text{C}$), называемый **эстрих-гипс**.

Строительный гипс получают термической обработкой гипсового камня при $140\text{--}190^{\circ}\text{C}$ с последующим его измельчением. В зависимости от условий термической обработки двухводный гипс превращается в полуводный, двух модификаций: α - или β -полугидраты. Глав-

ной составной частью строительного гипса является β -полугидрат. Строительный гипс применяют для изготовления известково-гипсовых растворов, для штукатурных работ, для производства листов сухой штукатурки, перегородочных плит, панелей и других строительных деталей. Из строительного гипса изготавливают также искусственный мрамор, декоративные изделия, формы для отливки керамических изделий и другие материалы. На ОАО «Воскресенские минеральные удобрения» было налажено производство облицовочных, декоративных и перегородных гипсовых плит из фосфогипса.

Ангидритовый цемент преимущественно состоит из безводного сульфата кальция. Его получают обжигом природного двухводного гипса при 600–700 °С с последующим измельчением продукта обжига совместно с катализаторами твердения (известью, сульфатом или гидросульфатом натрия в смеси с железным или медным купоросом и др.), а также тонким измельчением природного ангидрита с катализатором. Ангидритовый цемент применяют для изготовления кладочных и штукатурных растворов, а также для получения бетонов и различных строительных деталей.

Высокообжиговый гипс (эстрих-гипс) получают обжигом природного двухводного гипса или природного ангидрита при 800–1000 °С с последующим измельчением. При этом происходит не только обезвоживание двухводного гипса, но и частичное разложение CaSO_4 с образованием свободной извести и SO_2 в отходящих газах. Эта известь в высокообжиговом гипсе играет роль катализатора. Изделия из высокообжигового гипса имеют высокую прочность на истирание, обладают малой тепло- и звукопроводностью, поэтому такой гипс применяют для изготовления полов. Высокообжиговый гипс можно также использовать для приготовления строительных растворов и бетонов, искусственного мрамора и других изделий.

2. Гидравлические вяжущие материалы. Принадлежат к более сложным веществам, основу которых составляет смесь $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

Наиболее известными и распространенными являются различные цементы.

9.3. ЦЕМЕНТ

Цементы составляют большую группу неорганических вяжущих порошкообразных материалов, образующих при смешении с водой пластичную массу, затвердевающую в прочное каменное тело. Основными видами цементов являются: портландцементы, шлаковые, глиноземистые, расширяющиеся, романцементы, цементы с наполнителями.

Наиболее широко применяются **портландцементы**. По своим свойствам портландцементы делятся на быстротвердеющие, особо быстротвердеющие, высокопрочные, пластифицированные, гидрофоб-

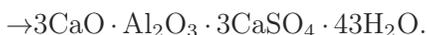
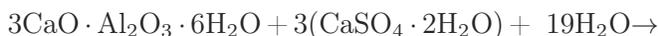
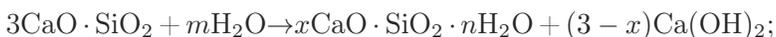
ные, сульфатостойкие, белые и цветные, тампонажные, дорожные и цементы для производства асбестоцементных изделий. Портландцемент получают тонким помолом *клинкера*, образующегося в результате обжига до спекания искусственной смеси, в составе которой преобладают силикаты кальция (70–80%).

Химический состав портландцемента (без добавок) включает CaO (62–76%), SiO₂ (20–24%), Al₂O₃ (4–7%), Fe₂O₃ (2–5%), MgO (1,5–4%) и другие примеси.

Минералогический состав портландцемента: 3CaO·SiO₂ (40–60%), 2CaO·SiO₂ (15–35%), 3CaO·Al₂O₃ (4–14%), 4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃ (10–18%). Вяжущими свойствами обладают силикаты кальция.

Марки цемента (300, 400, 600, 700) соответствуют пределу прочности (в кг/см²) при сжатии кубиков из цементного раствора с песком состава 1:3 по массе после 28-дневного твердения.

Процесс твердения портландцемента в основном определяется гидратацией силикатов, алюминатов и алюмоферритов кальция. При взаимодействии порошка цемента с водой в основном протекают следующие реакции:



Для удобства написания формул различных соединений, с которыми приходится иметь дело в химии и технологии вяжущих соединений, приняты особые сокращенные обозначения, в которых оксиды обозначаются первой буквой относящейся к ним формулы, а индексы около букв означают число эквивалентов данного оксида.

Например, 3CaO·SiO₂ обозначаются как C₃S; 2CaO·SiO₂—C₂S; 3CaO·Al₂O₃—C₃A; 4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃—C₄AF.

Свойства цемента зависят от соотношения основных оксидов в клинкере и могут быть охарактеризованы следующими тремя величинами.

1. **Коэффициент насыщения (КН).** Коэффициент насыщения кремнезема оксидами кальция выражается следующей формулой:

$$\text{КН} = \frac{(\text{CaO}_{\text{общ}} - \text{CaO}_{\text{своб}}) - (1,65\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,7\text{SO}_3)}{28(\text{SiO}_{2\text{общ}} - \text{SiO}_{2\text{своб}})},$$

где CaO_{общ} — общее содержание оксида кальция в клинкере, % (масс.); CaO_{своб} — содержание свободного оксида кальция, т. е. не вошедшего

в реакцию с другими оксидами; Al_2O_3 , Fe_2O_3 — содержание оксидов в клинкере; SO_3 — формальное содержание SO_3 в $CaSO_4$ (за вычетом CaO); $SiO_{2\text{общ}}$ — общее содержание оксида кремния; $SiO_{2\text{своб}}$ — содержание не вошедшего в реакцию кремнезема, определяемого по величине нерастворимого остатка, % (масс.).

Коэффициент насыщения представляет собой отношение количества оксида кальция, оставшегося после полного насыщения им глинозема, оксида железа и серного ангидрида соответственно до C_3A , C_4AF и $CaSO_4$, к тому количеству оксида кальция, которое необходимо для полного насыщения кремнезема до C_3S .

Величина КН обычно выражается сокращенной формулой:

$$КН = \frac{C_3S + 0,88C_2S}{C_3S + 1,33C_2S},$$

где C_3S и C_2S — содержание оксидов в клинкере, % (масс.).

Низкий КН замедляет твердение вследствие повышенного содержания C_2S и пониженного — C_3S . Поэтому необходимо стремиться к более высокому КН, но при одном непрременном условии, чтобы оксид кальция полностью связывался в соединения, составляющие клинкер. Для портландцемента $КН = 0,8 - 0,95$.

2. Силикатный или кремнеземистый модуль (n). Этот модуль определяет отношение содержания вошедшей в реакцию кремнекислоты к суммарному содержанию глинозема и оксида железа:

$$n = \frac{SiO_{2\text{общ}} - SiO_{2\text{своб}}}{Al_2O_3 + Fe_2O_3},$$

где $SiO_{2\text{общ}}$, $SiO_{2\text{своб}}$, Al_2O_3 , Fe_2O_3 — содержание оксидов в клинкере, % (масс.).

Для портландцемента $n = 1,7 - 3,5$.

Величина n определяет относительное содержание минералов-силикатов (C_3S и C_2S) и минералов-плавней (C_3A , C_4AF) и выражается формулой:

$$n = \frac{C_3S + 1,33C_2S}{1,43C_3A + 2,05C_4AF},$$

где C_3S , C_2S , C_3A и C_4AF — содержание оксидов в клинкере, % (масс.).

Цементы с *высоким* силикатным модулем медленно схватываются и твердеют, но с течением времени прочность их возрастает и через длительные сроки оказывается весьма высокой. Повышение силикатного модуля увеличивает стойкость цементов в минерализованных водах, но высокий n затрудняет спекание портландцементного клинкера. *Низкий* же силикатный модуль вызывает затруднения при обжиге из-за легкоплавкости сырьевой смеси, сваривания ее в куски и возможности образования на футеровке печи толстого слоя колец (наvara), затрудняющего перемещение клинкера вдоль печи.

3. Глиноземный или алюминатный модуль (P). Этот модуль показывает отношение содержания глинозема к содержанию оксида

железа:

$$P = \frac{\% \text{Al}_2\text{O}_3}{\% \text{Fe}_2\text{O}_3},$$

где Al_2O_3 и Fe_2O_3 — содержание оксидов в клинкере, % (масс.).

Величина P находится в пределах 1,0–3,0 и определяется отношением содержания алюмината к содержанию алюмоферрита кальция:

$$P = \frac{1,15C_3A}{C_4AF} + 0,64,$$

где C_3A и C_4AF — содержание оксидов в клинкере, % (масс.).

Цементы с *высоким* глиноземным модулем, т. е. повышенным содержанием C_3A , быстрее схватываются и твердеют, но достигнутая в первое время прочность в дальнейшем мало или почти не возрастает. Такие цементы менее устойчивы к действию минерализованных вод. Обжиг их затруднен вследствие повышенной вязкости жидкой фазы, что замедляет процесс образования C_3S . При *малой* величине глиноземного модуля, т. е. при более значительном содержании оксида железа, цементы медленно схватываются и твердеют, но дают более высокую конечную прочность. Клинкер в этом случае делается весьма легкоплавким, что может вызывать образование сводов и больших комьев.

Существуют два основных способа производства цемента: мокрый и сухой. Процесс производства цемента в основном состоит из следующих операций:

- добыча сырья;
- приготовление сырьевой смеси (дробление исходных материалов, помол и гомогенизация смеси);
- обжиг сырьевой смеси;
- помол обожженного продукта в тонкий порошок.

При *мокрым* способе сырьевую смесь измельчают вместе с водой. Получаемая сметанообразная масса (*шлам*) содержит 32–45% воды. Мокрым способом легче получить однородную (гомогенную) сырьевую смесь при меньшем пылении. Поэтому он чаще применяется при значительных колебаниях химического состава известкового и глинистого компонентов. Этот способ используют и тогда, когда сырьевые материалы имеют высокую влажность, легко измельчаются и диспергируются водой. Наличие в гипсе посторонних примесей, для удаления которых необходима вода (отмучивание), также предопределяет выбор мокрого способа.

Размол сырья в присутствии воды облегчается, а на измельчение расходуется меньше энергии (на дробление и помол тратится 60–80% всей электроэнергии, расходуемой на производство цемента). Недостаток мокрого способа — значительно больший расход топлива при обжиге.

По *сухому* способу (рис. 9.1) сырьевые материалы предварительно высушивают, а затем измельчают. Полученный тонкий порошок называют *сырьевой мукой*.

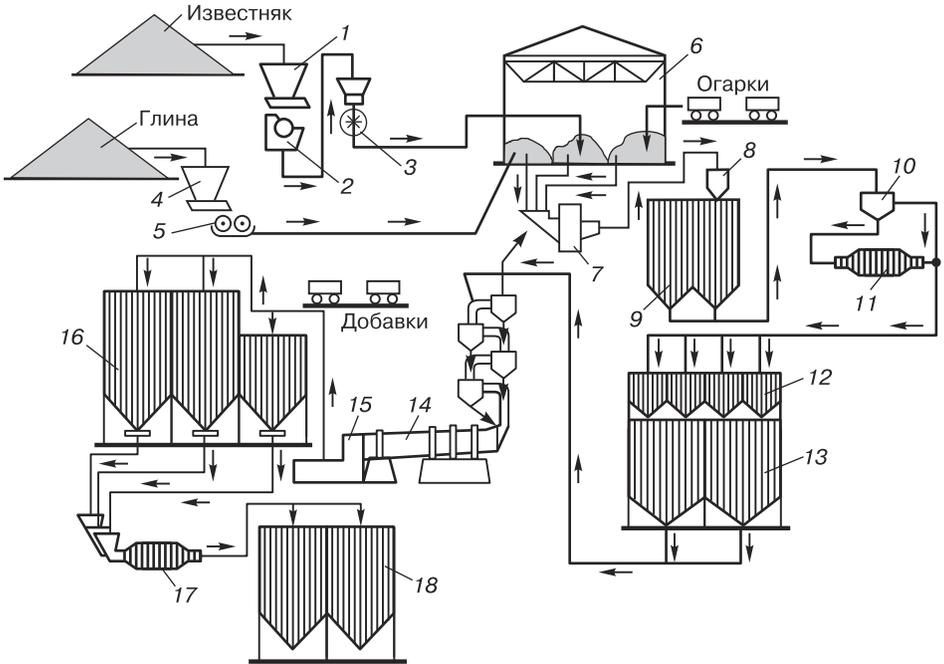


Рис. 9.1. Аппаратурно-технологическая схема получения цемента (по сухому способу): 1 — бункер известняка; 2 — щековая дробилка; 3 — молотковая дробилка; 4 — бункер глины; 5 — валковая дробилка; 6 — объединенный склад сырья; 7 — мельница «Аэрофол»; 8 — циклон-осадитель; 9 — промежуточный силос; 10 — сепаратор; 11 — мельница; 12 — гомогенизационный силос; 13 — запасной силос; 14 — печь с циклонными теплообменниками; 15 — холодильник; 16 — склад клинкера и добавок; 17 — мельница тонкого помола; 18 — цементный силос

Сухой способ производства целесообразен при сырье с относительно меньшей влажностью и более однородным составом. Он практикуется в случае, когда в сырьевую смесь вместо глины вводят гранулированный доменный шлак. Его также применяют при использовании натуральных *мергелей*. Расход топлива при сухом способе производства во вращающихся печах гораздо меньше, чем при мокром. Поэтому доля сухого способа в производстве цемента возрастает.

Сырьем для цемента служат природные материалы (гипсовые, известковые, глинистые, мергелистые, магнезиальные, высокоглиноземистые, кремнеземистые породы и др.) и промышленные отходы (шлаки, золы, нефелиновый шлак и др.). Свойства цемента регулируются при помощи добавок: активных (гидравлических), наполнительных,

ускоряющих или замедляющих схватывание, ускоряющих твердение, поверхностно-активных, пеногазообразующих, повышающих кислотостойкость и жаропрочность, и др. Для ускорения обжига клинкера применяют фториды щелочных и щелочноземельных металлов (чаще всего CaF_2), соли кремнефтористоводородной кислоты, сернистый и хлористый кальций и др.

Обжиг сырьевой смеси ведется при 1450°C во вращающихся и шахтных печах, в которых сырьевая смесь превращается в клинкер. Наиболее часто применяются вращающиеся печи, представляющие собой наклонный (под углом $3\text{--}4^\circ$ к горизонту) вращающийся стальной барабан. В загрузочную его часть подается сырьевая смесь, а со стороны выгрузочной части (головки) печи через форсунки подается топливо. Внутри барабан выложен огнеупорной футеровкой. Скорость вращения печи $0,5\text{--}1$ об./мин. Поступивший в печь материал движется по направлению к головке печи, по пути подвергается обжигу и поступает в холодильник. Материал при обжиге заполняет от 7 до 15% пространства печи. Топочные газы движутся вдоль барабана навстречу обжигаемому материалу, проходят пылеулавливающее устройство и выбрасываются через дымовую трубу в атмосферу. Длина вращающейся печи колеблется от 60 до 185 м, диаметр от 2,2 до 5 м. Производительность таких печей составляет $10\text{--}75$ т/ч.

Сырьевая смесь в печи сначала высушивается (*зона сушки*) и нагревается до $500\text{--}600^\circ\text{C}$ (*зона подогрева*). При этом выгорают органические вещества и дегидратируются глинистые материалы. При дальнейшем повышении температуры разлагается CaCO_3 и образующийся CaO начинает реагировать с составными частями глины (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3). Процесс разложения CaCO_3 с большой скоростью протекает при $900\text{--}1200^\circ\text{C}$ (*зона кальцинирования*). При $1200\text{--}1300^\circ\text{C}$ реакция в твердом состоянии между CaO и другими оксидами ускоряется и сопровождается выделением тепла (*экзотермическая зона*). При обжиге в клинкере появляются: $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, CaO , MgO и ряд других соединений. При температуре около 1450°C обжигаемый материал частично плавится, возникает жидкая фаза и материал спекается (*зона спекания*). Большая часть $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ переходит в $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. При дальнейшем продвижении материала в печи он охлаждается до $1000\text{--}1200^\circ\text{C}$ (*зона охлаждения*) и поступает в холодильник. После обжига охлажденный в холодильнике клинкер направляется в клинкерный склад, затем дробится и измельчается совместно с гипсом и другими добавками.

На качество портландцемента сильно влияет его *гранулометрический состав*. Увеличение степени дисперсности цемента дает положительный эффект только до определенного предела. Удельная поверхность обычного портландцемента без добавок составляет $5000\text{--}6000$ $\text{cm}^2/\text{г}$.

Полученный цемент пневмотранспортом направляется в железобетонные башни цилиндрической формы (силосы), откуда часть цемента поступает на расфасовку в бумажные мешки, а другая часть отправляется навалом в специальные цементовозы.

9.4. ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

Для получения шлаковых цементов в сырьевую смесь вводят различные гранулированные шлаки, в основном доменные и электротермофосфорные (до 30–60%).

Наиболее распространенным шлаковым цементом является шлакопортландцемент. Его получают путем совместного помола портландцементного клинкера и доменного гранулированного шлака или тщательным смешением в сухом виде тех же раздельно измельченных материалов.

Большим достижением науки в области химии цемента является разработка технологии и организация производства особо *быстро-твердеющего* шлакопортландцемента. Этот цемент обладает высокой антикоррозионной стойкостью и повышенной текучестью, что уменьшает усадочные напряжения и склонность бетона к растрескиванию. Благодаря этим свойствам, он может успешно применяться в гидротехническом, автодорожном и аэродромном строительстве.

Однако главным преимуществом шлакопортландцемента, кроме высоких строительно-технических свойств, является реальная экономия клинкера и топлива при его производстве. Использование одной тонны доменного гранулированного шлака экономит 600–700 кг клинкера. При производстве шлакопортландцемента в среднем экономится 30–40% топлива по сравнению с обычным цементом.

Использование доменных шлаков для производства цемента также выгодно металлургам, продающим эти многотоннажные отходы. К этому надо добавить еще экологические преимущества, возникающие за счет уменьшения добычи сырья и отсутствия свалок для шлака со всеми вытекающими отсюда последствиями.

9.5. СТРОИТЕЛЬНАЯ КЕРАМИКА

Строительной керамикой называются керамические материалы, применяемые для строительства зданий и различных сооружений [31]. По *назначению* изделия строительной керамики делятся на:

- стеновые изделия (кирпич, керамические камни и панели из них);
- фасадные или облицовочные (лицевой кирпич, плитки различного вида);
- кровельные (черепица);
- канализационные и дренажные трубы;

- керамические заполнители для бетонов (керамзит, аглопорит¹⁾);
- санитарно-технические изделия (умывальные столы, ванны, унитазы).

По сложившейся традиции пористые изделия грубозернистого строения из глинистых масс называют *грубой керамикой*, а изделия плотные, тонкозернистого строения, со спекшимся черепком, водонепроницаемые, типа фарфорных, называют *тонкой строительной керамикой*. Однако такая классификация является условной и не отражает химической и минералогической природы керамических материалов.

Особенностью строительной керамики является широкое использование повсеместно распространенных в природе легкоплавких и частично тугоплавких глин, сравнительно грубая переработка масс и обжиг изделий при относительно низких температурах, порядка 900–1100 °С.

В последние годы в производстве строительной керамики широко используются отходы горнодобывающих отраслей, золы ТЭЦ и другие отходы. В широких масштабах проведены опытно-промышленные испытания использования различных отходов для производства кирпича, пустотелого керамического камня, панелей с высокими экономическими и экологическими показателями. Однако широкому промышленному внедрению этих разработок в значительной мере мешает инертность и обычная бюрократическая волокита.

За последние годы построено много новых крупных, полностью механизированных заводов по производству кирпича, фасадных и облицовочных изделий, легких керамических заполнителей для бетонов. Созданы мощные перерабатывающие и формирующие механизмы. Современные заводы оснащены высокопроизводительными туннельными печами.

Большие изменения произошли и в самой технологии переработки и обжига изделий. Широко применяется вакуумная переработка масс, сушка в распылительных сушилках. Введены в широкую промышленную практику *сушка* и *обжиг* в скоростном режиме. Созданы поточно-механизированные линии по производству плиток, труб, фасонной керамики. В больших масштабах на заводах строительной керамики стали применять автоматический контроль и регулирование механических и тепловых процессов.

9.6. КИРПИЧ

Глиняный обыкновенный (красный) кирпич — это основной вид стеновой керамики, имеющий форму параллелепипеда размером 250×120×65 мм. С целью снижения объемного веса кладки и улучшения теплоизоляционных свойств разработаны различные разновидности

¹⁾Аглопорит является пористым стеклом, а не керамикой.

сти кирпича, в том числе: дырчатый, пористо-дырчатый, полуторный, пустотелые камни, по размерам кратные обычному кирпичу.

Кирпич изготавливают из глины с отощающими добавками (например, песком, шлаком, гидратированной глиной) или без них посредством формовки, сушки и обжига. Общая технологическая схема производства кирпича по «*мокрому*» или «*пластичному*» способу (рис. 9.2) включает следующие этапы:

- добыча глины в карьере и транспортировка ее на кирпичный завод;
- подготовка глины путем предварительного разрыхления и перемешивания с водой, отощающими и выгорающими добавками, нагревания паром (выгорающие добавки — древесные опилки, уголь, шлак с остатками топлива — придают изделию повышенную пористость, улучшают теплозащитные свойства и морозостойкость);
- формовка сырца на ленточном прессе, из мундштука которого глиняная масса с влажностью 17–35% выходит в виде ленты и затем разрезается на автоматическом резальном аппарате;
- сушка сырца в камерных или туннельных сушках;
- обжиг при 900–1100 °С преимущественно в туннельных печах.

Кроме «мокрого» способа для изготовления кирпича широко применяется метод *прессования* — сырец формируется из глиняной массы с влажностью 8–10% на специальных прессах под давлением 100–150 кг/см².

Обжиг кирпича имеет свои особенности, поскольку скорость нагревания и охлаждения существенно влияет на его качество. В период нагрева до 100–150 °С, когда происходит интенсивное выделение остаточной влаги сырца, возможно образование трещин и даже разрушение сырца. Далее скорость повышения температуры может быть увеличена вплоть до достижения конечной температуры. При этой температуре изделия выдерживаются несколько часов, чтобы завершился процесс спекания и усадки. При охлаждении кирпича наиболее опасным является период прохождения температуры 500–600 °С, при котором происходят объемные изменения кварца, почти всегда присутствующего в глинах. Общая длительность обжига составляет 20–48 ч и зависит как от особенностей глин, так и от конструкции печи.

На новых заводах используются исключительно туннельные печи, позволяющие полностью механизировать загрузку сырца и выгрузку кирпича, улучшить контроль и регулирование процесса, а также уменьшить расход топлива благодаря более полному использованию тепла топочных газов.

Туннельная печь представляет собой сплошной канал, в котором обжигаемые изделия передвигаются на вагонетках. В печи имеются три зоны: подогрева, обжига и охлаждения. В зону обжига вводят горячие топочные газы или газообразное и жидкое топливо, сжигаемое

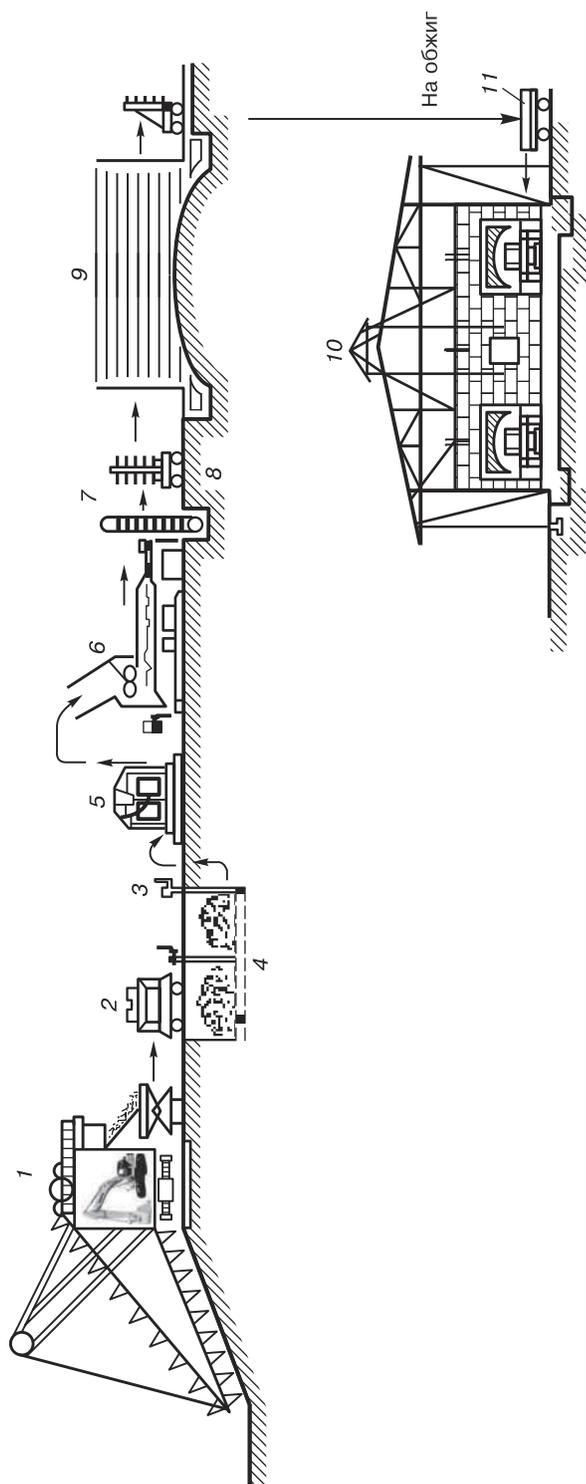


Рис. 9.2. Схема производства строительного кирпича: 1 — экскаватор; 2 — вагонетка с глиной; 3 — бегуны; 4 — подаватель; 5 — ленточный пресс; 6 — валцы; 7 — многоэтажная вагонетка; 8 — сушилка; 9 — туннельная печь; 11 — сырец

непосредственно в рабочем пространстве. Иногда обогрев происходит через стенку.

Туннельная печь работает следующим образом. Обжигаемые изделия поступают на вагонетках в зону нагрева. Платформы вагонеток плотно прилегают друг к другу, образуя сплошной под (нижнюю часть) печи. Продольные края вагонеток имеют щитки, которые продвигаются по песочному затвору, расположенному по обеим сторонам рельсового пути. Таким образом оси, колеса вагонеток и рельсы защищены от действия высокой температуры, развиваемой в печи. По истечении определенного времени (0,5–3 ч) цепь вагонеток проталкивается вперед на расстояние, равное длине одной вагонетки. При этом в начале зоны освобождается место для новой вагонетки, а из зоны охлаждения выходит вагонетка с обожженными изделиями.

Силикатный кирпич формируется из смеси кварцевого песка и гашеной извести под давлением до 200 кг/см^2 с последующим отвердеванием под действием пара (при 175°C и давлении 8 атм) в автоклавах. Силикатный кирпич широко применяется для несущих стен и столбов. Для кладки печей и труб силикатный кирпич не применяется, так как при температуре 500°C его прочность снижается. Не применяется он и для кладки фундаментов и цоколей из-за невысокой водостойкости. Силикатный кирпич дешевле красного, поэтому он широко используется для кладки стен зданий. Однако отходы при его производстве практически не применяются.

9.7. ЧЕРЕПИЦА

Черепица является керамическим материалом для покрытия скатов и коньков крыш. Благодаря своим низким эксплуатационным расходам, красивому и нарядному виду во многих районах нашей страны и за рубежом черепица долгое время являлась основным кровельным материалом. В настоящее время ее используют в меньших количествах как в сельском, так и в городском жилищном и промышленном строительстве.

Широко применяется черепица следующих типов:

- пазовая штампованная с одинарным или двойным боковым и поперечным закраями и с двумя шипами;
- пазовая ленточная с одинарным или двойным боковым закраем с одним или двумя шипами;
- плоская ленточная с одним или двумя шипами;
- коньковая (желобчатая) с одинарным закраем для перекрытия коньков крыш.

По своей структуре черепица должна быть более плотной, чем кирпич, не должна пропускать влаги, быть морозостойкой и механически прочной. Сырьем для черепицы служат легкоплавкие, хорошо спекающиеся, достаточно пластичные и малочувствительные к сушке глины.

Черепицу изготавливают только способом формования. Предварительно подготавливают так называемую *валюшку*. Массу тщательно перерабатывают, мелкие каменистые включения удаляют на камневыделительных вальцах, глину проминают на бегунах. Обжиг черепицы проводят в тех же печах, что и кирпич, при температуре 1100 °С. Часто практикуют комбинированную укладку черепицы с кирпичом, причем черепицу обжигают в верхних рядах печи.

На Палемонасском керамическом заводе (г. Каунас, Литва) впервые в мировой практике освоено производство черепицы с добавкой шламов от очистки сточных вод гальванических производств, в основном состоящих из гидроксидов железа и содержащих в небольших количествах хром, медь, цинк, олово и другие металлы. Черепица при этом получается более высокого качества за счет присутствия железа. Однако самым главным является то, что высокотоксичные шламы гальванических производств переводятся в безвредную форму оксидов, силикатов, алюминатов, ферритов и т. д., практически не растворимых в воде, т. е. решается важнейшая экологическая задача защиты окружающей среды от тяжелых металлов.

9.8. КЕРАМЗИТ И АГЛОПОРИТ

Керамзит и аглопорит условно относят к керамическим материалам, поскольку сырьевые материалы и способы их получения, в том числе термическая обработка, подобны тем, которые применяются в технологии производства строительной керамики из легкоплавких глин. В настоящее время керамзит и аглопорит получают в огромных количествах.

Керамзитом называют искусственный пористый материал ячеистого строения, получаемый путем обжига. Размер керамзитовых гранул (зерен) обычно не превышает 40 мм. Зерна с меньшим размером называют керамзитовым гравием или щебнем, а материал с зернами меньше 5 мм — керамзитовым песком. Керамзит применяют в качестве заполнителя для теплоизоляционных и конструктивных бетонов, а также для теплоизоляционных засыпок.

Технология производства керамзита состоит из следующих основных операций:

- подготовка сырья;
- приготовление гранул и подготовка их к обжигу;
- обжиг и охлаждение гранул;
- рассев материала на фракции с дроблением крупных кусков до требуемого размера.

Обжиг гранул имеет особенности. В обжигаемом глинистом материале при различных температурах протекают сложные физико-химические процессы: дегидратация, выгорание органических добавок, диссоциация, взаимодействие между компонентами глины, реакции

окисления-восстановления и другие процессы, образование расплава и размягчение материала.

При быстром обжиге материала температурные интервалы, в которых протекают эти процессы, сближаются и накладываются один на другой. В результате процессы газообразования совмещаются с размягчением материала — он достигает определенной вязкости, при которой происходит вспучивание глины. При этом важно, чтобы к моменту интенсивного газовыделения произошло спекание поверхностного слоя гранул с образованием закрытых пор. В противном случае газы удаляются, не вспучивая материал. Продолжительность обжига обычно составляет 30–60 мин при температуре 1150–1250 °С.

В настоящее время проведены успешные испытания использования для производства керамзита нерегенерируемых масел и смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ или эмульсол), широко применяемых в машиностроении и являющихся многотоннажными токсичными отходами. При этом полезно используются отходы машиностроительных производств и, соответственно, уменьшается загрязнение сточных вод этими продуктами.

Аглопоритом называют искусственный пористый зернистый материал ячеистой структуры. Он получается термической обработкой на решетчатых агломерационных машинах глинистых пород и отходов от добычи, обогащения и сжигания углей. Аглопорит состоит в основном из стекла различного состава и является высококачественным наполнителем для армированных и неармированных легких бетонов.

Технологическая схема производства аглопорита состоит:

- из подготовки шихты необходимой газопроницаемости;
- загрузки шихты на решетку агломерационной машины;
- термической обработки шихты при 1400–1700 °С за счет сжигания топлива (специально введенного или имеющегося в шихте) с поверхности при одновременном просасывании воздуха сверху вниз;
- охлаждения получаемого бруса или гранул;
- дробления охлажденного продукта;
- сортировки аглопорита по фракциям.

Санитарно-технические изделия. В гражданском и промышленном строительстве в больших количествах требуются **санитарно-технические изделия**: умывальники, унитазы, сливные бачки и другие изделия из фаянса и полуфарфора.

Технологическая схема поточного производства санитарно-технических изделий значительно сложнее, чем получение кирпича, черепицы, керамзита и аглопорита. В качестве сырья для фаянсовых и полуфарфоровых изделий применяют огнеупорные глины (20–30%), каолины (25–32%), кварцевый песок (25–30%), обожженный бой изделий (6–16%), плавни (до 20%).

В полуфарфоровые массы для лучшего спекания материала вводят большое количество **плавней** (легкоплавкие материалы). Формуют

изделия на конвейерах методом литья водных суспензий (*шликера*) в гипсовые формы с последующей сушкой полуфабриката, нанесением *глазури* и обжигом при 1240–1280 °С. В состав глазури входят кварц, полевой шпат, мел, мрамор, доломит, сода, поташ, бура, соединения свинца и бария. При обжиге глазурь образует на поверхности изделия тонкий стекловидный слой, повышающий техническое и декоративное качество изделий.

9.9. СТЕКЛО

Стекло — это вещество, полученное при остывании расплава в виде изотропного, хрупкого, прозрачного или просвечивающегося тела. В отличие от кристаллических плит, плавящихся при нагревании, стекло при повышении температуры постепенно размягчается вплоть до образования расплава, при этом его свойства постепенно изменяются. Переход стекла из жидкого состояния в твердое — обратимый процесс. Затвердевшее стекло, будучи переохлажденной системой, находится в состоянии неустойчивого равновесия и при определенных температурных условиях может закристаллизоваться [32].

Количество сортов стекол (по химическому составу) исчисляется сотнями. Стекло широко применяется в качестве строительного материала, например в виде стеклянных блоков. Такие блоки обладают комплексом ценных для строительного материала свойств: малым объемным весом, высокой прочностью, высокими тепло- и звукоизоляционными качествами. *Стеклопластик*, в которых стекловолокно и стеклянные пленки сочетаются с различными связующими органическими материалами, в ряде случаев не уступают по прочности стали и при этом легче ее более чем в четыре раза. Из стеклопластиков изготавливают корпуса кораблей, кузова автомобилей, цистерны, строительные детали (в том числе прозрачные), разнообразные детали машин и т. д. Стеклопластики заменяют дерево, цветные и черные металлы и по своим свойствам часто превосходят эти материалы. Именно поэтому их нередко называют «незаменимыми заменителями».

Каждый знает, что основным недостатком стекла является его хрупкость. Однако уже сейчас достигнуты поразительные успехи в повышении прочности стекла. Методами термохимического упрочнения удается повысить сопротивление стекла статическому изгибу до 200 кг/мм². Широко распространено производство закаленного стекла, применяемого наряду с многослойным стеклом для остекления автомашин и самолетов в качестве «*безопасного*» стекла. Физические свойства стекла в основном определяются химическим составом компонентов, условиями варки стекла и последующей термической обработкой.

Технология производства стекла включает следующие основные процессы:

- подготовку сырьевых материалов;

- смешение этих материалов и приготовление однородной шихты;
- варку стекла;
- формование и обжиг стекла.

В некоторых случаях требуется химическая, механическая и термическая обработка изделий.

Сырьевые материалы, применяемые в производстве стекла, делятся на *главные стеклообразующие* материалы (чистый кварцевый песок, сода, поташ, сульфат натрия, известняк, доломит, борная кислота или бура, фосфорная кислота или фосфаты, чистый глинозем или каолин, полевопшпат, сурик, оксид цинка и др.) и *вспомогательные* материалы (красители, обесцвечивающие вещества, окислители, восстановители, осветлители). В качестве красителей применяют соединения металлов: оксиды кобальта, никеля, железа, хрома, марганца, меди, урана, селена, сернистый кадмий, хлорное золото и др. *Обесцвечивающими* веществами являются: селен, оксид кобальта и марганца. В качестве окислителя в стекольную шихту вводят натриевую или калиевую селитру, мышьяковистый ангидрит, пероксид марганца. *Восстановителями* служат: уголь, кокс, виннокаменные соли, соединения олова. Для получения матового «*молочного*» стекла применяют фторсиликат натрия, а также соли фосфорной кислоты с соединениями олова. Для облегчения удаления из стекломассы газовых пузырьков применяются *осветлители*: нитрат и сульфат аммония, хлорид натрия и др.

Стекольная шихта должна быть однородной, поскольку от этого зависит качество стекломассы. Поэтому сырьевые материалы предварительно измельчают, просеивают и тщательно перемешивают.

Варка строительного стекла проводится в ваннных печах и подразделяется на собственно варку, осветление, гомогенизацию и охлаждение (так называемую *студку* стекла).

Процесс стеклообразования начинается при 1200–1240 °С. Для шихт, содержащих кремнезем, углекислые кальций, магний и натрий, процессы, протекающие между компонентами шихты при нагревании, можно представить следующей схемой:

<300 °С	$\text{MgCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{MgNa}_2(\text{CO}_3)_2$,
<400 °С	$\text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{CaNa}_2(\text{CO}_3)_2$,
340–620 °С	$\text{MgNa}_2(\text{CO}_3)_2 + 2\text{SiO}_2 \rightarrow \text{MgSiO}_3 + \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{CO}_2$,
450–700 °С	$\text{MgCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{MgSiO}_3 + \text{CO}_2$,
585–900 °С	$\text{CaNa}_2(\text{CO}_3)_2 + 2\text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{CO}_2$,
912 °С	полное разложение $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$,
700–900 °С	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2$,
600–920 °С	$\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$,
980–1150 °С	$\text{MgO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{MgSiO}_3$,
1010–1150 °С	$\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3$,
1200–1240 °С	стеклообразование.

Варка стекла обычно производится при 1400–1450 °С, осветление и гомогенизация — при 1500 °С, студка — при 1200 °С. Проварившаяся стекломасса, как правило, содержит большое число видимых газовых пузырьков, удаление которых происходит при максимальной температуре и минимальной вязкости.

Формование изделий из стекла почти полностью механизировано. Ручное формование применяется только при изготовлении изделий сложной конфигурации и некоторых бытовых и художественных изделий. В зависимости от химического состава стекломассы формование стеклоизделий производится при 800–1100 °С.

Существуют следующие методы формования стеклянных изделий:

- вытягивание (листовое оконное и трубчатое стекло);
- прокатка (толстое зеркальное листовое стекло);
- прессование (плитка, изоляторы, стаканы, вазы);
- выдувание (бутылки, склянки, плафоны);
- прессовывдувание (консервная тара, осветительная арматура).

Для осуществления каждого из этих методов формования применяются разные приспособления и различные по своей конструкции и принципу действия машины.

9.10. СИТАЛЛ И ШЛАКОСИТАЛЛ

Ситаллами называются кристаллические материалы, получаемые при введении в расплавленное стекло катализаторов, в результате чего в объеме материала возникают центры кристаллизации, на которых происходит рост кристаллов основной фазы. Термин «ситаллы» предложен профессором РХТУ им. Д. И. Менделеева И. И. Китайгородским и происходит от слов «стекло» и «кристалл».

В зависимости от состава стекла, типа катализатора и режима термической обработки из одного и того же состава стекла можно получить ситаллы с различными кристаллическими фазами, а следовательно, и с различными заранее заданными свойствами. Ситаллы могут быть также получены из расплава стекол на основе огненно-жидких и металлургических шлаков.

Разработка теоретических основ синтеза и промышленной технологии нового класса стеклокристаллических материалов — *шлакоситаллов* явилась одним из крупных достижений в области химической технологии строительных материалов. Ученые РХТУ им. Д. И. Менделеева, Государственного института стекла (в настоящее время — ОАО «Институт стекла») совместно с работниками Константиновского завода «Автостекло» (Украина) и НИИ Автостекло (ОАО «Украинский институт стекла») впервые в мировой практике разработали технологию и в короткие сроки внедрили в промышленном масштабе производство листового шлакоситалла методом непрерывного проката и прессованных шлакоситалловых плиток.

Составы шлаковых стекол определяются видом используемого шлака. Пределы изменения химического состава стекол, предназначенных для получения шлакоситаллов, сравнительно невелики. Основной корректирующей добавкой в большинстве случаев является обычный песок. В зависимости от вида шлака стекла могут принадлежать к системам:

- $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (константиновский шлак от производства чугуна);
- $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (высокомагнезиальные шлаки Урала и Сибири);
- $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{FeO})-\text{SiO}_2$ (топливные шлаки и золы).

Практически во все шлаковые стекла вводится щелочной оксид в количестве 3–5%. Основой шихты для получения шлакоситалла служит измельченный доменный шлак (до 60%), песок (35–40%) и некоторые другие добавки. Во всех составах шлакоситаллов присутствует фтор (до 2,5%). Специально вводимые добавки соединений фтора существенно понижают температуру кристаллизации и устраняют температурный разрыв между процессами образования зародышей и роста основной фазы (*волласанита*) в шлакоситаллах. Температура кристаллизации шлакоситалла составляет 930–980 °С.

С помощью специальных добавок можно получать шлакоситаллы черного, белого, голубого и других цветов. Прочность шлакоситаллов на изгиб достигает 2500 кг/см². Шлакоситаллы обладают исключительно высокой износоустойчивостью, а также химической и термической стойкостью.

Хорошие физико-механические и физико-химические свойства шлакоситалла, в первую очередь, его износостойкость и химическая устойчивость, в сочетании с декоративностью делают шлакоситаллы ценнейшим строительным материалом для объектов культурно-бытового и промышленного назначения. Только в Москве шлакоситалл нашел применение при строительстве таких известных объектов, как павильон «Металлургия» во Всероссийском выставочном центре (ВВЦ), аэропорт «Шереметьево», универмаг «Москва», центральный городской аэровокзал и т. д.

9.11. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одна из основных экологических проблем производства строительных материалов связана с громадными объемами производства, добычей и переработкой свыше 2 млрд тонн природных материалов. В результате происходит широкомасштабное *отчуждение, нарушение и загрязнение сельскохозяйственных угодий*, поскольку сырье для строительных материалов в целях уменьшения транспортных расходов, как правило, добывается как можно ближе к району строительства. Один из путей

решения проблемы заключается в рекультивации нарушенных земель, устройстве прудов на месте карьеров и их использовании для культурных целей, рыборазведения и т. д.

Использование отходов горнодобывающих и перерабатывающих отраслей в качестве сырья

Это генеральное направление промышленности строительных материалов. По ориентировочным подсчетам в стране ежегодно образуется свыше 3 млрд тонн горных отвалов, включающих все основные компоненты сырья, используемого в производстве стройматериалов. Находят применение лишь 6–7%, причем большая часть — для планировки территорий, подсыпки дорог и в значительно меньшем объеме — для производства строительной керамики и других стройматериалов.

Только доменные шлаки широко используются в производстве строительных материалов. В конце 1980-х гг. из 51 млн тонн доменных шлаков 37 млн тонн было использовано, а 14 млн тонн поступили в отвалы. Из использованных 37 млн тонн: 26 — гранулировались и основная масса использовалась для производства шлакопортландцемента, 6 — перерабатывались в шлаковую пемзу, шлакоблоки, минеральную вату, щебень и другие материалы и около 5 млн тонн передавались строительным и другим организациям для непосредственного (без предварительной обработки) использования в качестве добавки к бетону, для теплоизоляционных засыпок, устройства основания дорог, производства местного вяжущего и т. д.

По оценке научно-исследовательских институтов, около 67% вскрышных пород пригодны для производства строительных материалов. Из этого количества отходов для производства щебня пригодно 30%, цемента — 24%, керамических материалов — 16% и силикатных — 10%.

В целом промышленность строительных материалов как никакая другая отрасль может и должна организовать свою сырьевую базу за счет отходов горнодобывающих и перерабатывающих отраслей народного хозяйства. Пока использование вскрышных пород Курской магнитной аномалии (КМА) не превышает 8%, хотя и в этом случае экономический эффект от их реализации ежегодно увеличивается.

Снижение образования и выделения пыли

Другой серьезнейшей экологической проблемой предприятий строительной индустрии является значительное *пылевыведение*, особенно на заводах по производству цемента. Около 20% производимого цемента выбрасывается в трубу, если не работает пылеочистка. Больше всего пыли выделяется с отходящими газами из вращающихся печей. Наряду с этим в больших количествах пыль выделяется при дроблении, сушке и помоле сырья, а также при охлаждении клинкера, при

упаковке, в процессе погрузочно-разгрузочных работ на складах сырья, угля, клинкера и различных добавок. Это происходит и в производстве керамики, стекла и других строительных материалов.

Для снижения образования и выделения пыли, в первую очередь за счет уменьшения неорганизованных выбросов, необходимо обеспечить полную **герметизацию** производственных агрегатов и транспортных средств и создать внутри аппаратов **разрежение**. Для уменьшения пылеобразования, кроме герметизации заводской аппаратуры, целесообразно уменьшать высоту падения пылящих материалов, увлажнять пересыпаемые и транспортируемые материалы. Все газы, отсасываемые дымососами из вращающихся печей и сушильных барабанов, а также воздух, отбираемый вентиляционными установками, должны направляться в пылеуловительные устройства. Здесь из них выделяется пыль, которая затем возвращается в производство. Очищенные газы, выбрасываемые в атмосферу, должны соответствовать санитарным нормам. На заводах предусматривается отсос воздуха из всех пылеобразующих агрегатов, в том числе бункеров, течек, дробилок, транспортеров и т. д. В помещениях организуется естественная и принудительная вентиляция.

В пылеулавливающих аппаратах на предприятиях по производству строительных материалов применяются все основные «сухие» методы очистки запыленных газов. От их технического состояния и уровня обслуживания в основном зависит содержание пыли в воздухе производственных помещений и в атмосфере населенных мест.

Определенную сложность представляет очистка отходящих газов различных сушильных, обжиговых и стекловарочных печей от оксидов серы, азота, соединений фтора и других вредных компонентов.

Рециркуляция газов

Широко разрабатываются и находят применение технологические процессы с **рециркуляцией** газов, например, в производстве асбеста. Система работает следующим образом: аспирационный воздух, собранный от многих точек, проходит глубокую очистку от асбестовой пыли на рукавных тканевых фильтрах специальной конструкции, разбавляется в случае необходимости атмосферным воздухом, а затем с помощью нагнетательных вентиляторов вновь распределяется по цеховым помещениям. В процессе многократной циркуляции воздух постепенно нагревается за счет тепла от работающего оборудования, благодаря чему в зимнее время в рабочих помещениях поддерживается комнатная температура без дополнительных затрат тепла.

По санитарным нормам концентрация асбестовой пыли в рабочей зоне производственных помещений допускается не более $0,6 \text{ мг/м}^3$ воздуха. Это примерно в 30–40 раз ниже, чем достигается при очистке на обычных промышленных тканевых фильтрах, и в 100–200 раз ниже,

чем на электрофилтрах. Для снижения содержания асбестовой пыли в очищенном воздухе в данном случае применяется принцип так называемой «автофилтрации», т. е. использование слоя самого асбестового волокна в качестве дополнительного фильтрующего агента. При этом остаточная запыленность не превышает $0,3\text{--}0,4 \text{ мг/м}^3$. Все это позволило резко уменьшить заболеваемость обслуживающего персонала, получить дополнительную продукцию (уловленный асбест) и экономить тепло для обогрева производственных помещений.

Создание рациональных систем водопользования

Предприятия строительной индустрии потребляют значительное количество воды. Она расходуется непосредственно в технологических процессах, на обогащение сырья, гидромеханическую добычу и шлифовку, полировку, промывку изделий, а также на нужды котельных, пылеподавление, уборку помещений и территории и т. д. Из всего объема воды, потребляемой промышленностью строительных материалов, 28% расходуется на технологические процессы, 14% — на охлаждение оборудования, 42% — на промывку оборудования и обогащение сырья и 16% — на прочие нужды. Основными потребителями воды являются цементная промышленность и промышленность нерудных строительных материалов. На их долю приходится соответственно 34% и 29% воды, используемой предприятиями промышленности строительных материалов. Значительное количество воды потребляют стекольная промышленность (8%), предприятия по производству санитарно-технического оборудования и изделий (3%), асбестовых изделий (1,8%) и силикатного кирпича (1,6%).

Объем сточных вод, поступающих от предприятий промышленности строительных материалов в городскую канализацию и водоемы, составляет около $650 \text{ млн м}^3/\text{год}$. В результате в водоемы ежегодно поступают высокотоксичные соединения шестивалентного хрома, фенолов, щелочей и нефтепродуктов, до 280 тыс. тонн солей, 28 тыс. тонн минеральных и 4 тыс. тонн органических веществ. Такое большое количество загрязнений, сбрасываемых со сточными водами предприятий строительной индустрии, объясняется недостаточно высокой эффективностью применяемых очистных сооружений и нерациональными схемами водного хозяйства. Доля повторно использованной воды (коэффициент водооборота) в целом по отрасли составила 49%; наиболее высокий водооборот в 58% был достигнут в цементной и стекольной промышленности.

Эколого-экономические факторы привели к необходимости разработки рациональных систем водопользования на предприятиях промышленности строительных материалов, в том числе к созданию замкнутых систем водного хозяйства. Примером решения проблемы рационального использования ресурсов является замкнутая система про-

мышленного водоснабжения асбестоцементного производства, разработанная Новороссийским научно-исследовательским и проектным институтом по газоочистным сооружениям, технике безопасности и охране труда в промышленности строительных материалов (НИПИОТСтром, в настоящее время — ОАО «НПО Стромэкология»).

Исследование образования сточных вод показало, что источником загрязнения вод этого производства является водорастворимая составляющая цемента, используемого в качестве сырья для изготовления асбестоцемента. В зависимости от состава цемента количество сульфатов и гидроксидов калия, натрия и кальция в сточных водах колеблется от 5 до 30 кг/м³. Такая загрязненность сточных вод в случае их повторного применения отрицательно сказывается на качестве выпускаемой продукции. Применение методов обессоливания приводит к нерентабельности повторного использования сточных вод. Замкнутая система промышленного водопользования может быть более простой и дешевой, если применять цемент с содержанием натрия и калия не более 0,1 и 0,2%. Такой цемент имеется. Тогда водорастворимые примеси, вносимые цементом в сточные воды, полностью удаляются с товарной продукцией, не ухудшая ее технологических свойств.

Препятствием для повторного использования сточных вод является также загрязнение их в значительном количестве грубодиспергированными примесями. Для достижения требуемого содержания взвешенных веществ (100 мг/л) разработан метод очистки в напорных гидроциклонах. Применение этих циклонов позволяет кроме воды возвращать в технологический цикл и цемент, что сокращает потери сырья.

Большие количества сточных вод образуются в промышленности *нерудных* строительных материалов, например песка и щебня. Сточные воды после промывки материалов содержат 50–160 г/л механических примесей, в том числе 48–84% песка и 16–52% пылевидных и глинистых частиц. По технологическим нормам содержание взвешенных веществ в воде, поступающей на промывку, не должно превышать 2 г/л.

Загрязненный поток сточных вод после промывки щебня на вибрационных грохотах направляется в гидроциклоны для выделения песка, который затем обезвоживается в классификаторе и передается на склад готовой продукции. Верхний слив из гидроциклонов и классификатора обрабатывается коагулянтном и направляется в гидроциклоны. Осадок от гидроциклонов в количестве 10–20% от расхода очищаемых сточных вод перекачивается в шламонакопители, а осветленная вода направляется на повторное использование.

Замкнутые водооборотные системы разрабатываются и для других предприятий производства строительных материалов.

В целом промышленность строительных материалов не имеет принципиальных технических и технологических препятствий для организации своей деятельности по безотходной технологии.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные экологические проблемы производства строительных материалов.
2. Чем различаются технологии получения красного и силикатного кирпича и какое это имеет значение при утилизации отходов?
3. Назовите основные составляющие гидравлических вяжущих.
4. Какие показатели определяют свойства цемента?
5. В чем отличие керамзита от аглопорита?
6. Что такое «шлакоситалл» и как его производят?
7. Что такое «клинкер»?
8. Что такое «пушонка» и «кипелка»?
9. Расшифруйте C_3A и C_3S .
10. Что означает (расшифруйте) C_4AF ?
11. Какие причины мешают широкому внедрению замкнутых водоборотных систем в производстве строительных материалов?
12. Какие причины мешают широкому использованию отходов горнодобывающих отраслей для производства строительных материалов?

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ПРОИЗВОДСТВО НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

В химии нет отходов, а есть
неиспользованное сырье.

Д. И. Менделеев

Химическая промышленность — одна из ведущих отраслей тяжелой индустрии. Ассортимент химической продукции насчитывает десятки тысяч наименований. Наиболее крупнотоннажные отрасли — это производство кислот, солей, аммиака, соды, минеральных удобрений и некоторых других продуктов. Без удобрений и химических средств защиты растений человечество не может прокормиться, обеспечить себя продуктами питания [33].

10.1. КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ

Сырьем для получения фосфорных удобрений и других соединений фосфора служат апатитовые и фосфоритовые руды. Основным полезным соединением фосфатных руд является $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, входящий в состав минералов апатитовой группы с общей формулой $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \times \text{CaX}_2$, где X может быть F^- , Cl^- или группа OH^- .

Общее мировое потребление фосфатного сырья в настоящее время составляет более 150 млн тонн в год, из них около 90% расходуется на производство удобрений, кормовых добавок и пестицидов. Фосфор, как известно, является одним из основных элементов жизни и связан с энергообменом в клетке. Разведанные мировые запасы фосфатного сырья составляют около 26 млрд тонн, в том числе в России около 8 млрд тонн. Прогноз показывает, что разведанных запасов фосфора будет достаточно не более чем на 150 лет. Поэтому ученые уже сейчас думают о более рациональном использовании имеющихся фосфатных руд и возможности их добычи из мирового океана в будущем.

Апатитовый концентрат является основным сырьем для получения большинства фосфорных удобрений в нашей стране. Его получают из апатитонефелиновых руд Хибинского месторождения, которые методом *флотации* разделяют апатитовую и нефелиновую фракции.

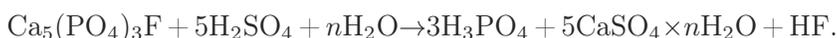
Химический состав хибинского фторапатита (%): CaO — 55,5; P_2O_5 — 42,3; F — 3,8.

В структуре минерала кальций изоморфно замещается стронцием, марганцем, кадмием, церием, иттрием и другими элементами. Апатит перерабатывают, разлагая его минеральными кислотами. Наиболее широко распространен серно-кислотный способ вскрытия апатита, позволяющий использовать более 90% фосфора и до 50% фтора. В ряде

случаев для разложения применяют смесь серной и азотной кислот или только азотную кислоту. Редкоземельные элементы и стронций, замещающие кальций, извлекаются при азотно-кислом вскрытии фосфатного сырья. Разложение апатита серной и азотной кислотами или их смесью дает возможность получать как простые, так и сложные фосфорные удобрения: суперфосфат, двойной суперфосфат, аммофос, нитрофоску и др.

Одной из основных стадий производства сложных удобрений является получение **фосфорной** кислоты.

Экстракционную фосфорную кислоту (ЭФК) получают разложением апатита или фосфорита серной кислотой с образованием фосфорной кислоты и фосфогипса по реакции:



Выделяющийся в результате реакции HF далее взаимодействует с соединениями кремния и водой с образованием SiF_4 в газовой фазе и H_2SiF_6 — в жидкой.



Рис. 10.1. Принципиальная технологическая схема производства экстракционной фосфорной кислоты в дигидратном режиме

В зависимости от условий проведения процесса различают *дигидратный* метод получения ЭФК ($n = 2$), *полугидратный* ($n = 0,5$) и *ангидридный* ($n = 0$). В промышленности нашли распространение первые два метода, причем дигидратный встречается чаще. Принципиальная технологическая схема производства ЭФК в дигидратном режиме представлена на рис. 10.1.

Нейтрализацией ЭФК аммиаком с последующей упаркой, сушкой и грануляцией получают наиболее распространенное сложное удобрение — *аммофос*, смешением его с KCl — *аммофоску*.

Наиболее полно все компоненты фосфатного сырья используются при азотно-кислотной переработке (рис. 10.2).

Помимо получения фосфорных удобрений, при переработке фосфатного сырья утилизируют соединения фтора (это вызвано в первую

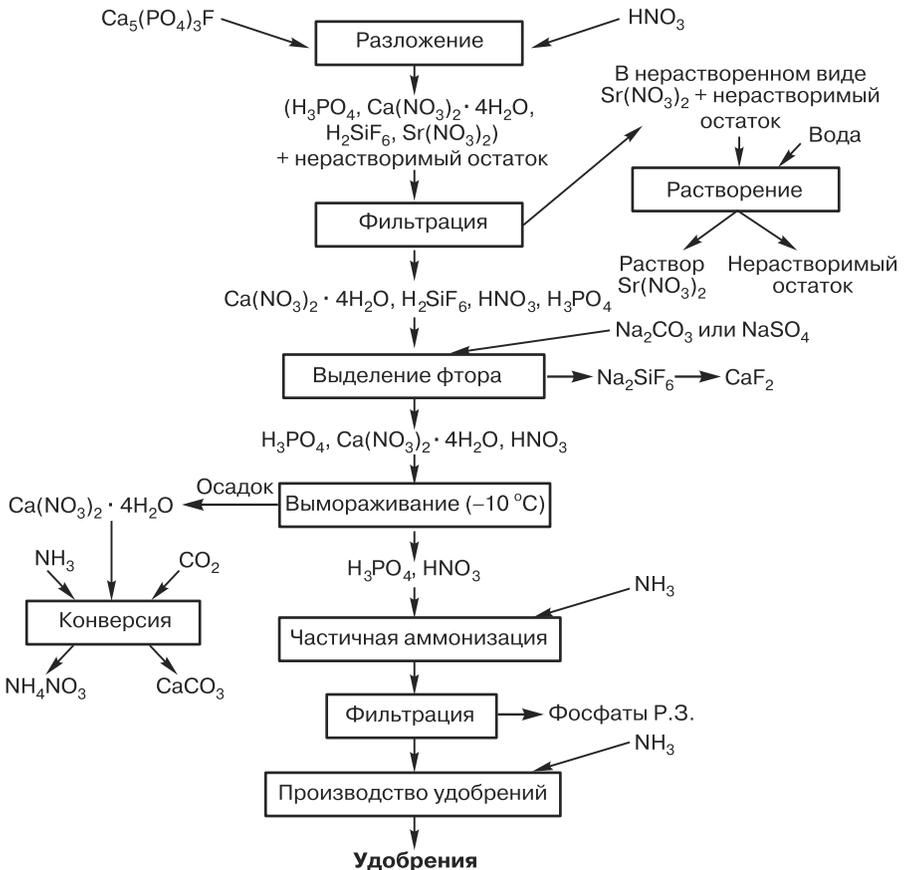


Рис. 10.2. Технологическая схема азотно-кислотной переработки апатита: (Р.З. — редкоземельные элементы)

очередь санитарными требованиями ввиду высокой токсичности всех соединений фтора, особенно газообразных) и фосфогипс. Полностью извлекать фтор из апатита не удастся, и полезно используется только 30–50% от его общего содержания. Фтор извлекается:

– путем улавливания фтора из газовой фазы на стадии получения ЭФК и ее упаривания;

– осаждением в виде фторсиликата натрия или калия из ЭФК.

С производством экстракционной фосфорной кислоты связано образование одного из самых крупнотоннажных отходов химической промышленности — *фосфогипса*. Он представляет собой дигидрат сульфата кальция и содержит ряд примесей, в том числе фосфаты и фториды.

Промышленной практикой доказаны техническая возможность и экономическая целесообразность использования фосфогипса в следующих направлениях:

– в сельском хозяйстве для химической мелиорации солонцовых почв вместо природного гипса;

– в цементной промышленности в качестве минерализатора при обжиге и как добавка к цементному клинкеру при помоле;

– для производства гипсовых вяжущих и изделий из них;

– для получения цемента;

– для получения серной кислоты, извести и т. д.

В промышленном масштабе фосфогипс также перерабатывается на сульфат аммония и мел.

10.2. КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА КАЛИЙНОГО СЫРЬЯ

Природным источником калия служат руды, главными минералами которых являются сильвинит, карналлит, нефелин и некоторые другие.

Мировые запасы калийного сырья оцениваются в 131,4 млрд тонн (в пересчете на K_2O). Наша страна обладает крупнейшими в мире запасами калийных солей, составляющими около 50 млрд тонн. Из них самым значительным является Верхнекамское месторождение. Большие запасы калийных солей сосредоточены также в Республике Беларусь (около г. Минск) и в Прикарпатье (Украина). Все они, как правило, являются комплексным сырьем. Так, средний состав *сильвинитовых руд* в России, % (масс.): 24–33 KCl , 61–71 $NaCl$, 0,2–0,3 $MgCl_2$, 1,3–1,7 $CaSO_4$. Содержание *нерастворимого остатка* (н. о.) — глины, сульфата и карбоната кальция и т. д. в калийных рудах может составлять от десятых долей до десяти и более процентов. Сильвинитовая руда Верхнекамского месторождения содержит до 2,5% н. о., а Старобинского (Республика Беларусь) — до 10–12% н. о.

Таким образом, состав калийных руд при организации комплексной переработки сырья предопределяет необходимость рационального и наиболее полного использования, по крайней мере, четырех основных компонентов: калия, натрия, магния, хлора.

Основным целевым продуктом калийной промышленности является **хлорид калия** (KCl), который может служить как в качестве самостоятельного удобрения, так и сырьем для получения **калиевых солей**: сульфата, карбоната, нитрата и др. Кроме этого, соли калия входят в состав некоторых сложных удобрений, например нитроаммофоски и аммофоски (NPK удобрения), содержащих три питательных элемента: фосфор, азот и калий.

В нашей стране добыча сильвинитовых руд осуществляется шахтным методом, а их переработка в хлорид калия — галургическим и флотационным методами. Принципиальная схема **галургического** метода представлена на рис. 10.3. Метод основан на различной растворимости хлоридов калия и натрия в воде в зависимости от температуры. Выход KCl по этой технологии составляет 85,9%.

Флотационный метод основан на различной смачиваемости кристаллов KCl и $NaCl$ в присутствии флотореагентов, увеличивающих селективность их разделения. Выбор технологической схемы зависит от состава руды и наличия в ней нерастворимого остатка. Выход KCl при флотационном методе составляет 84,5%.

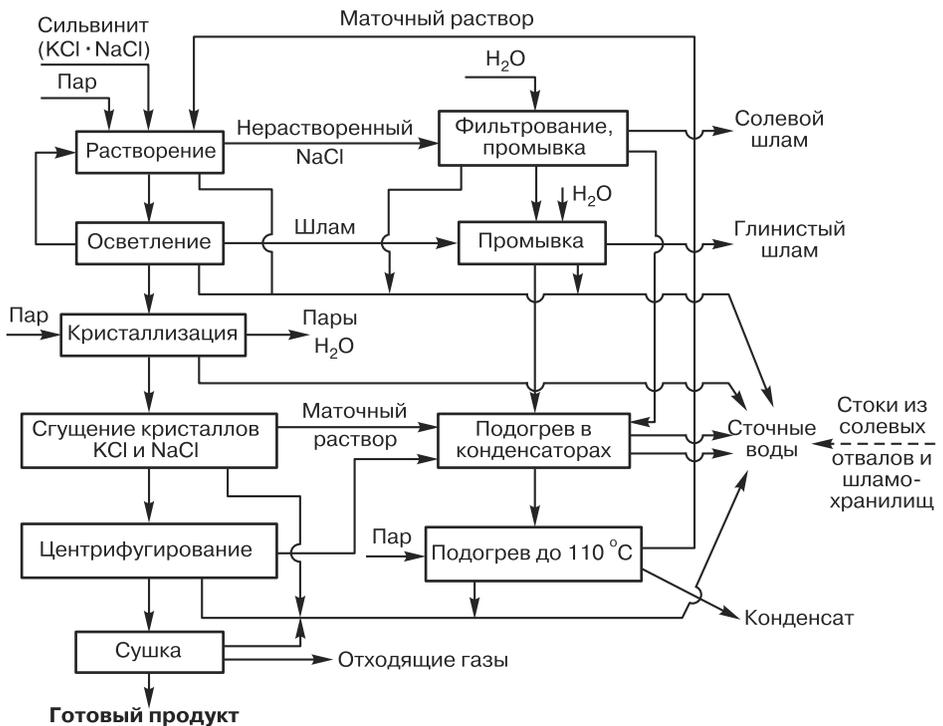


Рис. 10.3. Принципиальная схема получения хлорида калия галургическим методом

Выделение сильвинита связано с образованием значительных по объему *галитовых* (NaCl) *отходов* и жидких глинисто-солевых шламов, складываемых в солеотвалах и шламонакопителях. При получении 1 т KCl в отвал поступает 2,5–3,0 т галитовых отходов (влажностью до 10–12%) и 0,3 т нерастворимого остатка в виде шламосолевой пульпы с отношением жидкого к твердому (Ж:Т), равным 1,7:2,5.

К настоящему времени в солеотвалах накоплено более 130 млн тонн галитовых отходов, а в шламонакопителях — до 20 млн тонн глинисто-солевых шламов. Общая площадь земель, занятых ими, превышает 500 га.

Количество складываемых галитовых отходов можно уменьшить реализацией следующих мероприятий:

- широкое использование галита в различных отраслях народного хозяйства в качестве вторичных минеральных сырьевых ресурсов: в химической промышленности (производство едкого натра и хлора), в энергетике, в дорожном и коммунальном хозяйстве, в производстве кормовой и пищевой поваренной соли и других отраслях;

- утилизация всех шламовых отходов, например в промышленности строительных материалов, для производства глинисто-солевых порошков, применяемых при бурении, в качестве удобрений добавок к торфяным и песчаным почвам и др.

Наиболее перспективным и экономически целесообразным направлением использования галитовых отходов является производство технического хлорида натрия с последующим получением едкого натра и хлора в химической промышленности и поваренной соли в пищевой. В первую очередь можно перерабатывать на поваренную соль (пищевую или техническую) галлитургические галитовые отходы, так как галитовые отходы, получаемые по флотационной схеме обогащения, менее пригодны к утилизации из-за дорогостоящего процесса очистки их от аминов, применяемых при флотации. В связи с этим предусматриваются их возврат и закладка в выработанное шахтное пространство.

10.3. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВ ВАЖНЕЙШИХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ

Производство серной кислоты

Ни одна отрасль промышленности практически не может обойтись без серной кислоты. Особенно широко она применяется в химической промышленности.

Серную кислоту получают различной концентрации и качества. В нашей стране установлен стандарт на серную кислоту и *олеум* (раствор серного ангидрида в серной кислоте). Выпускаемые промыш-

ленностью **контактная серная кислота** и олеум содержат соответственно 92,5–94% H_2SO_4 и 18,5–20% SO_3 (в серной кислоте).

Для производства серной кислоты используется довольно широкий ассортимент сырья. Так, наряду с серным колчеданом применяют серу, отходящие серосодержащие газы цветной металлургии, сероводород, отработанную серную кислоту и др.

Серный колчедан может содержать примеси соединений меди, цинка, свинца, мышьяка, никеля, кобальта, селена, висмута, теллура, кадмия, фтора, а также золото и серебро. Содержание селена составляет до 220 г/т, золота до 4 г/т, серебра до 40 г/т, мышьяка до 0,4%, фтора до 0,2%.

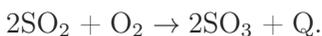
Наиболее ценным сырьем для получения серной кислоты является **элементарная сера**. При ее сжигании образуется концентрированный газ, содержащий незначительные количества примесей мышьяка. При обжиге серы не остается огарка, поэтому схема переработки этого вида сырья на серную кислоту упрощается и является более экономичной. В настоящее время до 50% всей элементарной серы, получаемой в мире, расходуется на производство серной кислоты.

Серную кислоту получают из сернистого ангидрида (SO_2) путем окисления его кислородом и последующего присоединения воды по реакции:



В обычных условиях окисление сернистого ангидрида протекает очень медленно, поэтому в промышленности для ускорения процесса эту реакцию проводят на катализаторах или в качестве передатчика кислорода применяют оксид азота. В зависимости от этого различают контактный и нитрозный (башенный) способы производства серной кислоты. Удельный вес серной кислоты, получаемой нитрозным способом, в общем объеме ее производства составляет менее 5% и продолжает уменьшаться.

Сущность **контактного** способа состоит в том, что сернистый ангидрид окисляется до серного в присутствии катализатора при высокой температуре (440–550 °С). Процесс окисления сернистого ангидрида на катализаторе протекает с выделением тепла:



Наиболее полно производство контактной серной кислоты отражает классическая технологическая схема, в которой исходным сырьем служит колчедан. Эта схема включает четыре основные стадии:

- получение сернистого ангидрида;
- очистку газа, содержащего сернистый ангидрид, от примесей;
- окисление сернистого ангидрида до серного на катализаторе;
- абсорбцию серного ангидрида водой.

Основными направлениями создания экологически обоснованного (малоотходного и безотходного) производства серной кислоты являются:

- максимально возможное улавливание SO_2 и, следовательно, минимально возможное загрязнение им атмосферы;
- использование всех компонентов сырья — селена, меди, драгоценных металлов, железа и т. д.

В колчеданах, применяемых для производства серной кислоты, содержится 0,002–0,02% *селена*, соединения которого находят все более широкое применение в различных областях промышленности: в производстве выпрямителей переменного тока, фотоэлементов, стекольной промышленности, телевидении. Отходы переработки колчедана — основной источник получения селена в нашей стране.

Степень извлечения селена из колчедана в производстве серной кислоты контактным способом колеблется в широких пределах (от 30 до 60%) и зависит от устройства и режима работы печей, режима работы очистного оборудования и прочего.

Высокая степень окисления и уменьшение содержания сернистого ангидрида в отходящих газах без значительного увеличения количества контактной массы достигается так называемым *двойным контактированием* или *контактированием с промежуточной абсорбцией*. Сущность двойного контактирования состоит в том, что процесс окисления SO_2 на катализаторе проходит в два этапа, причем на первом этапе степень превращения составляет около 90%. Затем из газа выделяют серный ангидрид, после чего направляют газ в дополнительный, промежуточный абсорбер. Здесь в газе увеличивается соотношение $\text{O}_2 : \text{SO}_2$, что позволяет на втором этапе увеличить степень превращения оставшегося сернистого ангидрида до 95–97%. Общая степень превращения достигает 99,5–99,7%, а содержание SO_2 в отходящих газах составляет около 0,03%. При одинарном контактировании — это десятые доли процента: в среднем 0,2% SO_2 (5 г/м^3) и около 0,007% SO_3 ($0,3 \text{ г/м}^3$).

В настоящее время ведутся работы по усовершенствованию схемы производства контактной серной кислоты: по-новому оформляются отдельные стадии этого процесса, применяются более мощные аппараты, обеспечивающие высокую производительность систем, частично или полностью воздух заменяется кислородом, повышается давление реакционных газов.

При обжиге серного колчедана отходы пиритных огарков составляют 70% от массы колчедана. На 1 т производимой кислоты выход огарка составляет около 0,55 т. *Пиритные огарки* состоят, главным образом, из железа (40–63%) с небольшими примесями серы (1–2%), меди (0,33–0,47%), цинка (0,42–1,35%), свинца (0,32–0,58%), драгоценных (10–20 г/т) и других металлов.

Утилизация пиритных огарков возможна по нескольким направлениям:

- для извлечения цветных металлов и производства чугуна и стали;
- в цементной промышленности;
- в сельском хозяйстве и т. д.

Однако в настоящее время пиритные огарки используют главным образом в цементной промышленности в качестве минерализующей добавки к портландцементной шихте.

Небольшие количества огарка и пыли сухих электрофильтров используют для получения минеральных пигментов: железного сурика, охры. Пиритные огарки используются также в сельском хозяйстве в качестве удобрений, содержащих медь, и для получения некоторых инсектицидов.

Производство аммиака

Соединения азота имеют исключительно большое значение для всех сфер хозяйствования. В связи с этим азотная промышленность по темпам развития опережает другие отрасли химической промышленности. Основным промежуточным продуктом для получения огромного числа различных азотсодержащих соединений является аммиак, а синтез его из водорода и азота является единственным крупномасштабным методом производства этого важнейшего продукта.

Производство аммиака состоит из трех основных технологических стадий:

- получение исходной азотоводородной смеси (синтез-газа);
- очистка синтез-газа от примесей;
- каталитический синтез аммиака.

Основные процессы объединены в единый энерготехнологический комплекс. Принцип энерготехнологической схемы состоит в тесной взаимосвязи между химическими и энергетическими процессами, между аппаратурой технологических и энергетических стадий. Это позволяет достичь возможно более полной утилизации низкопотенциального и высокопотенциального тепла и вести технологические процессы с высокой скоростью. Ниже приведена технологическая схема производства аммиака (рис. 10.4).

Азото-водородная смесь и непрореагировавшие, так называемые циркуляционные газы поступают сначала в фильтр 1, где они очищаются от посторонних примесей, затем в межтрубное пространство конденсационной колонны 2, отдавая свое тепло газу, движущемуся по трубам колонны. Далее газы проходят через испаритель 3, в котором происходит их дальнейшее охлаждение и конденсация аммиака, увлеченного циркуляционными газами. Охлажденная смесь газов и сконденсировавшийся аммиак из испарителя направляются в разделительную часть (сепаратор) конденсационной колонны, где жидкий аммиак отде-

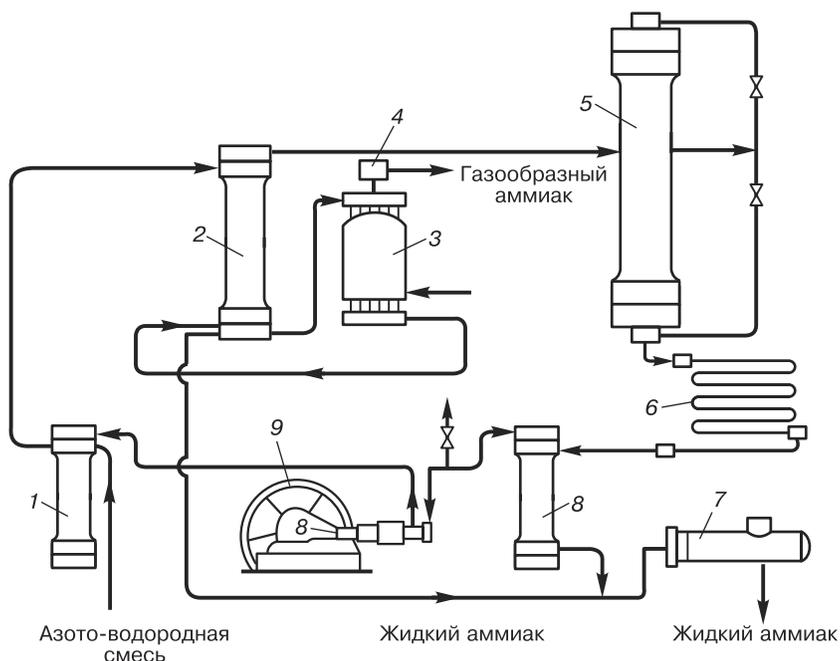


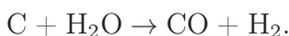
Рис. 10.4. Аппаратурно-технологическая схема получения аммиака: 1 — фильтр; 2 — конденсационная колонна; 3 — испаритель; 4 — брызгоуловитель; 5 — колонна синтеза; 6 — конденсатор; 7 — резервуар; 8 — сепаратор; 9 — циркуляционный насос

ляется и как готовый продукт выводится по трубе в резервуар 7. Газообразный аммиак выходит из испарителя, проходит брызгоуловитель 4, где освобождается от капель жидкого аммиака, и направляется в цех переработки или в холодильную установку на сжижение. Газы, освобожденные от аммиака, из сепаратора поступают в колонну синтеза 5. Колонна синтеза внутри имеет катализаторную коробку с трубчатой или полочной насадкой и теплообменник. Газы, проходя через колонну синтеза, реагируют между собой; выходящая из колонны газовая смесь содержит 15–20% аммиака. Далее эти газы поступают в конденсатор 6, где и происходит сжижение аммиака. Жидкий аммиак отделяется в сепараторе 8 и поступает в резервуар 7, а непрореагировавшие газы подаются циркуляционным насосом 9 в фильтр 1 для смешения со свежей азото-водородной смесью.

Дальнейшее развитие технологии синтеза аммиака направлено в первую очередь на снижение расхода сырья и энергии, уменьшение капиталовложений при строительстве новых производств, повышение надежности работы оборудования и приборов, оптимизацию технологического процесса с широким использованием вычислительной техники и управляющих систем, а также исключение вредного воздействия на

окружающую среду. В связи с развитием атомной энергетики возможно использование тепла атомных реакторов для получения водорода и для производства аммиака в целом.

Основным сырьем в производстве аммиака является природный газ. Для получения водорода используется реакция



Одним из путей совершенствования схемы синтеза аммиака является выделение метана и аргона из циркуляционного газа. Ведутся исследования совмещенных технологических схем производства аммиака и метанола, аммиака и опресненной воды, аммиака и карбамида.

На сегодня доля энергозатрат в стоимости аммиака, включая амортизационные отчисления, составляет около 70%. Поэтому разработка схем, обеспечивающих более высокий, чем существующий, КПД использования энергии, имеет большое значение. В конечном итоге развитие производства аммиака идет в направлении более рационального использования сырья и энергии с минимально возможным влиянием производства на окружающую среду, т. е. в направлении создания безотходного или чистого производства.

Производство азотной кислоты

Азотная кислота — один из важнейших продуктов химической промышленности. По объему производства в мире (свыше 50 млн тонн в год) азотная кислота находится на втором месте после серной. В нашей стране около 40% азотной кислоты расходуется на производство сложных минеральных удобрений и нитратных солей.

Промышленность выпускает азотную кислоту следующих видов: 46–57% (масс.) HNO_3 , *концентрированную* (98,9% HNO_3) и *реактивную* (54–68% HNO_3).

В настоящее время наиболее широко применяется многотоннажное производство азотной кислоты из аммиака. Процесс окисления происходит с поглощением тепла на платиновом катализаторе по реакции:



Атмосферный воздух, применяемый для производства азотной кислоты, забирается на территории завода или вблизи него. С целью избежания отравления катализатора воздух очищают от газообразных примесей и пыли в скруббере, орошаемом водой, не содержащей хлора. Технологическая схема производства азотной кислоты показана на рис. 10.5.

Хвостовые нитрозные газы подвергаются высокотемпературной каталитической очистке на двухслойном катализаторе. Для каталитического разложения оксидов азота в первом слое применяется палладиро-

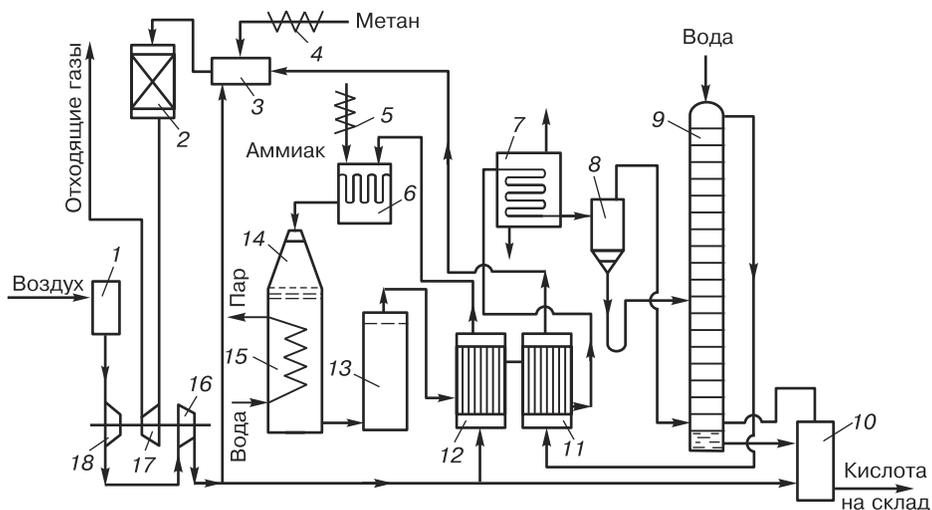


Рис. 10.5. Аппаратурно-технологическая схема производства азотной кислоты: 1 — фильтр воздуха; 2 — реактор каталитической очистки; 3 — топочное устройство; 4 — подогреватель метана; 5 — подогреватель аммиака; 6 — смеситель аммиака и воздуха; 7 — холодильник-конденсатор; 8 — сепаратор; 9 — абсорбционная колонна; 10 — продувочная колонна; 11 — подогреватель отходящих газов; 12 — подогреватель воздуха; 13 — сосуд для окисления нитрозных газов; 14 — контактный аппарат; 15 — котел-утилизатор; 16, 18 — двухступенчатый турбокомпрессор; 17 — газовая турбина

ванный оксид алюминия. В качестве газа-восстановителя используется природный газ.

Повсеместное введение очистки отходящих газов путем восстановления оксидов азота на катализаторе позволило ликвидировать печально знаменитые «*лисы хвосты*» и сделать производство азотной кислоты практически малоотходным. На очереди стоит задача создания экологически обоснованного безотходного производства азотной кислоты.

Каустическая сода

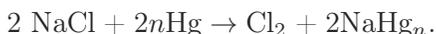
Основными потребителями каустической соды (NaOH) являются целлюлозно-бумажная промышленность, производства искусственных волокон, глинозема, различных химических соединений, мыла и др.

Каустическую соду в основном получают *электрохимическим способом* — электролизом раствора (рассола) NaCl . Одновременно получают анодный продукт — элементарный хлор. В современном производстве едкого натра и хлора применяются два основных способа электролиза: с жидким ртутным катодом и диафрагмой (мембраной).

При производстве NaOH в электролизерах с *ртутным катодом* получают концентрированный раствор каустической соды высокой сте-

пени чистоты, что является одним из основных преимуществ этого метода. Недостатком способа является загрязнение окружающей среды высокотоксичными соединениями ртути. В настоящее время в мировой практике соотношение NaOH, полученного методом с ртутным катодом и диафрагменным методом, составляет 1:1. Однако доля диафрагменного метода непрерывно увеличивается.

Получение NaOH с использованием ртутного катода основано на образовании амальгамы натрия в электролизере при воздействии постоянного электрического тока на раствор поваренной соли:



Образовавшаяся амальгама в специальном аппарате разлагается водой с образованием NaOH и H₂, а регенерированная ртуть возвращается в электролизер:



В результате электролиза раствора NaCl получают три товарных продукта: *каустическую соду, хлор и водород*.

Технологическими отходами производств NaOH с ртутным катодом являются: ртутьсодержащие отходы (шламы), образующиеся при очистке хлора и каустической соды, сточные воды, выхлопные (вентиляционные) газы, шламы CaCO₃ и Mg(OH)₂, образующиеся в результате очистки рассола от ионов Ca²⁺ и Mg²⁺. Особую опасность для людей и окружающей среды представляют ртутьсодержащие отходы.

Диафрагменный метод получения каустической соды более перспективен, поскольку исключает применение ртути. Щелочь, получаемая при электролизе в виде растворов, концентрируется в выпарных аппаратах. При выпаривании электролитических щелоков происходит выделение твердой поваренной соли вследствие ее малой растворимости в концентрированных растворах едкого натра. В виде так называемого *обратного рассола* она возвращается на электролиз.

Другой компонент хлорида натрия — *хлор* выделяется при электролизе в элементарном виде. Он находит применение в современной химической промышленности и некоторых других отраслях. Производство хлора в мире превышает 11 млн тонн в год.

Кальцинированная сода

В настоящее время мировое производство соды составляет около 20 млн тонн в год. Около 30% соды используется в самой химической промышленности, где она применяется в производстве фторидов, фосфорных удобрений, синтетических моющих средств, стеклопластиков, пенопластов и др.

Кальцинированную соду (Na₂CO₃) преимущественно получают *аммиачным* методом (*способ Сольве*) из NaCl. В качестве сырья для

производства Na_2CO_3 используют также нефелин, чилийскую селитру (NaNO_3) и NaOH .

Во всем мире аммиачным способом (рис. 10.6) производят 85% соды, *модифицированным аммиачным* — 3%, из NaNO_3 и NaOH — 0,1%; природной соды добывается 8–12%.

Сущность процесса состоит в следующем: очищенный от примесей аммонизированный раствор поваренной соли подвергается карбонизации, образующийся бикарбонат натрия выпадает в осадок:



Кристаллы NaHCO_3 отфильтровываются от маточника и подвергаются *кальцинации* (прокалке) с целью получения готового продукта:



Для регенерации аммиака **маточник**, содержащий 180–200 г/л NH_4Cl , 70–80 г/л NaCl и небольшую часть непрореагировавшего NaHCO_3 обрабатывают известковым молоком:



Выделяющийся аммиак отгоняют с паром и возвращают в цикл.

При регенерации аммиака на каждую тонну соды образуется 10–12 м³ так называемой «*дистиллерной жидкости*». Она представляет собой суспензию нерастворимых продуктов (CaCO_3 , CaSO_4 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, песка и др.) в растворе хлоридов кальция и натрия.

Средний состав дистиллерной жидкости (г/л): 85–95 CaCl_2 , 45–50 NaCl , 6–15 CaCO_3 , 3–5 CaSO_4 , 3–10 $\text{Mg}(\text{OH})_2$, 2–4 CaO , 1–3 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$), 1–4 SiO_2 . На одну тонну Na_2CO_3 в отвал выбрасывается 1 т CaCl_2 , 0,5 т NaCl и 200–300 кг твердых нерастворимых примесей. Для захоронения эту жидкость перекачивают в шламонакопители, так называемые «*белые моря*».

Кроме дистиллерной жидкости отходами производства кальцинированной соды являются шламы очистки рассола, состоящие из CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$, отходящие газы карбонизации, содержащие NH_3 , и отходящие газы обжиговоизвестковых печей.

Особую сложность вызывает содержание «белых морей» в связи с высокой растворимостью хлористых солей. Из дистиллерной жидкости можно извлекать CaCl_2 и NaCl . При этом хлорид натрия можно использовать как техническую соль или вернуть в производство соды. Организация сбыта CaCl_2 является более сложной проблемой, так как отсутствуют крупные потребители этого продукта. Кроме того, на выпаривание воды из дистиллерной жидкости необходимо затратить много энергии. Хлорид кальция может быть использован в химической промышленности в качестве осушителя жидкостей и газов, для посыпки

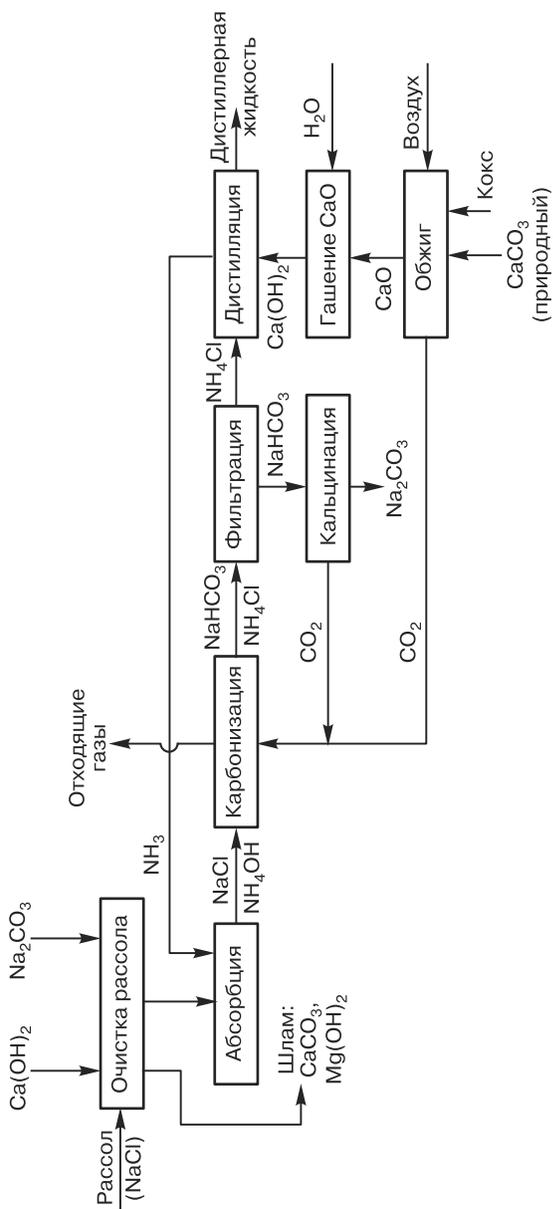


Рис. 10.6. Принципиальная технологическая схема получения кальцинированной соды аммиачным методом

улиц и дорог зимой (вместо NaCl), для мелиорации солончаковых почв, как добавка в шихту для получения цемента и в бетон.

Определенный интерес представляет *модернизированный аммиачный процесс* получения Na_2CO_3 . Метод заключается в упаривании отфильтрованной (без последующей регенерации аммиака) жидкости с целью получения, кроме Na_2CO_3 , хлорида аммония и NaCl. Использование NaCl в этом процессе составляет почти 100%.

Аммиачный метод можно также модернизировать, если вместо NaCl в качестве сырья использовать сильвинит. Для этого отфильтрованную жидкость насыщают аммиаком до содержания 65 г/л NH_3 и карбонизируют до содержания CO_2 70 г/л. Полученной жидкостью обрабатывают сильвинит при температуре -10°C . При этом из маточной жидкости выделяется NH_4Cl , а в ней растворяется находящийся в сильвините NaCl. Хлорид калия остается в осадке и вместе с NH_4Cl образует продукт, называемый *потазотом*, в котором содержится 30% KCl и 70% NH_4Cl . После отделения потазота оставшийся рассол направляют на дальнейшие операции получения соды. По этой технологии на 1 т Na_2CO_3 получают 1,4 т потазота, который может быть использован в качестве минерального удобрения, содержащего азот, калий и, к великому сожалению, хлор. Последнее обстоятельство и препятствует широкому его применению.

Были проведены работы по замене аммиака в методе Сольве некоторыми аминами, понижающими растворимость NaHCO_3 . В связи с этим степень использования NaCl в таком процессе увеличивается до 92–95% и, следовательно, уменьшается количество NaCl, сбрасываемое с дистиллерной жидкостью. Однако использование аминов не нашло практического применения из-за их высокой стоимости и токсичности.

Практическое применение нашел способ утилизации дистиллерной жидкости для *заводнения* нефтяных пластов (вместо воды), а также закачка ее в поглощающие подземные горизонты. Эти методы, естественно, могут применяться только в некоторых строго ограниченных районах (по геологическим показателям).

10.4. ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Важнейшей экологической и экономической проблемой химического производства, как и других отраслей народного хозяйства, является комплексная переработка сырья. Это связано с тем, что 60–70% себестоимости продукции этой отрасли приходится на долю сырья, а все отходы производства — это потеря сырья, т. е. нерациональное его использование и загрязнение окружающей среды зачастую высокотоксичными и не свойственными природе соединениями. Каждая из подотраслей химического производства имеет, естественно, и свои особенности.

Производство фосфорных удобрений. Основные экологические проблемы производства фосфорных удобрений — это обезвреживание газовых и жидких выбросов, в первую очередь от *фтористых соединений*, и переработка *фосфогипса*.

Следует отметить, что переход в производстве фосфорных удобрений с сернокислотного разложения на азотнокислое позволяет вообще исключить образование фосфогипса. Но и образующийся фосфогипс можно в больших количествах использовать для химической мелиорации почв (вместо природного гипса) и производства строительных материалов. Производство серной кислоты из фосфогипса, освоенное в опытно-промышленном масштабе, вряд ли будет экономически целесообразным с хозяйственной точки зрения. Более оправданно получение серной кислоты из газовых выбросов производства цветных металлов и тепловых электростанций, где выделяющийся SO_2 должен быть уловлен по санитарным требованиям. Сера же в составе фосфогипса особого вреда не наносит.

Достаточно трудоемким и сложным процессом является *переработка сточных вод* производства фосфорных удобрений, образующихся за счет очистки газовых выбросов, промывки фосфогипса, оборудования и т. д. В них содержится до 10 г/л фтора и до 6 г/л P_2O_5 . Объем этих стоков громадный. Только шлама, образующегося при их нейтрализации известковым молоком, вывозится в отвал и удаляется на шламонакопители около 1 млн тонн в год. А с ним безвозвратно теряется 2–3% P_2O_5 и до 50% фтора от их количества в фосфатном сырье.

В связи с этим Научно-исследовательским институтом по удобрениям и инсектофунгицидам (НИУИФ, в настоящее время — ОАО «НИУИФ») разработана двухступенчатая технологическая схема переработки этих сточных вод с получением очищенной воды для повторного использования, фторсодержащих и фосфорсодержащих продуктов. При pH 2,7–2,9 известковым молоком осаждается продукт, содержащий 55–60% CaF_2 и 7% P_2O_5 , а при pH 7,1–7,5–7,4% CaF_2 и 34–35% P_2O_5 . CaF_2 с успехом используется в цементной промышленности. P_2O_5 возвращается в голову процесса на получение ЭФК.

Со сложными экологическими проблемами сталкиваются производства по переработке *сильвинита*. Один из путей переработки галитовых отходов (основной отход переработки сильвинита) — это получение из них технической поваренной соли с последующим ее использованием для производства каустической и кальцинированной соды. Отработана и технология получения пищевой соли. К сожалению, себестоимость этой соли дороже добываемой из природных источников. Однако надо учитывать и экологический ущерб от галитовых отходов, который из «возможного» оказывается весьма реальным. Это показала катастрофа на шламохранилище Стебниковского завода калийных удобрений (Украина) в 1983 г., когда сотни тысяч кубических метров галитовых отходов, прорвав дамбу, попали в р. Днестр.

Другой реальный путь обезвреживания галитовых отходов, но также требующий дополнительных расходов, — их закачка в выработанные шахты, откуда они и были добыты.

Аналогичные экологические проблемы вызывают «белые моря» содовых заводов. Кардинальным решением проблемы охраны окружающей среды при производстве соды является широкая переработка нефелина на глинозем, соду, поташ и цемент. Производства аммиака, серной и азотной кислот хотя и имеют определенные экологические проблемы, но уже сейчас могут быть организованы (что и делается) по практически безотходным технологическим схемам.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные экологические проблемы производства фосфорных удобрений (аммофоса, простого и двойного суперфосфата).
2. Каковы основные экологические проблемы получения апатитового концентрата?
3. Перечислите основные экологические проблемы производства кальцинированной соды.
4. Назовите основные экологические проблемы производства каустической соды.
5. Каковы основные экологические проблемы производства KCl (галургического и флотационного)?
6. Что такое «белые моря»?
7. Перечислите основные экологические проблемы производства H_3PO_4 .
8. В чем суть комплексной переработки апатитов серно-кислотным методом?
9. Какова особенность комплексной переработки фосфоритов азотно-кислым методом?
10. Что такое фосфогипс и каковы перспективы его использования?

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ

Нефть — это «черное золото».

Добыча и переработка нефти играют ключевую роль в мировом топливно-энергетическом комплексе и нефтехимии. Нефть и газ — это уникальные и исключительно полезные ископаемые. Продукты их переработки применяют практически во всех отраслях промышленности, на всех видах транспорта, в военном и гражданском строительстве, сельском хозяйстве, энергетике, в быту и т. д. За последние несколько десятилетий из нефти и газа стали вырабатывать в больших количествах разнообразные химические материалы: пластмассы, синтетические волокна, каучук, лаки, краски, моющие средства, минеральные удобрения и многое другое. Не зря нефть называют «черным золотом». Нефтеперерабатывающая промышленность вырабатывает чрезвычайно большой ассортимент (более 500 наименований) газообразных, жидких и твердых нефтепродуктов. Производство нефтепродуктов и сырья для нефтехимии осуществляется на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ).

Нефтяные и газовые месторождения открыты в 90 странах мира. По данным журнала Oil & Gas Journal на 01.01.2001 г. в мире работало 742 НПЗ общей мощностью 4077,49 млрд тонн нефти в год. К началу 2008 г. их количество снизилось до 657. Средняя мощность одного НПЗ составляет 5,5 млн тонн нефти в год. Потребление углеводородного сырья в развитых странах увеличивается в геометрической прогрессии. Так, за последние 30–35 лет использовано столько же топливно-энергетических ресурсов, сколько за всю историю человечества, причем 3/4 из них приходится на нефть и газ [34].

Основные залежи разведанных запасов нефти находятся на территории стран Среднего и Ближнего Востока, России, Северной и Южной Америки, Западной Европы.

Россия располагает значительными в мировом масштабе природными ресурсами углеводородного сырья (табл. 11.1). Основным источником углеводородного сырья и основным энергоносителем в России является нефть.

Интенсивное развитие процессов переработки углеводородного сырья приводит к огромной материальной и энергетической нагрузке на окружающую среду. По некоторым данным в российской нефтеперерабатывающей промышленности «выбрасывается» в атмосферу около 0,45% перерабатываемого сырья, в то время как на Западе — 0,1%. Со сточными водами нефтеперерабатывающих предприятий в водо-

Таблица 11.1

Ресурсы основных энергоносителей и источников углеводородного сырья России по данным на 2002 г.

Вид углеводородного сырья	Разведанные запасы	Доля мировых ресурсов	Объем ежегодной добычи
Нефть	7 млрд т	5%	300 млн т
Природный газ	236 трлн м ³	34%	600 млрд м ³
Уголь: каменный бурый	5,3 трлн т	20% 32%	300 млн т

емы поступает значительное количество нефтепродуктов, сульфидов, хлоридов, соединений азота, фенолов, солей тяжелых металлов, взвешенных веществ и др. На НПЗ и нефтебазах происходит загрязнение почвенного слоя нефтепродуктами на значительную глубину. В почвенных горизонтах образуются линзы нефтепродуктов, которые могут мигрировать с грунтовыми водами, вызывая загрязнение отдаленных от НПЗ районов.

В РФ на предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности ежегодно образуется до *1,6 млн тонн жидких и твердых отходов*, из которых 80% перерабатывается непосредственно на предприятии, а часть передается в другие отрасли. На очистных сооружениях к 2002 г. *скопилось около 8,35 млн тонн избыточного активного ила*. Одним из основных твердофазных отходов являются также **кислые гудроны**. В России ежегодно образуется примерно 300 тыс тонн кислых гудронов, степень использования которых не превышает 25%. Распространенным видом отходов являются **нефтяные шламы**, выход которых составляет 7 кг на 1 т перерабатываемой нефти.

11.1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ НПЗ

Нефтеперерабатывающий завод представляет собой совокупность основных нефтетехнологических процессов (установок, блоков, цехов), а также вспомогательных и обслуживающих служб, обеспечивающих нормальное функционирование промышленного предприятия. Промышленная переработка нефти и газовых конденсатов на современных НПЗ осуществляется путем сложной многоступенчатой переработки на отдельных или комбинированных крупнотоннажных процессах (установках, цехах). Технологические процессы НПЗ делятся на две группы: физические и химические.

По ассортименту выпускаемых нефтепродуктов (НП) нефтеперерабатывающие предприятия принято классифицировать на следующие группы (профили):

- НПЗ топливного профиля;
- НПЗ топливно-масляного профиля;
- НПЗ топливно-нефтехимического профиля (нефтехимкомбинаты);
- НПЗ топливно-масляно-нефтехимического профиля.

Среди перечисленных наибольшее распространение имеют НПЗ топливного профиля, поскольку по объемам потребления и производства моторные топлива значительно превосходят как смазочные масла, так и продукцию нефтехимического синтеза. Естественно, комплексная топливно-масляно-нефтехимическая переработка нефтяного сырья экономически более эффективна по сравнению с узкоспециализированной переработкой, например чисто топливной.

Чистая нефть, не содержащая неуглеводородных примесей, особенно солей металлов, и пресная вода взаимно нерастворимы, и при отстаивании эта смесь легко расслаивается. Однако при наличии в нефти примесей система нефть-вода образует трудноразделимую нефтяную эмульсию, для разрушения которой применяют *деэмульгаторы*, представляющие собой синтетические поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Промышленный процесс обезвоживания и обессоливания нефтей осуществляется на *электрообессоливающих установках* (ЭЛОУ). При этом нефтяные эмульсии подвергаются химической, электрической, тепловой и механической обработкам, направленным на снижение структурно-механической прочности эмульсии, создание более благоприятных условий для *коалесценции*, укрупнения капель и ускорения процессов осаждения крупных глобул воды. На технико-экономические показатели ЭЛОУ влияют также интенсивность и продолжительность перемешивания эмульсионной нефти с раствором деэмульгаторов. Основным аппаратом ЭЛОУ является электродегидратор, где кроме электрообработки нефтяной эмульсии осуществляется и отстой (осаждение) деэмульгированной нефти.

Наиболее распространенная в нашей стране установка ЭЛОУ-АВТ-6 функционирует по схеме двукратного испарения и двукратной ректификации (рис. 11.1).

Обезвоженная и обессоленная на ЭЛОУ нефть дополнительно подогревается в теплообменниках и поступает на разделение в колонну частичного *отбензинивания 1*. Уходящие с верха этой колонны углеводородный газ и легкий бензин конденсируются и охлаждаются в аппаратах воздушного и водяного охлаждения и поступают в емкость орошения. Часть конденсата возвращается на верх колонны 1 в качестве острого орошения. Отбензиненная нефть с низа колонны 1 подается в трубчатую печь 4, где нагревается до требуемой темпе-

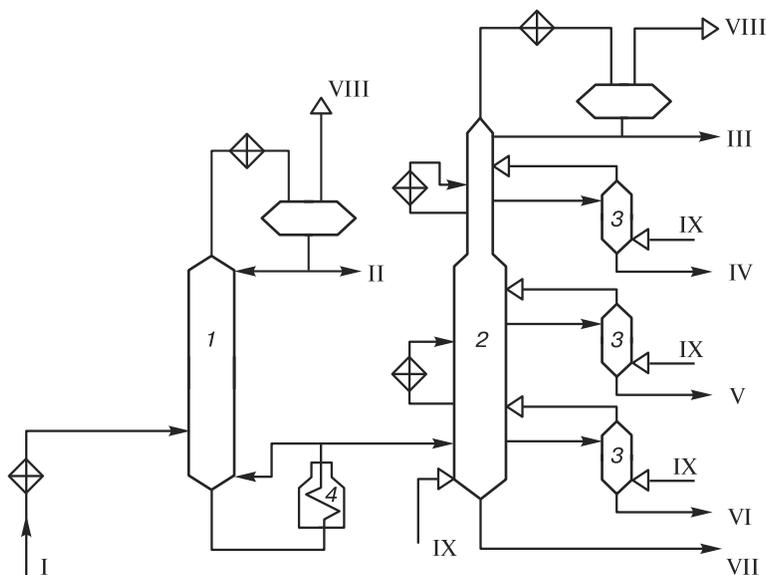


Рис. 11.1. Принципиальная схема блока атмосферной перегонки нефти установки ЭЛОУ-АВТ-6: 1 — отбензинивающая колонна; 2 — атмосферная колонна; 3 — отпарная колонна; 4 — трубчатая печь; потоки: I — нефть с ЭЛОУ; II — легкий бензин; III — тяжелый бензин; IV — фракция 180–220 °С; V — фракция 220–280 °С; VI — фракция 280–350 °С; VII — мазут; VIII — газ; IX — водяной пар

ратуры и поступает в атмосферную колонну 2. Часть отбензиненной нефти из печи 4 возвращается в низ колонны 1 в виде горячей струи. С верха колонны 2 отбирается тяжелый бензин, а сбоку через отпарные колонны 3 выводятся топливные фракции 180–220, 220–280 и 280–350 °.

Атмосферная колонна кроме острого орошения имеет два циркуляционных орошения, предназначенных для отвода тепла ниже тарелок отбора фракций 180–220 и 220–280 °. В нижние части атмосферной и отпарных колонн подается перегретый водяной пар для отпарки легко кипящих фракций. С низа атмосферной колонны 2 выводится мазут, который направляется на блок вакуумной перегонки. Ниже приведен материальный баланс блока атмосферной перегонки (АТ).

Поступило нефти, %	100
Получено, % в пересчете на нефть:	
газ и нестабильный бензин (н. к. – 180 °)	19,1
фракция 180–220 °	7,4
фракция 220–280 °	11,0
фракция 280–350 °	10,5
мазут	52.

Блок вакуумной перегонки мазута установки ЭЛОУ-АВТ-6

Основное назначение установки (блока) вакуумной перегонки мазута топливного профиля — получение вакуумного *газойля* широкого фракционного состава (350–500°). Газойль используется как сырье для установок каталитического крекинга, гидрокрекинга или пиролиза и, в некоторых случаях, — термического крекинга с получением дистиллятного крекинга-остатка, направляемого далее на коксование с целью получения высококачественных нефтяных коксов.

В процессах вакуумной перегонки мазута по топливному варианту преимущественно используют схему однократного испарения: применяется одна сложная ректификационная колонна с выводом дистиллятных фракций через *отпарные колонны* или без них. При использовании отпарных колонн по высоте основной вакуумной колонны организуют несколько циркуляционных орошений.

Принципиальная схема блока вакуумной перегонки мазута установки ЭЛОУ-АВТ-6 приведена на рис. 11.2. Мазут I, отбираемый с низа атмосферной колонны блока АТ (см. рис. 11.1), прокачивается параллельными потоками через печь 1 в вакуумную колонну 2. Смесь нефтяных и водяных паров, газы разложения, а также воздух, засасываемый через неплотности, с верха вакуумной колонны поступают в вакуумсоздающую систему. После конденсации и охлаждения в конденсаторе-холодильнике смесь разделяется в газосепараторе на газовую и жидкую фазы. Газы отсасываются трехступенчатым парожекторным насосом 3, а конденсаты поступают в отстойник для отделения нефтепродукта от водного конденсата. Верхним боковым погоном вакуумной колонны 1 отбирают фракцию II *легкого вакуумного газойля (соляр)*. Часть его после охлаждения в теплообменниках возвращается на верх колонны в качестве верхнего циркуляционного орошения.

Вторым боковым погоном отбирают широкую *газойлевую (масляную) фракцию III*. Часть ее после охлаждения используется как среднее циркуляционное орошение вакуумной колонны. Балансовое количество целевого продукта вакуумного газойля после теплообменников и холодильников выводится с установки и направляется на дальнейшую переработку.

С нижней тарелки концентрационной части колонны 2 выводится затемненная фракция IV, часть которой используется как нижнее циркулирующее орошение, а другая часть может выводиться с установки или использоваться как рецикл вместе с загрузкой вакуумной печи 1.

С низа вакуумной колонны отбирается гудрон V и после охлаждения направляется на дальнейшую переработку. Часть гудрона после охлаждения в теплообменнике возвращается в низ колонны. В низ вакуумной колонны и змеевик печи подается водяной пар VI. Ниже приведен материальный баланс блока вакуумной перегонки.

Поступил, % в пересчете на нефть:	
мазут	52
Получено, % в пересчете на нефть:	
легкий вакуумный газойль	1,2
вакуумный газойль	22,0
гудрон	28,8.

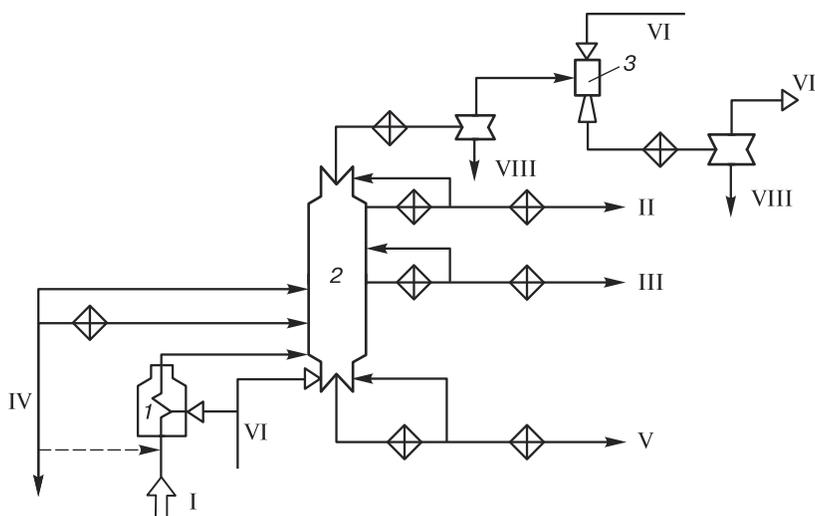


Рис. 11.2. Принципиальная схема блока вакуумной перегонки мазута установки ЭЛОУ-АВТ-6: 1 — вакуумная печь; 2 — вакуумная колонна; 3 — парэжекторный насос; потоки: I — мазут из АТ; II — легкий вакуумный газойль; III — вакуумный газойль; IV — затемненная фракция; V — гудрон; VI — водяной пар; VII — газы разложения; VIII — конденсат (вода и нефтепродукт)

Продукты первичной переработки нефти имеют разное применение (табл. 11.2).

Вторичная переработка нефти

Во фракциях легкого и тяжелого бензинов, отбираемых с верха отбензинивающей и атмосферной колонны соответственно (см. рис. 11.1), содержатся растворенные углеводородные газы (C_1-C_4). Поэтому прягонные бензины должны вначале подвергаться стабилизации с выделением газов и последующим их рациональным использованием. Для последующей переработки стабилизированные бензины подвергаются вторичной перегонке на фракции, направляемые как сырье процессов каталитического *риформинга*. Целью этих процессов является получение высокооктанового компонента автобензинов или индивидуальных ароматических углеводородов: бензола, толуола и ксилолов. При

Таблица 11.2

Фракции перегонки нефти

Название фракции	Температура, °С	Углеродный состав	Применение
Бензин	40–200	C ₂ –C ₁₂	Моторное топливо
Лигроин	150–250	C ₈ –C ₁₄	Горючее для тракторов
Керосин	180–300	C ₁₂ –C ₁₈	Топливо, в том числе дизельное
Соляровое масло (мазут)	до 360	C ₁₆ и более	Смазочные материалы
Газойль	270–300	C ₁ –C ₆	Газообразное топливо
Парафин	320–500	C ₂₆ –C ₃₈	Свечи, спичечный парафин, гуталин
Асфальт (гудрон — остаток после отгонки мазута)	—	—	Дорожные покрытия, топливо

производстве ароматических углеводородов исходный бензин разделяют на три фракции с температурными пределами выкипания: 62–85° (бензольную), 85–105° (толуольную) и 105–140° (ксилольную). При топливном направлении переработки прямогонные бензины достаточно разделить на две фракции: низкокипящий — 85° и 85–180°.

Важным показателем НПЗ, характеризующим эффективность использования сырья, является *глубина переработки нефти* (ГПН). По величине ГПН можно косвенно судить о насыщенности НПЗ вторичными процессами и структуре выпуска нефтепродуктов (НП). В мировой нефтепереработке до сих пор нет общепринятого определения этого показателя.

В отечественной нефтепереработке под ГПН подразумевается суммарный выход в процентах на нефть всех НП, кроме непревращенного остатка, используемого в качестве котельного топлива (КТ):

$$\text{ГПН} = 100 - \text{КТ} - (\text{T} + \text{П}),$$

где Т и П — соответственно удельные затраты топлива на переработку и потери нефти на НПЗ в процентах на сырье.

За рубежом ГПН определяют преимущественно как суммарный выход светлых НП из нефти, т. е. имеется в виду глубина топливной переработки нефти.

Понятие глубины переработки нефти, выраженное в виде приведенного выше уравнения, несколько условно, так как выход непревращенного остатка, в том числе котельного топлива, зависит не только от технологии нефтепереработки. Он также зависит от качества нефти и от того, как будет использован нефтяной остаток: как котельное

топливо или как сырье для производства битума, как нефтяной пек или газотурбинное топливо и т. д.

Средняя глубина переработки нефти на российских НПЗ в 2008 г. составила 71,5% (для сравнения на НПЗ США — 90–98%). Доказано, что *инвестиции в углубление переработки нефти в 5–7 раз эффективней инвестиций в разработку новых месторождений*. Легче и выгоднее перерабатывать малосернистые и легкие нефти с высоким потенциальным содержанием светлых нефтепродуктов. Переработка нефти с высоким содержанием смолисто-асфальтеновых веществ требует большей насыщенности НПЗ процессами облагораживания.

11.2. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РОССИИ И МИРЕ

Общей современной тенденцией в структуре использования нефти в мировой экономике является снижение доли ее потребления в электро- и теплоэнергетике в качестве котельно-печного топлива и увеличение — в качестве транспортного моторного топлива и нефтехимического сырья. В табл. 11.3 приведена структура использования нефти в мировой экономике.

Таблица 11.3
Структура использования нефти в мировой экономике, %

Использование нефти	1980 г.	2000 г.	2010 г.
Транспорт, в том числе автомобильный	38,6 27,8	52 40	62 54
Электро- и теплоэнергетика (котельно-печное топливо)	51,5	35	13
Нефтехимия	5,2	8,0	9
Неэнергетическое использование (масла, битум, парафины и пр.)	4,7	5,0	16

В настоящее время в мире на долю нефтехимии приходится относительно небольшое количество — около 9% потребляемой нефти. В различных странах эта доля колеблется в пределах 2–10%. Вполне вероятно, что к концу XXI в. нефтехимия станет почти единственным направлением применения нефти.

В 2008 г. первичная переработка нефти в России составила 236,3 млн тонн (48,4% от добычи), что на 3,4% больше уровня 2007 г.

По мощности и объему переработки нефти Россия занимает третье место в мире после США и Китая. Переработку жидких углеводородов в России осуществляют 27 крупных НПЗ, 46 мини-НПЗ и два конденсатореперерабатывающих завода.

В структуре выпуска нефтепродуктов в России продолжает доминировать производство тяжелых и средних фракций, прежде всего мазута и дизельного топлива. В 2008 г. доля дизельного топлива составила около 37,8% (69 млн тонн), мазута топочного — 35% (63,9 млн тонн), автомобильного бензина — 19,6% (35,7 млн тонн), прочих нефтепродуктов (бензин авиационный, авиакеросин, масла смазочные и др.) — 13,8% (7,5 млн тонн). Глубина переработки нефти составила 71,5%.

Соотношение бензин : дизельное топливо в России составляет примерно 1:1,8, а в США составляет 2:1. Котельное топливо там вырабатывается в минимальных количествах — 8% в пересчете на нефть. Доля углубляющих нефтепереработку процессов (каталитический крекинг, термический крекинг, гидрокрекинг и алкилирование) на НПЗ США составляет 72%. В нашей стране суммарная доля углубляющих нефтепереработку процессов коксования, каталитического и гидрокрекинга составляет всего 14,7%, т. е. почти в 4 раза меньше, чем на НПЗ США. Надо еще отметить, что более половины из установок прямой перегонки нефти не оснащены блоком вакуумной перегонки мазута. В составе отечественных НПЗ нет ни одного внедренного процесса по каталитической переработке гудронов в моторные топлива. Эксплуатируемые установки гидрокрекинга приспособлены лишь для переработки вакуумных *газойлей*.

На отечественных НПЗ более благополучно обстоит дело с оснащенностью процессами облагораживания топливных фракций нефти, такими как каталитический риформинг и гидроочистка, что позволяет обеспечить выпуск НП удовлетворительного качества.

Однако надо отметить, что в настоящее время мы уступаем лучшим мировым достижениям по качеству ряда нефтепродуктов и продукции нефтехимии. Кроме того, отставание наблюдается также по таким важнейшим технико-экономическим показателям процессов, как металлоемкость, энергозатраты, занимаемая площадь, по уровню автоматизации производства, численности персонала и др. Неудовлетворительно обстоит дело на НПЗ и в отношении отбора светлых НП от потенциала, что приводит к значительному недобору дизельных фракций на атмосферных колоннах.

Одной из острейших для НПЗ России является проблема обновления и модернизации устаревшего оборудования, машин и отдельных процессов с доведением их до современного мирового уровня. Необходимы новые технологии и новая техника, замена физически и морально устаревших процессов на более совершенные в техническом отношении и более чистые в экологическом отношении процессы глубокой и комплексной переработки нефтяного сырья.

11.3. ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ В НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ

Промышленные предприятия топливно-энергетического комплекса, в том числе химической, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, а также автомобильный транспорт в настоящее время относятся к наиболее крупным источникам загрязнения природы: атмосферы, почвы, водоемов и морей.

Загрязнение атмосферы

В последние годы наблюдается благоприятная тенденция к значительному снижению концентрации углеводородов в атмосфере. Однако для диоксида серы наблюдается обратная тенденция — увеличение среднегодовых значений (речь идет о НПЗ), хотя пока среднегодовые значения концентраций значительно ниже ПДК. Наиболее выражена тенденция к росту среднегодовых значений концентраций для фенола и диоксида азота. Для этих веществ среднегодовые концентрации приближаются к ПДК.

Анализ показывает, что наиболее экологически опасными являются производства, связанные с ректификацией углеводородных систем — нефтей и тяжелых нефтяных остатков, получением элементарной серы и объекты очистных сооружений.

Диоксид серы и сероводород. Несмотря на то что вклад нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов в общий выброс сернистых соединений относительно невелик (5% общего количества выбросов топливно-энергетических станций), ряд факторов вызывает необходимость осуществления мероприятий по снижению эмиссии уже на предприятиях средней мощности.

По количеству и составу выбрасываемых серосодержащих газов источники загрязнения можно подразделить на три основные группы:

- 1) дымовые газы котельных агрегатов, технологических печей, печей для сжигания нефтешламов, факельных установок;
- 2) отходящие газы регенерации катализаторов на установках крекинга;
- 3) хвостовые газы установок производства серной кислоты и элементарной серы (установки Клауса).

Оксиды азота. Массовыми выбросами НПЗ являются оксиды азота. Основные источники выбросов оксидов азота — это технологические печи (72,6%), газомоторные компрессоры (14%), факельные стояки (5,4%).

Монооксид углерода. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха монооксидом углерода являются трубчатые печи технологических установок, выбросы которых составляют 50% от объема общих выбросов; реакторы установок каталитического крекинга

(12%); выхлопы газовых компрессоров (11%); битумные установки (9%) и факелы (18%).

Углеводороды. Выбросы углеводородов (УВ) составляют более 70% выбросов вредных веществ в атмосферу от предприятий нефтепереработки и нефтехимии.

Токсичность УВ усиливается при наличии в атмосфере сернистых соединений, оксида углерода. Это является причиной более низкого значения ПДК сероводорода в присутствии УВ, чем при их отсутствии. В зависимости от строения УВ вступают в те или иные фотохимические реакции, тем самым участвуя в образовании фотохимического смога.

С технологической точки зрения, выбросы УВ представляют собой прямые потери нефти и нефтепродуктов. Среднеотраслевой уровень выбросов УВ составляет 5,36 кг на 1 т переработанной нефти.

Основными источниками выбросов УВ в атмосферу являются:

- резервуарные парки (УВ выбрасываются в атмосферу из дыхательных клапанов резервуаров за счет испарения с открытых поверхностей);

- технологические установки (выбросы за счет неплотностей технологического оборудования, трубопроводной арматуры, сальников насосов, а также рабочих клапанов при аварийных ситуациях, вентиляционные выбросы из рабочих помещений);

- системы оборотного водоснабжения (испарение УВ в градирнях и нефтеотделителях);

- очистные сооружения (испарения с открытых поверхностей нефтеловушек, прудов-отстойников, флотаторов, шламо- и илонакопителей).

Значительное загрязнение атмосферы УВ на заводах происходит при заполнении товарными нефтепродуктами железнодорожных цистерн и танкеров на наливных эстакадах и причалах.

Твердые вещества. Выбросы твердых веществ связаны, прежде всего, с химическими методами переработки углеводородного сырья, особенно каталитическими. Эти вещества состоят в основном из частиц диаметром от 0,01 до 100 мкм.

Химический состав образующейся пыли очень сложен и может вызвать увеличение риска заболевания раком легких.

Распределение выбросов твердых веществ в атмосферу по основным источникам их выделения следующее, %:

- узлы рассева и пневмотранспорта катализатора — 29,5;
- регенераторы установок каталитического крекинга — 23,3;
- факельные стояки — 4,7;
- вентиляционные системы — 0,7.

Низкая эффективность отделения катализаторной пыли на установках каталитического крекинга приводит к неоправданно высоким

потерям дорогостоящих катализаторов и значительному загрязнению окружающей среды твердыми выбросами.

Суперэкотоксиканты. В последние годы из общего числа вредных веществ выделяют те, которые в малых дозах оказывают сильное индуцирующее или ингибирующее действие на ферменты, — так называемые суперэкотоксиканты. Наиболее распространенным из них в окружающей среде является *бенз(а)пирен*. Это вещество выделено в качестве индикатора для всей группы канцерогенных полиароматических углеводородов (ПАУ) и имеет ПДК_{с.с.}, равную 1 нг/м³. Главным условием их образования является высокая температура (800–1000 °С), поэтому основными источниками выбросов ПАУ являются дымовые трубы технологических печей и установки производства битума.

11.3.1. Мероприятия по снижению экологической нагрузки на воздушный бассейн

Общая структура мероприятий по предотвращению выбросов в окружающую среду на предприятиях представлена на рис. 11.3. Эффективность собственно технологических мероприятий по снижению выбросов в окружающую среду определяется экологической чистотой процессов. К мероприятиям по снижению выбросов вредных веществ относятся:



Рис. 11.3. Общая схема мероприятий по снижению выбросов вредных веществ в атмосферу на предприятиях

- совершенствование технологических процессов и внедрение малоотходных и безотходных технологий, комплексное использование сырья;
- изменение состава и улучшение качества используемых ресурсов;
- изменение состава и улучшение качества выпускаемой продукции (неэтилированные бензины, малосернистые топлива и т. д.);
- очистка выбрасываемых промышленных газов.

К мероприятиям по снижению степени распространения вредных веществ относятся:

- нейтрализация;
- консервация;
- захоронение;
- утилизация выбросов.

Снижение выбросов диоксида серы и сероводорода. К методам защиты воздушного бассейна путем снижения выбросов диоксида серы с дымовыми газами относятся:

- использование малосернистых остаточных топлив;
- усреднение состава перерабатываемых нефтей и, соответственно, остаточных фракций, используемых в качестве нефтезаводского топлива;
- увеличение доли газа в топливе;
- очистка топливных газов.

Известные методы сероочистки составляют две основные группы: *мокрые* способы (с использованием абсорбентов, суспензий) и *сухие* (хемосорбция, адсорбция, катализ).

Современные НПЗ становятся крупными производителями серы. Это связано с вовлечением в переработку тяжелых нефтей и, в большей степени, с ужесточением экологических требований по ограничению содержания серы в нефтепродуктах и серосодержащих газовых выбросах в атмосферу.

В последнее время доля серы в перерабатываемой нефти согласно оценке Европейской организации по охране окружающей среды увеличилась на 23%. Например, доля серы в перерабатываемых на Московском НПЗ западно-сибирских и татарских нефтях (70% от общего объема перерабатываемых нефтей) за последние 10 лет возросла на 27%.

Организация и увеличение мощностей производства серы (*процесс Клауса*) или производство серной кислоты на базе утилизации ее из серосодержащих выбросов значительно увеличивают рентабельность как за счет реализации товарной серы, так и за счет сокращения штрафных санкций со стороны природоохранных органов. В настоящее время ни один из новых методов получения серы не доведен до такой степени совершенства, как классический процесс Клауса.

Очистку топливного и других сероводородсодержащих газов проводят обычно с помощью абсорбции аминами. Более эффективной

является очистка газов от сероводорода водным раствором *метилдиэтанолamina* (МДЭА). Данный процесс имеет следующие преимущества:

- высокая селективность извлечения сероводорода, увеличивающая концентрацию H_2S в потоке, поступающем на процесс Клауса, что приводит к повышению эффективности последнего;
- меньшие затраты тепла на стадии регенерации рабочего раствора;
- малые потери растворителя вследствие его высокой термохимической устойчивости и низкого давления паров;
- низкая коррозионная активность МДЭА-растворов.

Присутствие аммиака в кислом газе, поступающем на установку, ведет к возникновению следующих вторичных реакций:

- образование в результате реакций с серой отложений твердых аммонийных комплексов на холодных участках установки, если аммиак или его часть проходит через печь, не сгорая;
- возможное образование диоксида азота, катализирующего в присутствии кислорода окисление диоксида серы в триоксид.

Последний при взаимодействии с водой образует серную кислоту, которая усиливает сульфатирование катализатора, а также способствует коррозии оборудования. Аммиак из сырьевого потока необходимо разрушать на стадии термического сжигания.

В настоящее время разработан процесс *Суперклаус*, в котором модифицирована система управления и введена стадия прямого селективного окисления H_2S , отходящего с конечного конвертора, до серы в присутствии специального катализатора. Степень извлечения серы достигает 99–99,5%. К основным преимуществам процесса Суперклаус относятся также отсутствие сточных вод, увеличение продолжительности активности и срока службы катализаторов в результате предотвращения сульфатации при работе в среде, обогащенной H_2S .

Широко применяемым методом обезвреживания хвостовых газов на установках производства элементарной серы является *термический дождь*. Эффективность очистки от H_2S данным методом достигает 94,6%, а концентрация вредных веществ в хвостовых газах после дождя составляет: H_2S — 0,42 г/м³, SO_2 — 1,36 г/м³.

Задача снижения выбросов SO_2 решается путем реконструкции и модернизации топливных систем, в том числе системы энергетических паровых котлов и системы обеспечения работы технологических печей. Следует отметить, что реконструкция топливных систем позволяет снизить выбросы не только SO_2 , но и оксидов азота, твердых веществ, оксида углерода.

Комплексный подход к проблеме снижения выбросов сернистых соединений позволяет значительно снизить выбросы данного вида загрязнителей в атмосферу даже при увеличении мощностей предприятий и вводе в эксплуатацию новых производств.

Оксиды азота. Наиболее простым и экономичным методом снижения выбросов NO_x является совершенствование процесса сжигания топлива, на это и должны быть направлены основные мероприятия.

Монооксид углерода. К мероприятиям, проводимым по снижению выбросов CO , относятся:

- каталитический дожиг отходящих газов;
- утилизация больших количеств газа в котлах-утилизаторах;
- дожиг отходящих газов в регенераторе на базе применения промотирующих добавок к основному катализатору процесса крекинга.

С ростом доли тяжелого и остаточного сырья в общем объеме сырья каталитического крекинга, а также с ужесточением экологических требований актуальность проблемы сокращения вредных выбросов в атмосферу на этих установках возрастает. Одним из наиболее рациональных и перспективных способов совершенствования процесса регенерации является *регулируемое окисление* CO и *связывание* SO_2 в объеме регенератора с помощью специальных катализаторов.

Наиболее эффективный подход к сокращению выбросов оксида углерода — есть предотвращение его образования. С этой целью проектируются форсунки, обеспечивающие хорошее смешение с воздухом, внедряются системы контроля за полнотой сгорания топлива и другие мероприятия. К сожалению, меры, направленные на подавление образования оксида углерода, приводят к повышению концентрации оксидов азота, и наоборот. Поэтому каждый тип устройств для сжигания следует оценивать по выбросам отдельных загрязняющих веществ.

При выделении больших количеств CO , например при выжиге кокса на регенераторных установках, его собирают в котлах-утилизаторах. При низких концентрациях CO в выбросе требуется применять устройства для каталитического дожигания. Оксид углерода можно избирательно отделить от других газов посредством промывки специальными растворами, например аммиачным раствором формиата меди.

Снижение выбросов CO на установках каталитического крекинга достигается дожигом отходящих газов и полным дожигом непосредственно в регенераторе на базе применения промотирующих добавок к основному катализатору (благородный металл на оксиде алюминия). Концентрация CO в отходящих газах снижается при этом от 10 до 0,1%.

Углеводороды. Можно выделить основные способы снижения уровня загрязнения атмосферы при хранении нефти и нефтепродуктов.

1. Обеспечение поступлений на завод сырой нефти с давлением насыщенных паров и содержанием минеральных солей, отвечающих установленным требованиям.

2. Обеспечение стабилизации вырабатываемых на заводах бензиновых компонентов и других легких фракций, направляемых для хранения в резервуары. Причинами неудовлетворительной работы системы

стабилизации бензиновых компонентов могут быть: низкое давление в стабилизаторах и недостаточное число фракционирующих тарелок, малый диаметр аппарата, низкая температура нагрева продукта, нарушение технологического режима работы и т. п.

3. Обеспечение охлаждения светлых продуктов, направляемых в резервуары для хранения, до минимально возможной температуры, для чего необходимо сооружать дополнительные концевые холодильники. Исследования показали, что при снижении температуры охлаждения светлых продуктов перед поступлением их в резервуары для хранения на 10–15 °С, потери от «дыхания» резервуаров уменьшаются в 1,5–2,5 раза.

4. Замена резервуаров с шатровой крышей на резервуары с плавающими крышами, понтонами или резервуары, работающие при избыточном давлении. В резервуарах с плавающей крышей нет газового пространства над продуктом, т. е. исключены потери от «дыханий». Резервуары подобных конструкций могут быть большой емкости, что дает значительную экономию капитальных затрат на их сооружение, а также дополнительно сокращаются потери продукта при малых «дыханиях».

5. Оборудование действующих резервуарных парков специальными системами улавливания испаряющихся из резервуаров паров нефтепродуктов: адсорбцией паров на активированном угле с циклической вакуумной регенерацией последних и поглощением десорбированных паров потоком бензина; адсорбцией паров бензином при пониженных температурах; сжиганием выделяющихся паров.

Нефтепродукты, поступающие с оборотной водой, в основном испаряются в воздух. Например, в градирнях НПЗ удаляется с воздухом через открытые вентиляторы 2500 т/год углеводородов (УВ). Для снижения выбросов из очистных сооружений необходимо уменьшить расход сточных вод за счет использования системы оборотного водоснабжения и аппаратов воздушного охлаждения. Кроме того, следует заменить нефтеловушки открытого типа закрытыми, полностью или частично герметизированными.

Твердые вещества. Выбор системы пылеочистки должен базироваться на комплексном рассмотрении всего технологического процесса. Методы снижения расхода катализатора путем его извлечения из контактных газов в аппаратах технологической пылеочистки и принудительного возврата в реакционную систему, predeterminedенную технологией каталитического крекинга. Эти методы устанавливают взаимно однозначное соответствие между фракционным составом катализатора в системе, скоростью его уноса из псевдосжиженного слоя, интенсивностью истирания и весовой скоростью потерь. На балансовые показатели процесса каталитического крекинга и систем пылеулавливания значительное влияние оказывают свойства катализаторов. Поэтому

при расчете систем пылеулавливания необходимо учитывать различия в физико-механических характеристиках рабочих и поступающих на установку катализаторов.

При этом выносные (дополнительные) системы пылеулавливания, независимо от их схемы, должны обеспечивать санитарные требования по ПДК и обладать высоким уровнем надежности, низким гидравлическим сопротивлением, малой металлоемкостью.

Наибольшее применение нашли выносные схемы, включающие одновременно групповые, или батарейные, циклоны, электрофильтр, сепараторы тонкой очистки для подготовки газов и рекуперации их энергии в турбинах.

Повышение эффективности работы факельной установки. Сокращение объемов газов, сбрасываемых на факел, и возврат их в производство — одна из актуальных задач нефтепереработки. Опыт показывает, что выброс газов при пуске установок, в аварийных ситуациях и при нарушениях технологических режимов пока неизбежен. При этом состав и объемы газов могут сильно различаться. Факельная установка всегда должна быть готова к приему и обезвреживанию аварийных и периодических выбросов, поэтому ее необходимо снабжать специальными горелками. Постоянные выбросы должны собираться на установке утилизации и возвращаться на переработку или использоваться в качестве топливного газа. Основные *достоинства* факельных установок: возможность обезвреживания значительных объемов сбрасываемых газов (более 400 т/ч) и удаленность от пожароопасных объектов (10–15 м).

Эксплуатационные показатели факельных систем должны характеризоваться стабильностью пламени, полнотой сгорания газа, надежностью воспламенения, эффективностью управления при изменении объемов или состава сгорающего газа, бездымностью работы.

Загрязнение гидросферы

Со сточными водами нефтеперерабатывающих предприятий в водоемы также поступает значительное количество нефтепродуктов, сульфидов, хлоридов, соединений азота, фенолов, солей тяжелых металлов, взвешенных веществ и др. На НПЗ происходит загрязнение почвенного слоя нефтепродуктами на значительную глубину, а в подпочвенных горизонтах образуются линзы нефтепродуктов, которые могут мигрировать с грунтовыми водами в отдаленные районы.

Со сточными водами НПЗ в водоемы попадают: соленая вода электрообессоливающих установок, ловушечная нефть, нефтешламы, нефтепродукты, химические реагенты, кислые гудроны, отработанные щелочные растворы и т. д. В мировой океан ежегодно попадает более 15 млн тонн нефти и нефтепродуктов (1 т нефти образует на поверхности воды пленку диаметром 12 км). Нефтяная пленка существенно

ухудшает газообмен и испарение на границе атмосфера — гидросфера, в результате чего гибнут планктон, водная флора, рыбы, морские животные и т. д. Кроме этого, обитатели морских и пресных водоемов, подвергаясь токсичному действию нефтепродуктов, обладают способностью аккумулировать их в своих тканях.

Потребление свежей воды для обессоливания нефти доходит до 500 тыс. м³ в год. Образующиеся нефтесодержащие сточные воды должны подвергаться утилизации или очистке. Вода, отделенная от нефти, содержит много примесей, сброс ее в реки и на поля категорически запрещен. Значительная часть нефтесодержащих вод закачивается в скважины, через очистные сооружения пропускается около 70% сточных вод.

Основными источниками загрязнения воды нефтепродуктами являются неплотности в различных соединениях технологических цепочек, утечки из сальниковых насосов, технологические конденсаты, атмосферные осадки, контактирующие с проливами на технологических площадках.

В соответствии с принятыми в настоящее время стандартами, сброс производственных сточных вод, содержащих нефть и нефтепродукты, должен отвечать следующим нормативным показателям:

- при сбросе в водоем рыбохозяйственного использования содержание НП нормируется не выше 0,05 мг/л;
- при сбросе в систему городской хозяйственной канализации — не выше 4 мг/л (в перспективе до 0,2 мг/л);
- для морских сбросов — 25 мг/л.

Основным технологическим показателем качества сточных вод, сбрасываемых установками завода, является содержание в них НП.

Контроль за содержанием НП в сточной воде установок и цехов предприятия позволяет, наряду с другими факторами, оценить правильность ведения технологического процесса, своевременно выявлять нарушения технологии производства, находить такие повреждения, как пропуски конденсационно-холодильного оборудования и т. д. Следует отметить, что наряду с проблемой загрязнения НП имеется проблема загрязнения водных потоков другими вредными компонентами: фенолом, сероводородом, хлоридами, взвешенными веществами и др.

Более половины вклада в общее загрязнение сточных вод фенолом приходится на установки очистки технологического конденсата и сернисто-щелочных стоков (47%), установки каталитического крекинга (5%), установки ЭЛОУ и первичной переработки нефти (3%).

К основным загрязнителям сточных вод сероводородом относятся установки очистки технологического конденсата и сернисто-щелочных стоков (80%), а также установки ЭЛОУ и первичной переработки нефти (20%).

Основными источниками хлоридов в сточной воде являются стоки установок химводоочистки (36%) и солесодержащие стоки ЭЛОУ (12%).

Таким образом, основными загрязнителями, присутствующими в сточных водах НПЗ, являются НП, взвешенные вещества, соли, органические соединения, фенолы, аммонийный азот, растворенный сероводород. В табл. 11.4 представлены усредненные данные по загрязнению сточных вод нескольких НПЗ.

Таблица 11.4

Усредненные данные по загрязнению сточных вод

Загрязнитель сточных вод	Концентрация, мг/л		
	После очистки на НПЗ	Норма для биоочистки	Норма для водоема
Нефтепродукты	7,9	≤ 4	$< 0,05$
Сероводород	3,2	—	—
Фенол	1,3	0,1	$< 0,01$
Хлориды	540	≤ 340	< 300
Сульфаты	146	—	< 100
Взвешенные вещества	7,9	—	—
ХПК	130	—	< 15
БПК ₅	64	—	< 3
Аммонийный азот	52	≤ 30	$< 0,39$

Конечно, объем и качество потребляемой в технологическом процессе воды и состав отводимых в открытые водоемы сточных вод зависят от технологии производства, вида выпускаемой продукции, уровня технологического оснащения предприятия и внутри- и внезаводских сооружений водоочистки и водоподготовки. Особенностью предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности является то, что сточные воды образуются, как правило, не от изолированных производственных процессов или агрегатов, а являются совокупностью потоков, собираемых от предприятия в целом.

В зависимости от источников образования сточные воды подразделяют на следующие группы.

1. *Нейтральные нефтесодержащие* сточные воды. К ним относятся сточные воды, образующиеся при конденсации, охлаждении и водной промывке НП (кроме вод барометрических конденсаторов), после очистки аппаратуры, смыва полов помещений, от охлаждения втулок сальниковых насосов, дренажные воды из лотков технологических аппаратов, а также ливневые воды с площадок технологических установок.

2. *Солесодержащие* сточные воды (стоки ЭЛОУ) с высоким содержанием эмульгированной нефти и большой концентрацией растворенных солей, в основном хлорида натрия. Они поступают от электрообессоливающих установок и сырьевых потоков. К ним относятся дождевые

воды с территории указанных объектов. Содержание солей в водах этой группы зависит главным образом от качества нефти, поступающей на переработку.

3. *Сернисто-щелочные* сточные воды образуются при защелачивании светлых НП и сжиженных газов.

4. *Кислые* сточные воды с установок регенерации серной кислоты образуются в результате неплотностей соединений в аппаратуре, потерь кислоты из-за коррозии аппаратуры.

5. *Сероводородсодержащие* сточные воды поступают в основном от барометрических конденсаторов, установок каталитического крекинга, замедленного коксования, гидроочистки и гидрокрекинга.

Важнейшим из аспектов защиты гидросферы предприятий нефтеперерабатывающей промышленности является *совершенствование структуры водопотребления и водосбора*.

11.4. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОКОВ

Все сточные воды (производственные, ливневые и бытовые) проходят комплекс очистных сооружений, который состоит из трех отдельных блоков очистки и доочистки сточных вод промышленной канализации.

Механическая очистка

Используемые для этой цели решетки, песколловки, нефтеловушки, отстойники и другие устройства, как правило, задерживают основную массу сопутствующих загрязнений минерального происхождения (песок, земля и т. п.) и защищают от износа и забивания последующие устройства и сооружения.

Часть НП всплывает в виде пленки на поверхности воды, часть, покрывая грубодисперсные примеси, опускается на дно.

Физико-химические методы очистки сточных вод

После механической очистки оставшиеся в воде частицы НП (мельче 10 мкм) образуют эмульсионную систему, устойчивость которой определяется степенью дисперсности, поверхностными и электрокинетическими свойствами частиц.

Коагуляция. Устойчивость этой системы может быть нарушена с помощью гетерокоагуляции путем введения солей или электрокоагуляции (с помощью электролитов).

При *гетерокоагуляции* в сточные воды добавляют осаждающие или эмульгирующие вещества, способные образовывать мелкокристаллические или аморфные структуры, малорастворимые в воде. В качестве коагулянтов наиболее часто применяют соли алюминия и железа,

например $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и FeCl_3 . Дозы коагулянтов в каждом конкретном случае устанавливаются экспериментальным путем.

Скорость осаждения твердых частиц может быть значительно увеличена при добавке к очищаемому раствору **флокулянтов** (крахмал, поливиниловый спирт, полиакрилат натрия, полиэтиленамин, полиакриламид, белки и др.). Хлопьевидный осадок выделяют отстаиванием, фильтрованием и напорной флотацией.

Электрокоагуляция позволяет удалять растворенные и взвешенные примеси органического и неорганического происхождения электролизом сточных вод с использованием растворимых (железных или алюминиевых) электродов-анодов. Механизм процесса заключается в том, что при наложении электрического поля поляризуется двойной ионный слой коллоидных частиц, и он перемещается к электроду, имеющему противоположный заряд, т. е. происходит поляризационная коагуляция дисперсных частиц.

Электрокоагуляция имеет те же преимущества, что и гетерокоагуляция, и сверх того не требуется применения реагентов и, как результат, не увеличивается солесодержание воды.

Флотация. При флотации эмульгированные НП извлекаются пузырьками воздуха или смеси углеводородных газов, введенных в воду различными способами.

Классификация методов флотации осуществляется в зависимости от способа диспергирования воздуха или газа:

- при выделении газа из воздуха (вакуумная, напорная);
- с механическим диспергированием воздуха (импеллерная, безнапорная и пневматическая);
- при подаче воздуха через пористые материалы;
- электрофлотация.

Особого внимания заслуживает **электрофлотация**: когда при пропускании электрического тока через сточные воды на электродах образуются пузырьки газа необходимой дисперсности. Эти пузырьки флотируют загрязняющие примеси на поверхности. Кроме того, на плавучих очистных станциях распространена **пневматическая** флотация, когда сжатый воздух подается в стоки через перфорированные трубы. Но наибольшее распространение в практике получила **напорная** флотация.

Напорные флотационные установки состоят из напорного резервуара для предварительного насыщения воды воздухом и флотатора. В условиях понижающегося до атмосферного давления во флотаторе образуются пузырьки воздуха, которые выделяются на поверхность флотоагрегата.

Использование коагулянтов (в виде растворов сернокислого алюминия, железа и др.) и флокулянтов значительно интенсифицирует процесс флотации загрязнений, так как повышается гидрофобизация частиц.

Из других факторов, повышающих эффективность процесса флокуляции, следует отметить использование электрического поля вместе с коагуляцией примесей, оптимизацию температуры и среды.

Электрофлотация гидрофобных загрязнений из воды протекает под воздействием газовыделения, образующегося при электролизе водных растворов с применением электрохимически нерастворимых анодов, например угольных. Катод, как правило, изготавливают из сетки, а электродный блок располагают горизонтально на дне флотокамеры, что является одним из конструкционных недостатков из-за засорения блока.

Дисперсность пузырьков газа легко варьируется изменением плотности тока на электродах или диаметра и формы электрода, но для каждого технологического случая оптимальные параметры процесса определяются экспериментально.

Обычно плотность тока при электрофлотации находится в пределах 100–300 А/м², насыщенность жидкости водородом достигает 0,10–0,13% (об.), продолжительность процесса колеблется от нескольких до 30–40 мин, расстояние между электродами варьируется от 5 до 20 мм, расход электроэнергии составляет до 1 кВт·ч/м³. Эффект очистки воды по НП достигает 90%.

Адсорбция. Адсорбция — это практически единственный метод, позволяющий очищать сточные воды от НП до любого требуемого уровня без внесения в воду каких-либо вторичных загрязнений.

В качестве адсорбентов применяют природные и искусственные пористые материалы. Для очистки и доочистки сточных вод от НП используют: асбестосодержащий материал — отход производства асбестовых бумаг и картона (регенерация прокаливанием); пористый полимерный сорбент-сополимер стирола дивинилбензола (НП могут быть элюированы растворителем); древесные стружки, опилки, волокна, помещенные в пористые тканые оболочки (утилизация сжиганием) и другие материалы.

Чаще других сорбентов используется, однако, гранулированный активированный уголь, имеющий частицы размером более 0,10 мм и способный самопроизвольно отделяться от воды. Процесс изготовления высококачественных активных углей сложен и длителен, поэтому стоимость их достаточно высока. Для многократного использования необходима их регенерация.

Аппаратурное оформление сорбционной очистки — общепринятое в химической технологии напорные фильтры с плотным слоем гранулированных активных углей, перед которыми расположены механические фильтры.

Двухступенчатое фильтрование применяется при глубокой очистке сточных вод, содержащих эмульгированные и растворенные НП (очистка до 0,1–2 мг/л).

Существует три основных метода регенерации сорбентов: химический (обработка растворами реагентов — применяется редко), низ-

котемпературный (обработка с паром — эффективен для извлечения низкомолекулярных НП) и термический (десорбция высококипящих соединений парогазовыми смесями).

Биохимическая очистка

Сточные воды, содержащие 15–25 мг/л НП после механической и физико-химической очистки, перед сбросом в водоем направляют на биохимическую очистку, заключающуюся в окислении органических загрязнений микроорганизмами.

Для очистки нефтесодержащих сточных вод наибольшее распространение получили биофильтры и аэротенки. *Биофильтр* — это прямоугольный или круглый резервуар, обычно изготовленный из железобетона или кирпичей с двойным дном. На верхнем дырчатом дне располагают фильтрующую загрузку из прочных и химически стойких материалов: шлака, гранитного щебня, кокса, керамзита и др. Нижнее сплошное дно служит для сбора воды, прошедшей фильтр.

Обработка и ликвидация нефтяного шлама

Нефтяной шлам (осадки) — это все примеси, задержанные отстойниками, флотационными, фильтрационными и другими сооружениями, т. е. то, что извлекается из воды в результате механической, физико-химической и биологической очистки стоков. Объем осадков зависит от вида обрабатываемых стоков и принятого метода очистки. Так, при совместной очистке бытовых и производственных сточных вод объем образующихся осадков обычно не превышает 0,5–2% от объема очищенной воды. При локальной очистке производственных сточных вод, особенно с применением химических реагентов, количество образующихся осадков может достигать 10% расхода сточных вод.

Проблема обезвоживания и утилизации осадков является наиболее сложной. Цель обработки осадков сточных вод состоит как в утилизации ценных компонентов, содержащихся в осадках, так и в превращении их в безвредный продукт, не вызывающий загрязнений окружающей среды.

Чаще всего нефтешлам вывозят за пределы предприятия и складывают в шламонакопителях с последующим сжиганием в печах различных конструкций, ликвидируют путем *биоремедиации* с применением специальных биопрепаратов либо выбрасывают на свалки, что недопустимо.

11.5. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЕННОГО СЛОЯ

В районах интенсивной добычи нефти в ряде случаев наблюдается существенное оседание поверхности земли, засоление почвенных вод и другие вредные воздействия. В результате эксплуатации предприятий

происходит загрязнение грунтов и подземных вод. На типовом предприятии, перерабатывающем 15–16 тыс. тонн нефти в сутки, только в процессах глубокого обезвоживания и обессоливания нефти выделяется около 26–30 т твердых солей и твердых механических примесей в виде нефтешламов. Они содержат в своем составе до 30% углеводородов — нефти и нефтепродуктов и 30–50% воды. Таким образом, НПЗ «поставляет» более 100 т в сутки твердых или пастообразных нефтесодержащих пожароопасных отходов.

К числу твердых отходов на предприятиях нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, загрязняющих литосферу, относятся: различные химические продукты; адсорбенты, не подлежащие регенерации; зола и твердые продукты, получающиеся при термической обработке сточных вод; различные осадки, смолы, пыль, образующаяся при очистке выбросов и др.

Самая простая их утилизация в случае, если это допустимо, состоит в сжигании в печах различных типов. Образовавшуюся золу и шлак иногда можно использовать в качестве наполнителя в производстве стройматериалов или в качестве удобрения. При невозможности использования — золу, шлак и горючие твердые отходы производства направляют на захоронение.

В нефтеперерабатывающей промышленности одними из основных твердофазных отходов являются *кислые гудроны*. Они образуются в процессах сернокислотной очистки ряда нефтепродуктов (масел, парафинов, керосиногазойлевых фракций и др.), а также при производстве сульфонатных присадок, синтетических моющих средств и др. В России ежегодно образуется около 300 тыс. тонн кислых гудронов, степень использования которых не превышает 25%.

Кислые гудроны обычно разделяют на гудроны с большим содержанием кислоты и гудроны с высоким содержанием органической массы, что определяет их использование. Оба вида могут быть переработаны в сульфат аммония, использованы в виде топлива (непосредственно или после отмывки содержащейся в них кислоты) или в качестве агента для очистки нефтепродуктов. Однако сложность технологии получения сульфата аммония на базе кислых гудронов и необходимость больших затрат на очистку выбросов при использовании кислых гудронов в качестве топлива и агента очистки нефтепродуктов являются существенными препятствиями для широкой промышленной реализации этих процессов.

Перспективным направлением представляется использование гудронов с высоким содержанием кислоты в качестве сульфорирующего агента для производства сульфонатных присадок и их переработка с целью получения диоксида серы, высокосернистых коксов, битумов и некоторых других продуктов. Так, при переработке кислых гудронов в диоксид серы с целью получения серной кислоты к ним обычно добавляют жидкие производственные отходы — растворы отработанной серной кисло-

ты. Термическое расщепление смеси кислых гудронов и отработанной серной кислоты проводят в печах сжигания при 800–1200 °С. В этих условиях происходит образование диоксида серы и полное сжигание органических веществ.

Органическая часть кислых гудронов включает различные сернистые соединения, смолы, твердые асфальтобетонные вещества — асфальтены, карбены и другие компоненты нефтепродуктов. Это позволяет перерабатывать их в битумы, широко используемые в качестве дорожно-строительных материалов.

Наибольшую трудность в нефтепереработке представляет качественная переработка гудронов с высоким содержанием асфальтосмолистых веществ, металлов и других соединений, требующая значительных капитальных и эксплуатационных затрат. В этой связи на ряде наших НПЗ и за рубежом ограничиваются переработкой гудронов с получением таких НП, как котельное топливо, битум, нефтяной пек, нефтяной кокс и т. д.

Глубокая переработка гудронов с максимальным получением компонентов моторных топлив может быть осуществлена посредством тех же промышленных технологических процессов, которые применяются при переработке вакуумных (глубоковакуумных) газойлей, но с предварительной деасфальтизацией (ДА) сырья, где одновременно достигается деметаллизация и снижение коксуемости нефтяного остатка.

В отечественной и зарубежной нефтепереработке наибольшее распространение имеет вариант переработки вакуумного газойля, позволяющий получать из сырья значительно больше высокооктановых компонентов автобензинов.

11.6. НЕОБХОДИМОСТЬ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

В наступившем веке актуальнейшей проблемой мировой экономики будет исчерпание запасов нефти, а следовательно, необходимость ее рационального использования. Извлекаемых запасов нефти при сохранении нынешнего уровня ее добычи хватит примерно на 40–50 лет. Запасы нефти в России за последнее десятилетие практически не пополнялись новыми геологическими открытиями месторождений, и к тому же они истощились в результате неэффективной разработки и неглубокой переработки. В ближайшие два-три десятилетия мы обречены работать с трудно извлекаемыми низкорентабельными запасами, малодобитными месторождениями с высокой степенью выработанности начальных запасов нефти.

Проблема дефицита дешевой нефти для России становится исключительно актуальной. Но, тем не менее, Россия, как и в годы «нефтяного бума», продолжает экспортировать нефть в больших объемах (около половины добычи). Не исключено, что если своевременно не покончить с ошибочными представлениями о неиссякаемости и неисчерпаемости

нашей нефти, то через несколько десятилетий придется внести ее в «Красную книгу» природных ресурсов, и последующие поколения россиян будут вынуждены синтезировать ее из твердых горючих ископаемых.

Эффективность переработки нефти в России существенно отстает от ведущих стран мира (США и стран Западной Европы) не только по объему и по глубине переработки нефти, но и по превращению ее в моторные виды топлива.

В условиях реально наступающего дефицита нефти и возрастающих сложностей по ее извлечению из недр земли, а также при наличии в достаточных количествах газового и угольного топлива для сжигания в топках котлов существующая практика нерационального расходования нефтяных ресурсов не может быть оправдана. Нефть должна полностью и без остатка перерабатываться с получением только высококачественных и экологически чистых продуктов, прежде всего моторных топлив, высокоиндексных смазочных масел и сырья для нефтехимического синтеза. Стратегическим направлением развития нефтепереработки следует узаконить глубокую и безостаточную переработку нефти.

Глубина отечественной переработки нефти в 2008 г. составила 71,5%. При нынешнем состоянии техники и технологии нефтепереработки отечественные НПЗ способны превратить в моторное топливо лишь дистиллятные фракции нефти, выкипающие до 500° (примерно 2/3 ее части). Остальная ее треть в виде сернистого и высокосернистого котельного топлива сжигалась и продолжает сжигаться тепло- и электростанциями, выбрасывая в воздушный бассейн огромные количества токсичных оксидов серы и азота. В настоящее время и в перспективе нет альтернативы рациональному и комплексному использованию нефти, ее глубокой, «безостаточной» переработке.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем основная причина образования большого количества отходов при переработке нефти в России?
2. Назовите основные методы предотвращения загрязнения атмосферы на НПЗ.
3. Чем вызвано наличие горящих факелов на НПЗ?
4. Каким образом осуществляется очистка нефтесодержащих сточных вод до ПДК?
5. Как осуществляется обезвреживание нефтешламов?
6. Каковы пути переработки кислых гудронов?
7. Почему будущее в переработке нефти остается за нефтехимией?

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Кокс — «хлеб» промышленности.

В настоящее время коксохимическое производство — это одно из самых «грязных» производств. Оно является основным источником загрязнения окружающей среды фенолом, бенз(а)пиреном, другими органическими соединениями, аммиаком, оксидом углерода, соединениями азота и серы, пылью. Большинство этих веществ — высокотоксичные или могут превращаться в токсичные соединения при взаимодействии с другими веществами. Некоторые вещества (CO_2 , диоксид азота и метан) являются парниковыми газами и способствуют потеплению климата на планете.

В большинстве случаев коксохимические предприятия расположены в регионах со значительной концентрацией промышленного производства и высокой плотностью населения. Крайне неблагоприятная экологическая обстановка, сложившаяся в последние годы в крупных металлургических центрах, в определенной степени обусловлена низкими темпами технического перевооружения коксохимической подотрасли, медленным внедрением в практику новых технологических процессов, современных агрегатов и оборудования.

В то же время ни сегодня, ни в ближайшем будущем невозможно будет отказаться от кокса и химических продуктов коксохимических производств. Поэтому необходимо разрабатывать такие производственные комплексы, которые позволили бы сохранить и улучшить нынешнее состояние окружающей среды. Единственный путь сокращения вредного воздействия в данных условиях — это дальнейшее развитие наиболее современных технологий и производств при одновременном сокращении вредных выбросов, а также удельного расхода ресурсов и энергии на единицу продукции.

12.1. ДЛЯ ЧЕГО НУЖЕН КОКС?

Коксование возникло в XVIII в., когда истребление лесов для получения древесного угля, первоначально шедшего на выплавку чугуна, стало угрожающим и потребовалось заменить этот уголь минеральным топливом. В 1735 г. в Великобритании была проведена первая доменная плавка на коксе. Кокс выжигался в кучах, подобно тому как до этого выжигался древесный уголь. В конце XVIII в. было освоено коксование в полузакрытых, а с 1830 г. — в закрытых камерах, причем выделяющиеся летучие продукты сжигались. С 70-х годов XIX в. начинают использовать летучие продукты; совершенствуются методы обогрева печей для коксования. К началу XX в. процесс коксования оформился

в современном виде и в дальнейшем происходило лишь его совершенствование [35]. На рис. 12.1 представлен общий вид коксовой батареи.

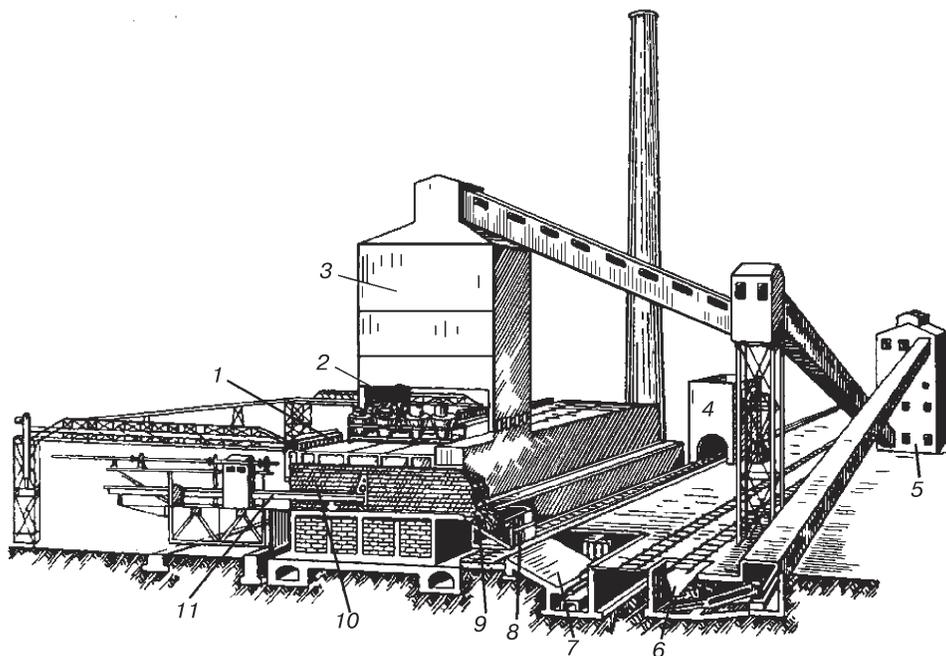


Рис. 12.1. Общий вид коксовой батареи: 1 — отвод коксового газа; 2 — погрузочная тележка; 3 — распределительная башня; 4 — тушильная башня; 5 — отделение для дробления и смешения угля; 6 — приемный бункер для сырого каменного угля; 7 — платформа для выгрузки остуженного кокса; 8 — тушильный вагон; 9 — кокс; 10 — камера коксования; 11 — коксовыталькиватель

Коксохимия — это область химии и химической промышленности, занимающаяся переработкой природных топлив, главным образом каменного угля, в кокс и другие ценные продукты методом коксования путем нагревания до $950\text{--}1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ без доступа воздуха. Основными коксохимическими продуктами кроме кокса являются коксовый газ, продукты переработки сырого бензола, каменноугольной смолы и аммиака (аммиачные удобрения); их полный ассортимент включает около 80 наименований.

Кокс — это твердые горючие остатки, получающиеся при термической обработке различных органических веществ без доступа воздуха. Обычно высокотемпературный кокс называют просто коксом. В зависимости от сырья, из которого получен твердый остаток, различают буроугольный, торфяной, каменноугольный, пековый и другие коксы. Названия «доменный» и «литейный» коксы указывают на процессы или производства, где используется данный вид кокса.

Производство кокса неразрывно связано с производством электродной продукции, которое начало развиваться в конце XIX в. Тогда была открыта возможность превращения при высоких температурах угля в графит, обладающего высокими электропроводными и другими свойствами.

Основные потребители кокса — черная и цветная металлургия, литейное производство и химическая промышленность.

В доменном производстве кокс является источником тепла, восстановителем железных руд и разрыхлителем шихтовых материалов. В литейном производстве кокс является основным источником тепла, необходимого для переплавки чугуна и скрапа.

Кокс также применяют для восстановления свинцовых, оловянных и медных руд, в производстве цинка, для обжига известняка и цемента.

Кокс с размером частиц 10–25 мм (кокс класса 10–25) широко используется в производстве ферросплавов (ферросилиция, феррохрома, ферромарганца и т. п.). Кокс класса 25–40 применяют для производства карбида кальция. Коксовая мелочь широко используется для агломерации железных руд.

12.2. СЫРЬЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КОКСА

Сырьем для коксования служат специальные сорта каменных углей, способных спекаться (коксующиеся угли). Добываются длиннопламенные (Д), газовые (Г), газожирные (ГЖ), коксовожирные (КЖ), жирные (Ж), коксовые (К), оттощено-спекающиеся (ОС) и тощие (Т) угли. Угли марок ОС, Т, Г, ГЖ и Д дают плохой кокс. Однако ввиду дефицитности коксующихся углей перед коксованием обычно составляют смесь углей разных сортов (*шихту*). В шихту могут вводиться значительные количества самостоятельно не коксующихся углей, но такие, чтобы суммарные свойства шихты обеспечивали нормальный процесс коксования.

Основным свойством, определяющим пригодность шихты для коксования, является ее способность образовывать при нагревании пластический слой достаточной толщины, вязкости и с требуемым ходом термического разложения. Проверка качества углей выполняется в лаборатории. Показателями служат толщина пластического слоя и усадка угля при коксовании. Последняя необходима для обеспечения выдачи «коксового пирога» из печи. Кроме того, состав шихты регламентируется по содержанию золы, серы, влаги и ряда других примесей. Для удаления из компонентов шихты нежелательных примесей угли предварительно обогащают и затем (для придания шихте однородности) тщательно смешивают, дробят. Содержание фракции размером 3 мм в измельченной шихте должно быть около 95%.

Данные по производству каменноугольного кокса в период с 1913 по 2009 г. представлены в табл. 12.1.

Таблица 12.1

**Динамика производства каменноугольного
кокса в России, СССР и РФ**

Год	Производство валового кокса, тыс. тонн	Год	Производство валового кокса, тыс. тонн
1913	444,3	1980	8 591,5
1927	417,6	1992	30 423,0
1937	2 002,8	1994	25 392,0
1940	2 110,1	1997	25 603,0
1945	1 364,8	2000	28 100,0
1955	4 359,2	2001	29 930,2
1965	6 746,2	2004	34 200,0
1970	7 540,4	2009	27 304,0

Из данной таблицы отчетливо видно, что потребность, а следовательно, и производство кокса постоянно растет. Колебание производства кокса связано с политической обстановкой в стране. Кокс и химические продукты коксования производятся на современных коксохимических заводах, имеющих в своем составе ряд основных производственных цехов и вспомогательных служб.

К основным производственным цехам относятся:

- углеподготовительный цех, где осуществляются прием, хранение, подготовка углей и получение угольной шихты для коксования;
- коксовый цех, в котором происходит термическая переработка угольной шихты с получением кокса и парогазовых продуктов коксования;
- цех охлаждения и улавливания парогазовых продуктов и выделения химических соединений (аммиака, сырого бензола, каменноугольной смолы и др.);
- цех по переработке уловленных продуктов (ректификации, смолонергонный, пекококсовый и др.).

К вспомогательным службам относятся: железнодорожный и ремонтно-механический цеха, центральная и цеховые заводские лаборатории, отдел технического контроля (ОТК), энергетический и другие отделы.

Технология процесса коксования углей

Коксование осуществляется в высокопроизводительных коксовых печах, обогреваемых низкокалорийным (доменным) или высококалорийным (коксовым) газом. На рис. 12.2 представлена одна из существующих схем производства кокса.



Рис. 12.2. Технологическая схема производства кокса

Для получения кокса изначально используют смесь углей разных составов. Смешивание углей осуществляется непосредственно на коксовой установке и сопровождается значительным пылением.

Подготовленную угольную смесь перед загрузкой в печную камеру обычно подогревают до температуры около $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, чтобы снизить в углях содержание влаги до 6–10%. Предварительный нагрев, способствующий также повышению стабильности кокса, осуществляется в камерах сгорания.

Коксование углей протекает в несколько стадий. При нагревании до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ выделяется небольшое количество легкой смолы, образующейся при расщеплении кислородных соединений, входящих в состав угля. Приблизительно при $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ уголь размягчается, переходя в тестообразное, пластическое состояние. В расплаве происходит интенсивное разложение угля с выделением так называемых первичных продуктов (первичного газа и первичного дегтя), имеющих сложный состав.

Тяжелые углеродистые остатки от разложения угля спекаются при температуре около $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, образуется твердый пористый продукт — **полукокс**. После охлаждения и конденсации из летучих продуктов выделяют *полукоксовую*, или низкотемпературную, *смолу* и газообразные продукты — *полукоксовый газ*.

Полукокс находит широкое применение. В частности, он является высокоэффективным бытовым и энергетическим топливом, так как горит практически бездымно и не образует смол при нагревании, как многие угли. Кроме того, он обладает большой реакционной способностью при взаимодействии с кислородом.

Полукокк используется также в процессах газификации и при производстве ферросплавов. В последнее время полукокк применяется в качестве промежуточного продукта при производстве формованного металлургического кокса. Буроугольный полукокк можно использовать в шихтах для коксования. Значительный эффект достигается при вдувании измельченного полукокса в доменную печь, где он играет роль топлива, а также химического реагента. Это позволяет сэкономить значительное количество доменного кокса из дорогих и дефицитных спекающихся углей.

Полукоксовый газ в основном используется на нагрев топлива и другие нужды на самом предприятии, где проводится коксование. Избыток полукоксового газа может быть использован как бытовое топливо, а также для органического синтеза.

Полукоксовые смолы, в принципе, могут быть сырьем для получения моторных топлив, фенолов, парафинов, углеводородов ароматического ряда, в частности бензолов, гомологов нафталина и др.

При дальнейшем нагревании полукокк теряет остаточные летучие вещества, главным образом водород, и претерпевает усадку, вызывающую его растрескивание. При температуре от 650 до 800 °С полукокк переходит в кокс среднетемпературного коксования. Выше 950 °С полукокк полностью превращается в кокс.

Первичные продукты разложения, соприкасаясь с раскаленными стенками и сводом печи, а также с коксом, подвергаются пиролизу и превращаются во вторичные продукты. В составе газа преобладающими становятся H_2 (50% об.) и CH_4 (25% об.). Вторичные продукты улавливаются и используются как ценное сырье для химической промышленности.

В коксовой печи коксование протекает послойно, причем температура слоев снижается от стенок печи, нагретых свыше 1000 °С, к середине загрузки. Соответственно этому и состав слоев, начиная от стенок, меняется в последовательности: кокс — полукокк — уголь в пластическом состоянии — сухой уголь — сырой уголь. Коксование считается законченным, когда все увеличивающиеся по толщине слои кокса сойдутся в середине печи. К концу коксования образовавшийся «коксовый пирог» в результате усадки оказывается разделенным пополам швом-разрывом, идущим параллельно стенкам камеры, а каждая половина «пирога» — расчлененной на более или менее крупные куски трещинами, проходящими перпендикулярно стенке. Коксование длится 13–18 ч.

По окончании процесса коксования готовый кокс выгружают (выталкивают) из камерных печей коксовой батареи (рис. 12.3).

Мокрое тушение кокса. Технологический процесс производства кокса заканчивается выдачей его из печей с температурой 950–1100 °С. Чтобы предотвратить горение раскаленного кокса после выгрузки из печи, а также сделать кокс пригодным для транспортировки и хране-

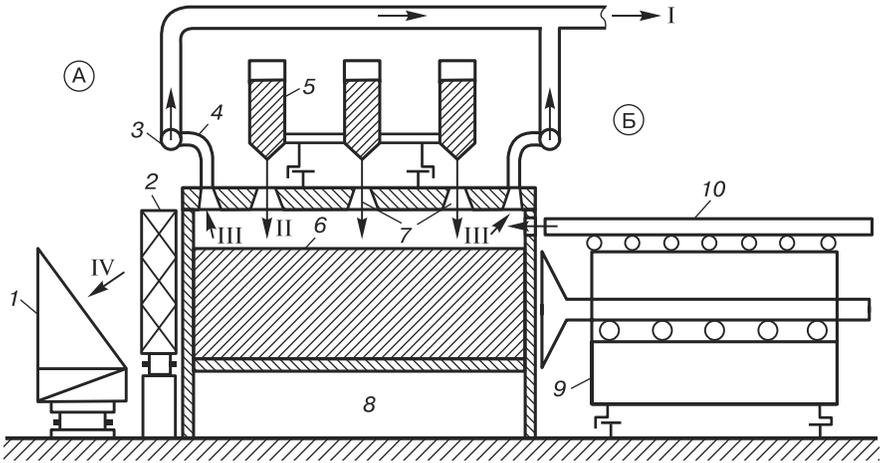


Рис. 12.3. Коксовая батарея (поперечный разрез): 1 — коксотушильный вагон; 2 — дверсъемная машина; 3 — газосборник; 4 — стояк; 5 — углезагрузочный вагон; 6 — камера коксования; 7 — регенератор; 8 — люки для загрузки шихты; 9 — коксовый талкатель; 10 — планирная штанга; А — коксовая сторона; Б — машинная сторона; потоки: I — прямой (сырой) коксовый газ; II — шихта; III — парогазовые продукты коксования; IV — кокс

ния, необходимо снизить его температуру до $250\text{--}100^\circ\text{C}$, при которой исключается самовозгорание и тление, т. е. кокс необходимо «потушить».

Коксотушильная установка состоит из тушильной башни и отстойников для осветления вод тушения. Под куполом или навесом тушильной башни находится оросительное устройство, а над ним вытяжная труба для отвода водяных паров. Вода на тушение подается в оросительную систему насосами из сборника осветленной воды. Расход свежей воды, поступающей на тушение, зависит от свойств кокса, в среднем он составляет $4\text{--}5\text{ м}^3$ на тонну кокса. Часть (10–15%) воды, идущей на тушение, испаряется, часть остается в коксе. При этом его влажность увеличивается в среднем до 3–5%, а **все тепло кокса, поглощенное водой, теряется полностью**. Большая же часть воды входит в оборотный цикл. Вода оборотного цикла загрязняется коксовой мелочью и поступает для осветления в специальные отстойники. После отстоя вода снова используется для тушения кокса. Коксовый шлак грейфером периодически удаляют из отстойников.

Основным недостатком мокрого тушения является потеря тепла — почти половина его теряется с парами воды. При мокром тушении в кусках возникают тепловые напряжения, приводящие к образованию трещин и разрушению кокса. При последующем использовании в доменной печи этот кокс подвергается еще большему дроблению. В результате кокс поступает в зону фурм домны с большим содержанием

мелочи. Это приводит к ухудшению ее работы в результате засорения труб, отводящих газы, коксовой мелочью, уносимой вместе с газовым потоком.

Сухое тушение кокса. Метод основан на охлаждении раскаленного кокса циркулирующими газами с последующим использованием тепла в котельной установке.

Преимуществами данного метода по сравнению с мокрым тушением являются:

- отсутствие выбросов паров воды в атмосферу и сбросов сточных вод тушильной башни;
- выдача потребителю сухого кокса с минимальной влажностью;
- получение кокса, более однородного по крупности;
- улучшение качества кокса, так как в этом случае он не подвергается разрушению из-за резкого охлаждения (расход этого кокса в доменном производстве на 2–3% ниже, чем кокса мокрого тушения);
- отсутствие коррозии металлоконструкций от паров мокрого тушения и др.

Основным недостатком является сильное пыление. Раскаленный кокс поднимается к разгрузочному устройству камеры сухого тушения в съемном кузове тушильного (коксовозного) вагона специальным подъемником и через загрузочное устройство попадает в форкамеру установки, расположенной непосредственно над камерой тушения (высота ее цилиндрической части приблизительно 9 м, а диаметр — 6 м). Между камерой и форкамерой есть окна для вывода из камеры тушения горячих газов. Форкамера предназначена для приема и постепенной подачи горячего кокса в камеру тушения. Между нижней конусообразной частью камеры и ее цилиндрической частью вмонтированы устройства для ввода охлажденных газов. В нижней части конуса находится устройство для выпуска охлажденного кокса на конвейеры. В цилиндрической части камеры кокс охлаждается движущимися снизу газами и постепенно опускается за счет непрерывной выгрузки его на конвейер, ведущий на коксортировку. Охлаждающие газы подаются в камеру по всему периметру конусообразной части и через распределитель в центре. Этим достигается равномерное распределение газов по всей массе кокса и его одинаковое охлаждение по горизонтальному сечению камеры тушения.

В верхней части камеры нагретые газы отводятся по всему периметру горизонтального сечения камеры через окна в кольцевой газоход, а затем в камеру обеспыливания, проходят поверхности нагрева котла-утилизатора. Охлажденные газы поступают в дымососы через специальные циклоны для дополнительного отделения пыли, чтобы снизить эрозию рабочих поверхностей дымососа.

Производительность каждой такой камеры составляет более 50 т кокса в час. Она работает в блоке с котлом-утилизатором, который

вырабатывает пар под давлением 3822 кПа при температуре 450 °С. Охлажденный кокс имеет температуру около 250 °С. Из 1 т потушенного кокса можно получить около 0,42 т пара указанных параметров.

Циркулирующий газ представляет собой смесь горючих и негорючих составляющих. Примерный состав циркулирующего газа, %: 5 CO₂, 18 CO, 66,6 N₂, 0,4 O₂. Количество CO может увеличиться до 23–24%.

Состав газообразной и жидкой фаз после процесса коксования углей. В состав отходящих газов входят, %: 46–65 H₂, 22–32 CH₄, 4–10 CO, 1–3 CO₂, 0,7–9 N₂, 1,0 O₂, 2–5 C_mH_n, 0,5–4,5 H₂S, 1,5–9 NH₃, 21–36 C₆H₆, 1,5–3 толуола, 0,03–0,08 бенз(а)пирена и 1,8–36 пыли.

В процессе коксования углей в камерных печах идет пиролиз угольной смеси, поэтому выделяются также гидрированные ароматические соединения, парафины, олефины, фенольные соединения, соединения азота.

В процессе коксования образуется большое количество сточных вод. Их состав и приблизительное количество в кубических метрах на тонну кокса можно представить следующим образом.

Надсмольная вода после аммиачной колонны	0,280
Вода из цикла конечного охлаждения	0,050
Сепараторная вода отделения улавливания бензолных углеводородов	0,076
Сепараторные воды смолоперерабатывающего цеха	0,090
Периодические стоки	0,042
Ливневые стоки	0,046
Итого, загрязненных стоков	0,584.

Кроме того, в системе оборотного водоснабжения циркулирует 27–37 м³ условно чистой воды в расчете на 1 т кокса.

12.3. ТОКСИЧНЫЕ ВЕЩЕСТВА КОКСОХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Во всех цехах коксохимического производства выделяется большое количество токсичных веществ. В табл. 12.2 приведен перечень основных веществ, с указанием токсичности и предельных допустимых концентраций (ПДК) в воздухе и воде. Все эти вещества оказывают значительное неблагоприятное воздействие на здоровье людей, нанося серьезный ущерб крови, органам дыхания, нервной системе и печени, генетическому аппарату. Особенно опасны 3,4-бенз(а)пирен и некоторые другие полициклические ароматические углеводороды, способные вызывать развитие злокачественных новообразований (канцерогены). В реальных условиях действие токсичных веществ может взаимно усиливаться. Так, фенолы сами по себе не являются канцерогенами,

но в их присутствии канцерогенные полициклические ароматические углеводороды легче проникают в организм и удерживаются в нем.

Таблица 12.2

Токсичность и ПДК некоторых веществ, выделяющихся при коксовании угля

	ЛД 50*	ЛК 50**	ПДК _{рз} , мг/м ³	ПДК _{сс} , мг/м ³
Аммиак	—	3,8	2	0,04
Сероводород	1200	—	10	0,008
Монооксид углерода	—	3,6	20	3
Цианистый водород	0,2	—	0,3	0,01
Бензол	5600	45	5	0,1
Толуол	7000	30	50	0,6
Фенол	395	260	0,3	0,003
Нафталин	490	—	20	0,003
Фенантрен	2000	—	0,8	—
3,4-бенз(а)пирен	—	0,02	0,00015	0,000001
Пиридин	—	—	5	0,08
Пыль	—	—	—	0,15
Сажа	—	—	—	0,05

* ЛД 50 — летальная доза вещества, вызывающая при введении в организм гибель 50% подопытных животных, мг/кг.

** ЛК 50 — летальная концентрация вещества, вызывающая при вдыхании гибель 50% подопытных животных, мг/л.

12.4. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Снижение уровня загрязнения атмосферы в настоящее время является наиболее актуальной социально-экономической проблемой в коксохимическом производстве.

Природоохранные мероприятия можно разделить на две группы: 1) мероприятия технологического плана, предусматривающие уменьшение количества отходящих газов и пылей от источника их образования; 2) мероприятия, предусматривающие модернизацию, реконструкцию и внедрение нового пылегазоочистного оборудования с целью повышения эффективности его работы.

Основные проблемы загрязнения атмосферы и пути их решения. Основными источниками газовых выбросов являются дымовые трубы коксовых батарей, технологические операции загрузки и выгрузки коксовых печей и тушения кокса, градирни цикла конечного охлаждения газа, воздушники оборудования химических цехов, аспирационные системы.

Выделение газа в результате плохой герметизации арматуры — это второй по значимости источник выбросов (двери, загрузочные люки, крышки стояков, а также неплотности кладки верха и фасадных стен). Выделение газа из неплотностей дверей, крышек стояков и загрузочных люков происходит только в результате плохой очистки их от отложений после выдачи кокса, плохой работы прижимных устройств, изношенности уплотняющих поверхностей.

Все *пылевые выбросы* делятся на организованные и неорганизованные. **Неорганизованные** происходят при загрузке угольной шихты в печные камеры, выдаче и тушении кокса. **Организованные** выбросы — из выхлопных труб систем аспирации объектов транспортирования, измельчения, сепарации, сушки угольной шихты, а также при перегрузках и рассеивании кокса, особенно кокса сухого тушения.

Организованные выбросы пыли уменьшаются посредством очистки в различных пылеуловителях. Борьба с неорганизованными загрязнениями ведется, как правило, технологическими мероприятиями или переводом их в организованные путем сооружения специальных устройств. Мероприятия по снижению организованных выбросов помимо защиты атмосферы улучшают условия труда.

Наиболее опасными *источниками пыли и аэрозолей* при работе коксового блока, на который приходится около 70% газовых выбросов, являются операции (выброс на 1 т кокса) термической подготовки угля (до 3,5 кг), выгрузка кокса (1 кг), загрузка печей (0,5 кг), мокрое тушение кокса (1,6 кг).

При термической подготовке углей в виде организованного выброса теряется примерно треть нагретого теплоносителя, содержащего оксиды углерода, азота и серы, а также аэрозоль мелких классов угля и небольшое количество продуктов термического разложения угольной пыли, накапливающихся в цикле теплоносителя. В этом случае для очистки газов и защиты воздушного бассейна используют скрубберы Вентури. Токсичные соединения подвергаются глубокому окислению на железных и платино-палладиевых катализаторах.

Входящие в состав отходящих газов **продукты пиролиза** требуют утилизации. Для очистки газов, отходящих из камерных печей, от пылей используются скрубберы и электрофилтры. Эффективность применения электрофилтров зависит от условий их эксплуатации и, в частности, от температуры отходящих газов на выходе из дымовых труб. *При бездымной загрузке угольной шихты* в камеры коксования с помощью инъекции газов загрузки в газосборник эффективность улавливания газов составляет: при пароинъекции 95%, а при гидроинъекции 99%.

Беспылевая выдача кокса с применением новой конструкции двухкамерного зонга, с установкой отсоса и сухой очистки выделяющейся пылегазовой смеси позволяет достичь эффективности улавливания и очистки 99% и локализации выбросов у батареи более 95%.

Двери коксовых печей усовершенствованной конструкции с пружинными затворами и гибкими уплотняющими рамками, а также с газоотводящими каналами, позволяющими снизить давление газа под уплотняющей рамкой, обеспечивают постоянную передачу нагрузок на уплотняющую рамку и требуемую газоплотность. Эффективность таких дверей не менее 95%.

Установка *газоотводящих стояков* с пневматическим уплотнением крышек и комбинированным уплотнением раструбов клапанных коробок, с применением гидрозатворов позволяет обеспечить требуемую герметичность и устранить утечки сырого газа. Эффективность этих мероприятий составляет 98%.

Самоуплотняющиеся крышки загрузочных люков с заливкой специальным раствором зазоров между крышкой и корпусом рамы люков позволяют достичь требуемой герметичности и газоплотности. Эффективность таких крышек также составляет 98%.

Свечи газосборников новой конструкции с автоматическим зажиганием и сжиганием аварийно сбрасываемых газов исключают сброс сырого коксового газа в атмосферу.

Регулирование процесса сжигания газа в отопительных каналах обогревательных простенков с рециркуляцией продуктов горения с нисходящего потока на восходящий поток позволяет уменьшить содержание оксидов азота в продуктах горения, выбрасываемых через дымовую трубу в атмосферу, до величин ниже мировых нормативов.

При мокром тушении кокса выбросы в атмосферу зависят от крупности кокса, его прочности и качества воды, подающейся на тушение. При мокром тушении выделяется около 600 кг пара на 1 т кокса, а общий объем загрязненных газов составляет более 1000 м³ на 1 т кокса. Для уменьшения выброса мелких классов кокса при мокром тушении используют специальные отбойники-сепараторы. Примерно 90% частиц размером менее 10 мкм удаляется из потока пара скрубберами при тонком распылении воды. Чтобы уменьшить выбросы на территории коксохимического предприятия, на новых установках мокрого тушения высоту тушильной башни увеличивают до 30 и даже до 42 м. При импульсной подаче воды на тушильную башню выброс капель в атмосферу уменьшается на 50%.

Особое значение имеет сокращение выбросов при сухом тушении кокса. Запыленность дымовых потоков в этом случае может достигать 50 г/м³ при температуре отходящих газов 350 °С. Тщательной организации местных отсосов требуют многие узлы установки сухого тушения кокса: загрузки в тушильную камеру и извлечения кокса из камеры сортировки кокса, где пыли выделяется в 3–10 раз больше, чем при сортировке кокса мокрого тушения. Очистка от пыли в этом случае усложняется из-за ее плохой смачиваемости, что делает целесообразным применение рукавных фильтров.

Выдача кокса сопровождается залповыми (в течение 30–50 с) выбросами пыли ($2,5\text{--}5,7\text{ г/м}^3$), оксидов углерода, серы и азота, аммиака, нафталина, бензола и цианистого водорода (в пределах $1\text{--}100\text{ мг/м}^3$). При выгрузке такого кокса пылеунос увеличивается с 0,34 до 1,1 кг на 1 т кокса. Для предотвращения поступления пыли в атмосферу используются разные кожухи, подвижные вытяжные колпаки и т. д. Кожухи располагаются над камерными печами для того, чтобы при выгрузке кокса вредные выделения вместе с потоками газа удалялись через них.

Очистка газов от пылей при выгрузке происходит с помощью рукавных фильтров, скрубберов Вентури и мокрых электрофильтров.

Помимо указанных процессов, на коксохимическом предприятии возможно *выделение сажи* из дымовых труб. Образование сажи происходит в отопительных системах коксовых батарей при их разгерметизации и наличии подсоса сырого коксового газа в отопительные системы.

В сульфатных отделениях цехов улавливания химических продуктов коксования при сушке, транспортировании, затаривании и отгрузке сульфата аммония выделяется мелкокристаллическая пыль сульфата. Хорошая смачиваемость и растворимость в воде этой пыли обеспечивают достаточно полное (до 99%) ее улавливание в обычных мокрых циклонах.

В химических цехах источниками организованных газовых выбросов оказываются многочисленные воздушники, а также вентиляционные системы. Неорганизованные парогазовые выбросы возникают из-за недостаточной герметизации, протечки через сальники арматуры и насосов, разливы (испарение). Кроме этого, значительные газовые выбросы возникают при сушке сульфата аммония и окислительной переработке каменноугольного пека. Очень крупным источником выбросов неорганизованного характера оказываются градирни конечного охлаждения при открытом цикле.

Дожигание выхлопных газов на ряде предприятий и установок, в особенности содержащих полициклические ароматические углеводороды, осуществляется на катализаторах, например на оксидах ванадия и меди, нанесенных на оксид алюминия, достигается полнота очистки 97–100%). В реакторах дожигания с кипящим слоем катализатора даже при невысоком содержании кислорода (около 4%) в исходной смеси окисляются все органические соединения, включая и смолу, адсорбированную на поверхности частиц пыли.

В последние 10–15 лет из-за возросшего внимания к проблемам экологии и необходимости перехода на экологически чистые технологии наибольшее значение приобрели процессы *очистки коксового газа от сероводорода* и получения на его основе товарных продуктов. В мировом промышленном производстве освоено достаточно большое число процессов улавливания сероводорода. Это обусловлено как неодинаковым составом коксующих шихт и, следовательно, составом коксово-

го газа, так и различными требованиями к глубине очистки, обеспечивающими остаточное содержание сероводорода в газе менее $0,5 \text{ мг/м}^3$.

В России с целью совершенствования процесса вакуум-карбонатной сероочистки коксового газа разработана и внедрена в промышленную практику новая схема регенерации поглотительного раствора с раздельными циклами поглотительного раствора и циркулирующего через первичные газовые холодильники парового обессоленного конденсата. Последний служит теплоносителем для нагрева регенерируемого поглотительного раствора и хладагентом в верхних секциях первичных газовых холодильников при охлаждении прямого коксового газа от $80\text{--}82$ до $65 \text{ }^\circ\text{C}$.

Использование тепла прямого коксового газа для регенерации поглотительного раствора вакуум-карбонатной сероочистки по данной схеме позволяет значительно сократить расход пара на десорбцию сероводорода, а при увеличении расхода поглотительного раствора на орошение газа снизить остаточное содержание сероводорода в очищенном газе. Приведенные ниже данные позволяют сравнить содержание сероводорода до и после очистки.

Состав коксового газа после конечного охлаждения, % (об.):

аммиак	0,001
пиридиновые основания	0,001
бензолные углеводороды	9,4
сероводород	3,2
цианистый водород	0,057
углекислый газ	2,0
водород	53,0
метан	22,0
кислород	0,33
азот	3,0
смола	0,001
нафталин	0,01
СО	7,0.

Состав коксового газа после очистки от сероводорода, % (об.):

водород	61,6
метан	25,7
углекислый газ	2,4
СО	6,6
кислород	0,58
азот	3,0
смола	0,001
нафталин	0,01
цианистый водород	0,055
сероводород	0,004
бензол	0,05.

После сероочистки содержание сероводорода уменьшается в 800 раз.

Размещение пыле- и газоочистных сооружений по этапам технологической переработки исходных углей в кокс определяется технологией производства кокса.

Из новых технологических процессов производства кокса наиболее эффективны непрерывные схемы производства (получение формованного кокса, коксование в кольцевых печах и другие), при этом сводится к минимуму число зон загрузки и выгрузки.

На рис. 12.4 представлена схема обезвреживания и использования парогазовых выбросов. В табл. 12.3 показана последовательность обработки отходящих газов коксохимического производства.

Таблица 12.3

Последовательность обработки газа

Операция	Назначение	Примечания
Охлаждение до 80–100 °С в газосборнике или другом аппарате непосредственного действия. Охлаждение в специальных холодильниках до 30–40 °С и конденсация воды и смолы	Прекращение реакции термического превращения. Выделение пыли и тяжелых смол. Выделение из газа смолы и воды, уменьшение объема газа, что создает благоприятные условия для транспортирования газа	—
Повышение давления газа в нагнетателе	Откачивание газа из печей и управление их гидравлическим режимом, транспортирование газа через цех улавливания и выдача его потребителю	Операция часто совмещается с очисткой газа от тумана смол в электрофильтрах
Улавливание сероводорода и цианистого водорода	Предотвращение коррозии и нарушений технологии в последующих отделениях цеха и у потребителей. Сокращение выбросов токсичных веществ	Часто совмещается с очисткой газа от нафталина. При обработке продуктов термической переработки малосернистых топлив используется ограниченно
Извлечение сырого бензола из газа	Выделение ценных продуктов и создание благоприятных условий для дальнейшего транспортирования газа	На большинстве заводов сырой бензол извлекают до сероочистки

Основные проблемы очистки сточных вод и пути их решения

Сточные воды коксохимического производства относятся к наиболее опасным (как источник загрязнения окружающей среды) среди промышленных сточных вод и с трудом поддаются очистке. Схема очистки сточных вод представлена на рис. 12.5.

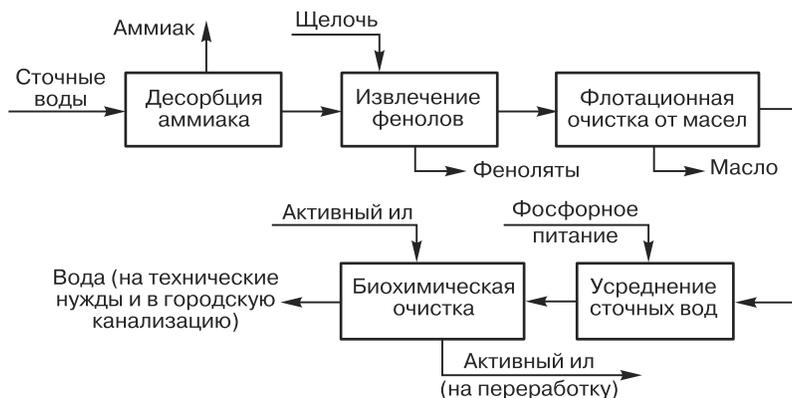


Рис. 12.5. Технологическая схема очистки сточных вод коксохимического производства

Обработка коксового газа приводит к образованию значительных объемов сточных вод, отличающихся очень высоким содержанием токсичных веществ. Трудно утилизируемыми отходами являются концентрированные стоки сероочистных установок. На стадии переработки химических продуктов также образуются сточные воды.

Источником жидких отходов являются некоторые технологические процессы, особенно связанные с обработкой продуктов кислотами. Это не только приводит к расходованию значительных количеств реагентов, но и к необходимости утилизации отработанных кислот и растворов солей, смолистых веществ и кубовых остатков, «кислых смолок». **Кислые смолки** — это коллоидные системы, состоящие из масел, олигомеров, полученных при полимеризации непредельных соединений, растворов солей и кислот.

Источниками сточной воды являются также влага исходного угля и вода, образующаяся при термическом разложении органической массы угля. Кроме того, сточные воды образуются из конденсата пара при пропарке оборудования и нагревании его «острым паром», а также воды, поступающей в технологический цикл при промывке оборудования.

Очистку сточных вод производят разнообразными физико-химическими, механическими и биохимическими методами. Принятие оптимальных технических решений и, как следствие, минимизация затрат возможны только при соблюдении следующих основных принципиальных подходов.

1. Технология очистки и утилизации сточных вод должна рассматриваться как часть общей технологии коксохимического производства. Поэтому необходим и общий подход для оценки возможностей и последствий технических предложений по основной технологии коксования углей и улавливания и переработки химических продуктов коксования и сопутствующих им решений экологической направленности, и наоборот.

2. Очистка сточных вод должна быть организована как единый комплекс, который включает: паспортизацию сточных вод; канализование стоков, упорядочение их отвода в канализацию, исключаящее залповые сбросы сильно загрязненных стоков в канализацию и попадание в сточные воды технологической продукции и технологических растворов; очистку от взвешенных веществ, смол и масел общего стока и его составляющих; биохимическую очистку общего стока; доочистку сточных вод после биохимической очистки (главным образом от взвешенных веществ); утилизацию избыточного активного ила (или его уничтожение); использование очищенных сточных вод; грамотный и оперативный аналитический контроль.

Традиционно наибольшее внимание уделяется фенолам, содержащимся в сточных водах, которые зачастую и называют **фенольными водами**. Это объясняется тем, что среди других компонентов стоков фенолы обладают наибольшей токсичностью, а также способностью образовывать при хлорировании воды хлорфенолы, имеющие повышенную токсичность и резкий неприятный запах даже при ничтожных концентрациях в воде. Кроме фенолов в сточных водах оказывается значительное количество солей аммония, включая хлорид, сульфат и трудно гидролизующийся тиоцианат аммония. В сточных водах также присутствует значительное количество масел, пиридиновых оснований и смолистых веществ, эмульсии и некоторое количество бензола в виде растворенного в воде продукта.

Надсмольная вода отделений обработки газа направляется на обесфеноливание после аммиачных колонн, на которых десорбируется большая часть «летучего аммиака», т. е. связанного в легко гидролизующийся карбонат, бикарбонат, сульфид, гидросульфид и цианид аммония. При этом из воды десорбируется большая часть пиридиновых оснований и до 30% содержащихся в ней фенолов. Кроме указанных веществ сточные воды коксохимического производства содержат до 150–500 мг/л смол и масел.

Фенолы сточных вод представлены в основном одноатомными фенолами. В фенолах воды цикла газосборника содержится 0,2–0,3% двухатомных фенолов (главным образом резорцина).

Все сточные воды, таким образом, отличаются очень высоким содержанием токсичных веществ и нуждаются в сложной очистке. Любые процессы очистки должны включать *удаление аммиака, извлечение фенолов и доочистку сточных вод биологическим методом*, хотя разра-

ботаны и применяются и другие способы очистки. Схема биохимической очистки сточных вод представлена на рис. 12.6.

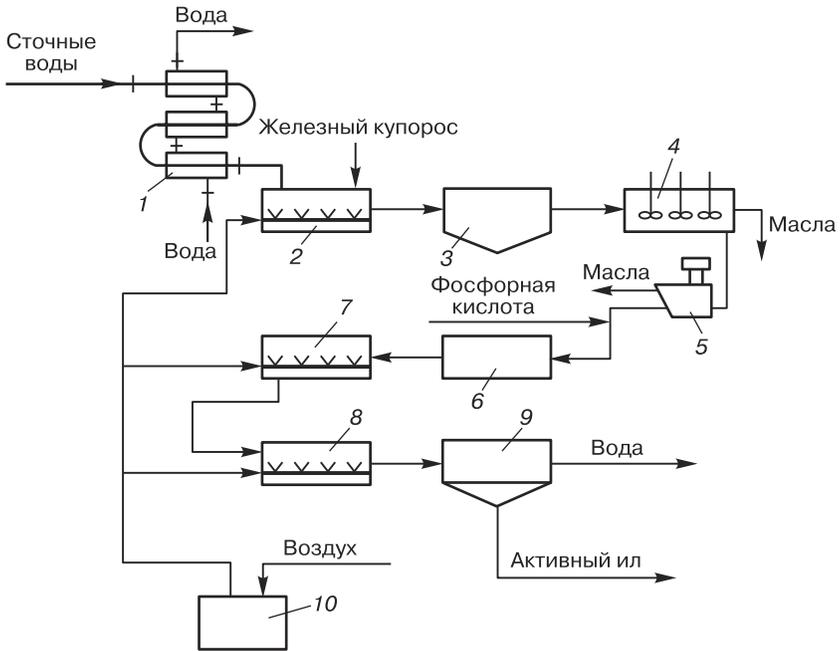


Рис. 12.6. Схема биохимической очистки сточных вод: 1 — холодильники «труба в трубе»; 2 — преаэрактор; 3 — первичный отстойник; 4 — маслоотделитель; 5 — флотационная машина; 6 — усреднитель; 7, 8 — аэротэнки I и II ступеней соответственно; 9 — вторичный отстойник; 10 — компрессор

Биологическая очистка, к сожалению, не гарантирует удаление примесей до уровня, позволяющего сбрасывать стоки в водоемы. Поэтому воду после биологической очистки либо направляют на общегородские очистные сооружения, где доочищаются остатки токсичных веществ, либо используют внутри предприятия (мокрое тушение кокса или пополнение оборотных циклов).

Использование внутри предприятия предпочтительно, так как общегородские очистные сооружения оказываются в очень опасном положении при залповых сбросах стоков, что в аварийных ситуациях не может быть полностью исключено.

Особняком среди жидких стоков стоят избыточные растворы сероочистных установок, содержащие тиоцианат и тиосульфат натрия, а также некоторые другие вещества в очень высоких концентрациях. Они не должны смешиваться с фенольными водами и перерабатываются самостоятельно.

Извлечение фенолов из сточных вод. Обычно перед обесфеноливанием сточные воды очищают от аммиака. Аммиак удаляют на установке переработки надсмольных вод. Полнота десорбции аммиака может быть сколь угодно большой и определяется только эффективностью используемой аммиачной колонны и режимом ее эксплуатации. Извлечение фенолов с целью утилизации экономично при содержании их в сточных водах свыше 1 г/л. При меньших концентрациях фенолов их реализация не покрывает расходы на извлечение, поэтому экономически целесообразно разрушить их на стадии доочистки.

Для извлечения фенолов в коксохимической промышленности преимущественно применяют пароциркуляционный или, как его иногда называют, «*эвапорационный*» метод, пригодный именно для извлечения фенолов и крезолов с низкими температурами кипения (рис. 12.7).

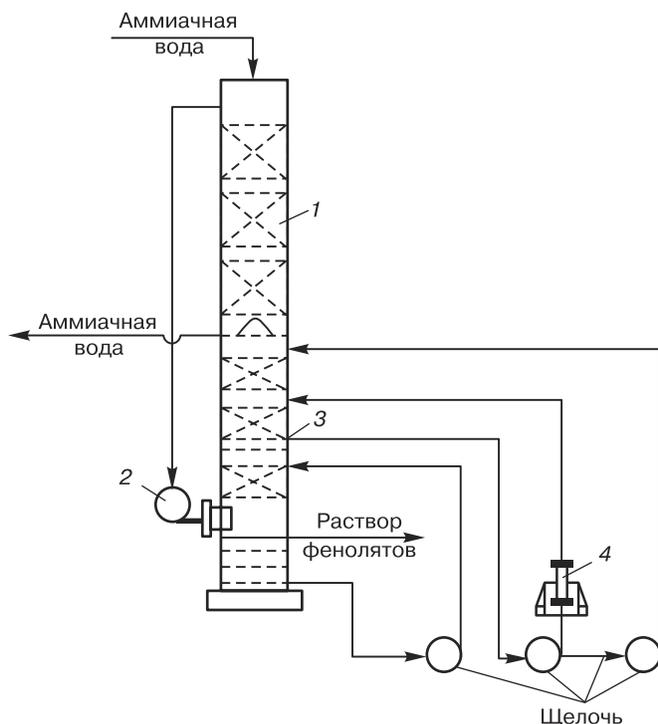


Рис. 12.7. Установка пароциркуляционного обесфеноливания сточных вод: 1 — верхняя секция скруббера; 2 — вентилятор; 3 — нижняя секция скруббера; 4 — подогреватель

За рубежом имеется ряд установок экстракционного обесфеноливания на коксохимических предприятиях. Однако в основном оно применяется при очистке сточных вод низкотемпературных процессов пиролиза твердых горючих ископаемых, так как является единственно

пригодным для извлечения из сточных вод двухатомных фенолов. Экстракционное обесфеноливание в нашей стране практически не применяется.

Основным аппаратом пароциркулярного обесфеноливания является двухсекционный скруббер, секции которого разделены по жидкой фазе. Надсмольная вода поступает на верхнюю секцию аппарата, где при 100–103 °С фенолы из воды десорбируются в поток водяного пара. После выхода из верхней секции этот поток вентилятором подается в нижнюю секцию, где из него раствором фенолятов натрия извлекают фенолы. Очищенный пар возвращается в верхнюю секцию аппарата. Для поддержания заданной рабочей температуры и компенсации тепловых потерь через стенки аппарата в нижнюю его часть подводится тепло с помощью паровых змеевиков или кипятильника. Степень обесфеноливания воды составляет 70–96% и определяется полнотой обесфеноливания пара в нижней секции.

Натриевые соли фенолов подвергаются заметному гидролизу в условиях работы скруббера. Для улучшения обесфеноливания пара в нижней секции скруббера необходим противоток, а в верхней части аппарата следует поддерживать значительный избыток щелочи. Легко подсчитать, что удовлетворение этого требования возможно только при подаче орошения в количестве, в десятки раз превышающем необходимое по условиям равновесия. Чтобы разрешить эту ситуацию, на большинстве предприятий создают несколько контуров циркуляции фенолятов в нижней части аппарата (с нарастанием избытка свободной щелочи по высоте); полнота очистки при этом составляет около 70–80%.

Выходом из положения является применение аппаратов с тарелками в нижней секции. Колпачковые и клапанные тарелки гарантируют достаточно стабильную работу даже при незначительных плотностях орошения. В этом случае обеспечиваются полный противоток и непрерывная подача щелочи на орошение. В результате полнота обесфеноливания составляет 95–96% и остаточное содержание фенолов в воде 0,05–0,7 г/л.

На работу обесфеноливающего скруббера влияет полнота десорбции аммиака в аммиачной колонне. Содержание летучего аммиака в воде, поступающей на обесфеноливающий скруббер, не должно превышать 0,1 г/л.

Удаление фенолов и биохимическая очистка сточных вод. Наиболее простой и рациональный способ удаления остатков фенолов в сточных водах — их окисление с получением CO_2 и H_2O . На установках небольшой мощности оправданно использование озона и некоторых других окисляющих агентов, например пероксида водорода. Однако эти методы связаны с очень большими энергозатратами и не гарантируют полного окисления фенолов до CO_2 и воды.

При очень больших объемах перерабатываемых сточных вод предпочтительным методом глубокой очистки стоков оказывается *аэробная*

биохимическая очистка, гарантирующая удаление основной массы фенолов, тиоцианатов и цианидов.

Предварительная очистка сточных вод от масел — одно из важнейших условий нормальной жизнедеятельности микроорганизмов при последующей биохимической очистке (БХО). С учетом полноты определения содержания масел, а также их состава остаточная концентрация масел перед БХО не должна превышать 25–35 мг/м³.

С привлечением методов физической и коллоидной химии был предложен наиболее простой способ повышения глубины очистки от масел при флотации — добавление в сточную воду неорганических электролитов. Отметим существенные моменты этой технологии очистки сточных вод от масел: первый — это механизм действия, который заключается в укрупнении капель масел; второй — в случае повышенного содержания цианид-ионов в сточной воде целесообразно увеличивать добавку сульфата железа для перевода цианидов в менее токсичные для микроорганизмов ферроцианиды.

Усреднение сточных вод — обязательный элемент подготовки высококонцентрированного промышленного стока к БХО. Время усреднения должно составлять не менее 24 ч. Резкие колебания концентраций поступающих со сточной водой загрязнений приводят к нарушению процесса БХО. Стабилизировать, а также увеличить глубину очистки можно, переоборудовав усреднители в предаэротенки. В усреднители подают очищенную сточную воду с активным илом в количестве 10–20% от поступающей неочищенной воды. Фосфорное питание подают перед усреднителем. В предаэротенке-усреднителе окисляется 25–30% поступающих фенолов, и вода из усреднителя поступает в аэротенки уже подготовленная для БХО. При этом также нивелируется отрицательное воздействие залпового сброса вредных веществ.

В такой сложной смеси веществ в воде, как фенолсодержащая сточная вода, четкое деление стадий очистки («обесфеноливание», «обезроданивание») весьма условно. Правильнее говорить об окислении веществ биоценозом, обогащенным специфическими микроорганизмами.

На первой ступени (**обесфеноливание**) биомасса обычно мелкодисперсная, плохо отстаивающаяся и легко уносимая с потоком воды. Поэтому необходимая минимальная концентрация биомассы в аэротенке поддерживается за счет возврата до 50% и более очищенной воды.

На второй ступени (**обезроданивание**) образуются хорошо оседающие хлопья биомассы в результате ее обогащения простейшими микроорганизмами, которые, кстати, являются индикаторами достаточно глубокой очистки.

Процесс БХО фенолов значительно активнее, чем роданидов: больше скорость реакций, быстрее растет специфическая часть биомассы, соответственно меньше отрицательная зависимость от залповых сбросов. Поэтому при нарушении процесса БХО легче и быстрее восстановить обесфеноливание, сохраняя в то же время БХО роданидов на

второй ступени. При одноступенчатой очистке нарушение нормальной работы, а тем более прекращение процесса БХО из-за залпового сброса приводят к многосуточному его восстановлению.

Биохимическую очистку ведут при использовании активного ила, представляющего сложный конгломерат бактерий различных видов и других простейших, или культуры специфических бактерий, предназначенных для разрушения конкретных загрязняющих веществ, например фенолов или тиоцианатов («*микробный метод*»). Фактически в микробном методе используется активный ил, но обогащенный специфическими микроорганизмами.

Оптимальные условия работы биохимической установки: температура 25–30 °С, рН 7,2–9,0, содержание летучего аммиака — не более 0,2 г/л, а общего — не более 2 г/л, содержание масел — не более 50 мг/л. Содержание фенолов и тиоцианат-, цианид-, сульфид-ионов всегда значительно ниже концентраций, при которых подавляется жизнедеятельность микроорганизмов.

Биохимические установки — замыкающий узел, который собирает стоки всех цехов предприятия. Поэтому эффективность их работы, равно как и мера загруженности или перегруженности, зависит от общей культуры работы на предприятии и в каждом отдельном цехе. Опасны не только залповые выбросы токсичных веществ, но и чрезмерное разбавление стоков из-за подачи в них условно чистых вод или слегка загрязненного конденсата. Очень неблагоприятно влияет нестабильность состава сточных вод. Работа биохимических установок принципиально улучшается при четкой организации водоочисток в основных цехах, сооружении в последних резервных емкостей для залповых выбросов.

12.5. УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ

Современное коксохимическое производство характеризуется значительным количеством отходов с разнообразными свойствами, что предопределяет необходимость их утилизации. Существующие технологии утилизации отходов в своем большинстве характеризуются многостадийностью, сложностью аппаратурного оформления, значительными капитальными и эксплуатационными затратами.

Вот так утилизируются отходы цехов улавливания и сероочистки: смолистые — каменноугольные фусы, смола и масла биохимической установки, смола каменноугольная с шихтой, нейтрализованная кислая смолка, отходы от пропарки газопроводов, шлам из цистерн и химической аппаратуры; твердые — нафталин из котлованов и градирен, зола от сжигания хордовой насадки, автоклавная грязь из плавильников — кристаллизаторов, пыль газовой серы; жидкие — раствор балластных солей вакуум-карбонатной сероочистки.

12.6. БЕССТОЧНОЕ КОКСОХИМИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Передача очищенных сточных вод для доочистки совместно с хозяйственно-бытовыми стоками на городские очистные сооружения вызывает постоянные нарекания и чревата в перспективе появлением новых осложнений. Поэтому необходимо создавать бессточные производства.

Основными принципами создания бессточного коксохимического производства являются следующие:

1) в зимний период необходимо собирать воду и сохранять мокрое тушение части кокса очищенной сточной водой или продувочной водой;

2) на предприятиях с сухим тушением кокса для утилизации избыточной воды необходимо иметь резерв мокрого тушения для 15–30% вырабатываемого кокса;

3) изменить сложившуюся схему оборотного технического водоснабжения: для групп потребителей, нуждающихся в охлаждающей воде высокого качества (машинный зал, воздуходувки), необходимо создать отдельные оборотные системы, пополняемые свежей технической водой;

4) для улучшения качества оборотной воды, а также для уменьшения выбросов вредных веществ на градирнях избыток сточных вод, направляемых на тушение кокса, следует отбирать в виде продувочной воды;

5) при использовании сточных вод в оборотных циклах возможно сокращение продувки до минимально необходимой по балансу величины, вплоть до работы в беспродувочном режиме, так как оборотная сточная вода благодаря присутствию солей аммония не способна образовывать карбонатные и сульфатные отложения;

4) сточные воды в зависимости от состава, температурных и гидродинамических условий могут как ингибировать, так и ускорять коррозию конструкций и аппаратов, изготовленных из углеродистой стали; поэтому необходимо предусмотреть антикоррозионную обработку оборотной воды (предложено использовать для этой цели силикат натрия).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего нужен кокс?
2. Каковы плюсы и минусы «мокрого» и «сухого» тушения кокса?
3. Какими веществами коксохимическое производство загрязняет атмосферу и почему?
4. Как осуществляется очистка отходящих газов в коксохимическом производстве и каковы пути ее модернизации?
5. В чем сложность очистки сточных вод коксохимического производства?
6. В чем сложность биохимической очистки сточных вод коксохимического производства?
7. Каковы пути создания безотходного коксохимического производства?

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

Железо — важнейший металл современной индустрии.

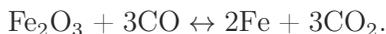
Черная металлургия является одной из ведущих отраслей мировой индустрии. В настоящее время в мире ежегодно добывается более 1 млрд тонн железной руды и производится около 800 млн тонн стали. Среди других отраслей материального производства черная металлургия занимает одно из первых мест по количеству используемых природных ресурсов.

Черная металлургия оказывает активное и пагубное воздействие на окружающую среду. Это в первую очередь связано с потреблением большого количества различных сырьевых материалов и образованием больших количеств самых разнообразных отходов. На долю предприятий черной металлургии приходится около 15% всех промышленных выбросов в атмосферу пыли, 8–10% выбросов диоксида серы, 35–40% — монооксида углерода, около 15% — оксидов азота, 10–15% общего объема потребления промышленностью свежей воды и примерно столько же сбрасываемых сточных вод [36].

13.1. ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Металлургическое производство традиционно состоит из четырех основных стадий: агломерационного, доменного, сталеплавильного и прокатного производств. К ним следует добавить коксохимическое производство, производство огнеупоров и энергии, как правило, включаемые в промышленный комплекс черной металлургии. Принципиальная схема производства стали показана на рис. 13.1.

Основной агрегат в черной металлургии — *доменная печь*. Схема доменного цеха представлена на рис. 13.2. Высота печи достигает 30 и более метров, а диаметр превышает 7,5 м. Измельченную железную руду или агломерат вводят в доменную печь сверху, послойно смешивая с коксом. Снизу в печь продувают предварительно нагретый воздух, в котором уголь сгорает до оксида углерода, восстанавливающего оксид железа:



Эта реакция обратима и преимущественно идет в *верхней* части доменной печи. Равновесие ее тем сильнее смещается вправо, чем ниже температура. Часть Fe_2O_3 восстанавливается лишь до FeO , который,

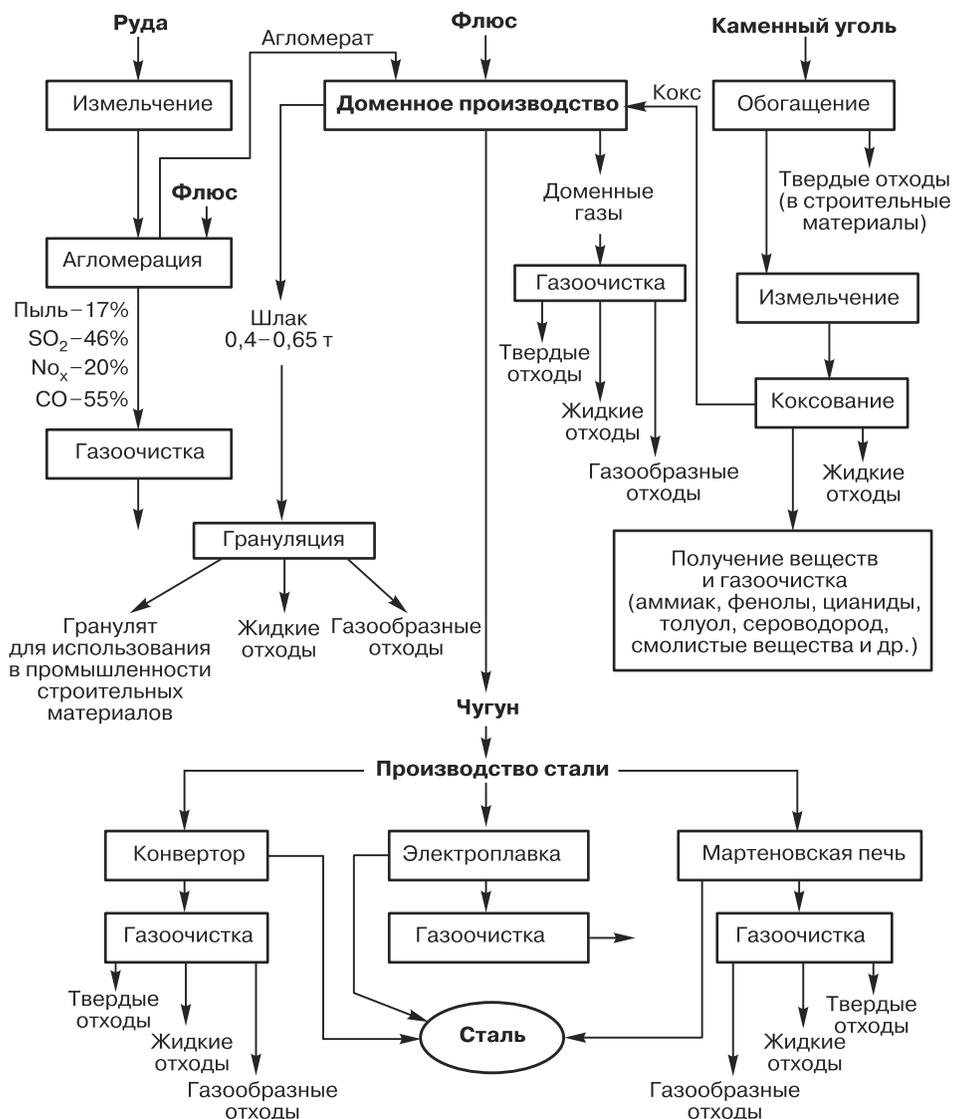


Рис. 13.1. Принципиальная схема производства стали

попадая в **нижнюю** часть домны — зону высокой температуры, восстанавливается непосредственно углем:



Температура в нижней части доменной печи доходит до 1600 °С. Железо при этом плавится (температура плавления железа 1539 °С) и стекает в горн, откуда его периодически выливают в формы.

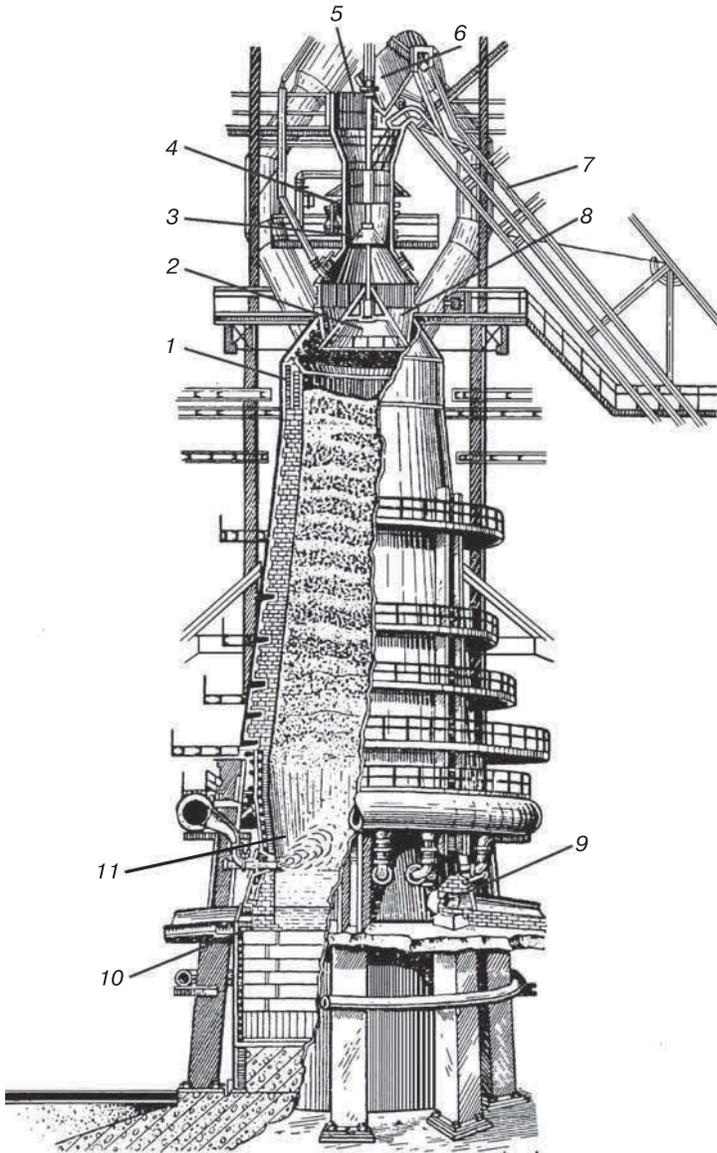


Рис. 13.2. Доменная печь: 1 — приемная воронка; 2 — малый конус; 3 — распределитель шихты; 4 — воронка большого конуса; 5 — наклонный мост; 6 — скип; 7 — воздушная фурма; 8 — защитные сегменты колошника; 9 — шлаковая летка; 10 — чугунная летка; 11 — большой конус

Железные руды, содержащие кислые породы (диоксид кремния или оксид алюминия), предварительно смешивают с основными добавками, называемыми *флюсами*, обычно это известняк. В настоящее время

флюсы вводят на стадии *агломерации*. Руды, содержащие основную породу, смешивают с кислыми добавками (песком, гранитом). Флюсы образуют с пустой породой легкоплавкие шлаки, которые собирают на поверхности расплавленного чугуна (доменные шлаки) и периодически удаляются из печи.

Расплавленное железо растворяет углерод, кремний, фосфор, серу и марганец, образуя *чугун*, используемый непосредственно для отливки изделий либо перерабатываемый на сталь.

Сталь получают путем удаления углерода и остальных примесей до нужной степени чистоты в *конверторах* (рис. 13.3) или *мартеновских* печах (рис. 13.4). Специальные стали получают в *электростанциях*.

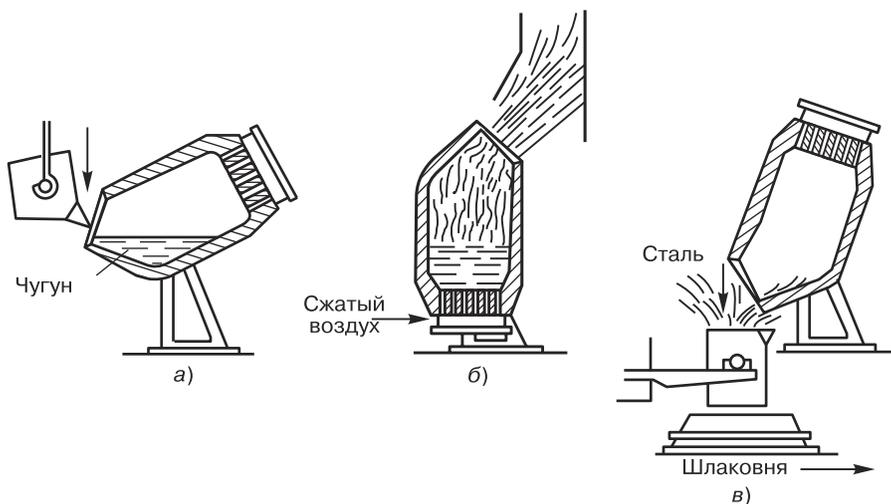


Рис. 13.3. Положения конвертера при заливке чугуна (а), продувке (б) и сливе стали в ковш (в)

Мартеновская печь, обогреваемая газообразным топливом или мазутом, работает следующим образом. Газ и воздух проходят через предварительно разогретые до температуры около 1200°C камеры-рекуператоры 8 и 9, выложенные внутри огнеупорным кирпичом, где нагреваются до $800\text{--}900^{\circ}\text{C}$. При сжигании разогретого газа в атмосфере разогретого воздуха в горелке 1 образуется факел пламени, поднимающий температуру в рабочем пространстве печи до 1700°C и выше. Твердые шихтовые материалы, загружаемые через окна 2, плавятся на поду 3, откуда сливаются в ковши. Продукты сгорания при температуре около 1600°C поступают в камеры 4 и 5 и разогревают их керамическую кладку до температуры 1200°C , после чего уходят в дымовую трубу. К этому времени камеры 8 и 9 уже достаточно охладились, отдавая свое тепло нагреваемым газу и воздуху. Поэтому, при изменении

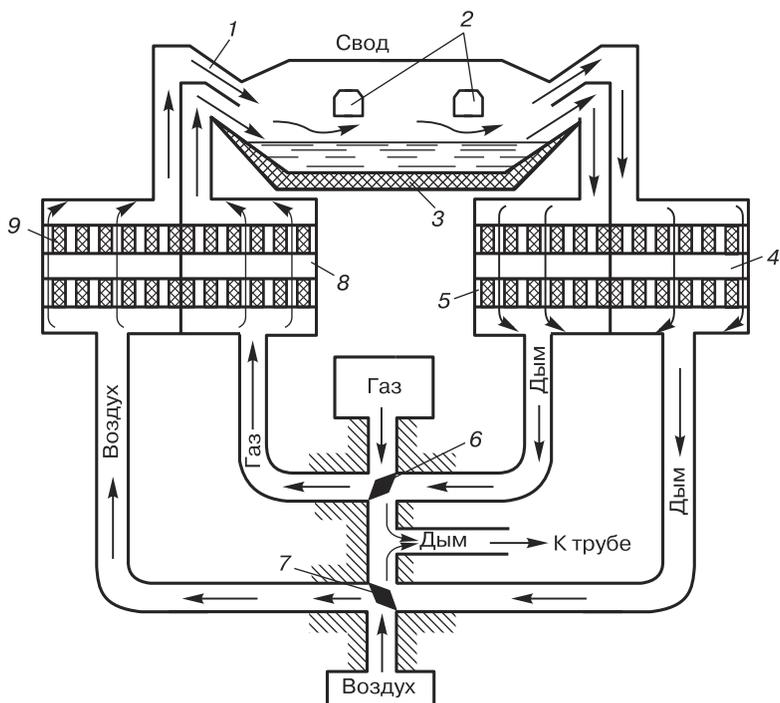


Рис. 13.4. Схема мартеновской печи: 1 — горелка; 2 — окна для загрузки шихты; 3 — под печи; 6, 7 — клапаны для изменения направления газа и воздуха; 4, 5, 8, 9 — камеры-рекуператоры

положения клапанов *6* и *7* направление газа и воздуха меняется, и они поступают в камеры *4* и *5*, разогретые отходящими газами. Процесс повторяется в течение всей плавки в той же последовательности после очередной перекидки клапанов *6* и *7*.

В доменном производстве основным источником загрязнения воздушного бассейна являются агломерационные фабрики. На долю выделяемой ими пыли приходится до 17% от общих выбросов предприятий черной металлургии, диоксида серы — 46%, оксидов азота — 20%, монооксида углерода — 55%.

Главный отход доменного производства — это доменные шлаки, образующиеся в количестве от 0,4 до 0,65 т на тонну выплавляемого чугуна. Это самые многотоннажные отходы металлургического производства. Общее количество доменных шлаков, получаемых на отечественных предприятиях, составляет около 50 млн тонн в год. Доменное производство связано также с выделением больших количеств *пыли* и *газов*, включая монооксид углерода, диоксид серы и оксиды азота.

При мокрой очистке доменного газа образуется большое количество загрязненных сточных вод.

Производство стали, в свою очередь, связано с образованием значительных количеств шлаков и отходящих газов. Очистка конверторных газов очень сложна и сопровождается образованием сильно загрязненных сточных вод. Еще большей запыленностью и высоким содержанием оксидов азота характеризуются отходящие газы мартеновских печей.

В производстве **проката** наибольшую трудность вызывает очистка газов от травильных ванн, в которых наряду с оксидами азота и парами кислот содержатся такие высокотоксичные примеси, как соединения мышьяка. Сложную проблему представляет также переработка сбросных травильных растворов.

Коксохимическое производство сопряжено с выделением больших количеств пыли, газов и сточных вод. Стоки коксохимического производства содержат такие опасные (и в то же время ценные) вещества, как аммиак, фенолы, цианиды, сероводород, смолистые вещества и другие канцерогенные соединения.

В ближайшие десятилетия в производстве стали и сплавов на основе железа будет использоваться преимущественно традиционная технология. Поэтому в настоящее время задача создания безотходного металлургического производства решается главным образом путем его последовательного усовершенствования за счет снижения материало- и энергоемкости, а также использования образующихся отходов.

13.2. ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Из всех мероприятий, обеспечивающих совершенствование технологии выплавки чугуна, наиболее важным и определяющим по своему техническому и экономическому значению является *подготовка сырья к плавке*. Одно из основных требований к качеству железорудного сырья заключается в максимально высоком содержании в нем железа при минимальном количестве и благоприятном составе пустой породы. Важное значение имеет окускование железных руд и концентратов, осуществляемое главным образом путем агломерации. Практически весь агломерат производится с добавкой флюсов. Необходимость обогащения бедных руд, сопровождающегося увеличением выхода пылевидных фракций, обусловило интенсивное развитие производства так называемых *окатышей*. Замена агломерата на окатыши позволяет уменьшить количество выделяющейся пыли почти в четыре раза, а монооксида углерода — в шесть раз.

Улучшение подготовки сырья к доменной плавке (повышение степени обогащения железосодержащих руд, постоянство химического состава, физико-механических и гранулометрических характеристик аг-

ломерата и окатышей, использование **неофлюсованных окатышей** и частично восстановленного сырья) обеспечивает значительный рост производительности доменных печей и снижение расхода кокса.

Классическим топливом для агломерационных процессов служит коксовая мелочь. Почти 90% ее общего количества в нашей стране расходуется на производство агломерата. Благодаря работам по увеличению прочности и улучшению качества кокса, выход коксовой мелочи сокращается. Поэтому перед агломерационным производством возникает проблема замены коксовой мелочи на другие виды топлива, которые не вызывали бы изменения основных показателей процесса спекания агломерата. Твердое топливо, применяемое в агломерационном производстве, должно отвечать определенным требованиям: содержать минимальное количество золы (не выше 15%) и летучих веществ (не более 3–6%). В настоящее время в качестве заменителя коксовой мелочи при агломерации широко используется *антрацит* и так называемый антрацитовый *штывб*.

На сегодня доменный процесс остается наиболее экономичным по сравнению с другими методами получения железа. Основное направление совершенствования доменного процесса связано со снижением его энергоемкости, поскольку затраты на топливо в себестоимости чугуна составляют около 40%. Главным здесь является совершенствование техники и технологии самого доменного процесса и процессов агломерирования железорудной составляющей шихты, что приводит к значительному сокращению удельного расхода кокса при выплавке чугуна.

Основные направления технического прогресса в доменном производстве включают:

- совершенствование конструкций и повышение мощности доменных печей;
- улучшение подготовки железорудной шихты;
- применение кислорода и частичная замена кокса различными углеродсодержащими веществами (газообразными, жидкими и измельченными твердыми);
- повышение степени нагрева доменного дутья и повышение давления газа в рабочем пространстве печи.

Полезный средний объем доменных печей составляет около 1300 м³. Укрупнение агрегатов является эффективным направлением снижения материал- и энергоемкости металлургического производства.

В целях сокращения затрат на топливо путем снижения его расхода, из доменной печи были вынесены процессы разложения известняка. В настоящее время эти процессы осуществляются при производстве агломерата, где используется более дешевое топливо.

Большой интерес вызывают работы по интенсификации доменного процесса и использованию различных **заменителей кокса**, что позволяет снизить его расход до 380–430 кг на 1 т чугуна. Для интенсифи-

кации доменного процесса широко используется *высокотемпературное дутье*, обогащенное кислородом в сочетании с природным газом. Все большее применение находит *комбинированное дутье* с использованием различных восстановительных реагентов: твердого, жидкого и газообразного топлива (в нашей стране в основном используется природный газ, за рубежом — мазут) в сочетании с обогащением дутья кислородом. Проводятся опытные работы с применением коксового газа и угольной пыли.

В черной металлургии для травления изделий применяют серную, соляную, азотную, фосфорную, плавиковую кислоты и их смеси. Наиболее широко распространено травление с использованием серной кислоты. Сбросные травильные растворы и кислые промывные воды, как правило, нейтрализуются известковым молоком. Однако это приводит к образованию большого количества не утилизируемых шламов и затрудняет повторное использование воды в результате растворения в ней *сульфата кальция*.

Использование в качестве травильных растворов *соляной кислоты* позволяет сделать процесс практически безотходным. Так, образующийся при травлении раствор хлорида железа подвергают пиролизу по реакции:



Оксид железа отделяют от газовой фазы и используют в качестве готового продукта, а пары соляной кислоты конденсируют и возвращают в голову процесса. Описанная технология используется на Новолипецком металлургическом комбинате.

13.3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

К основным отходам доменного производства кроме шлака относятся колошниковая пыль, скрап и доменный газ.

Колошниковая пыль — это преимущественно железорудная пыль (35–50% железа), выносимая через колошник доменной печи под воздействием дутья. Вынос колошниковой пыли колеблется в зависимости от условий работы печи в пределах 20–120 кг на 1 т чугуна. Система очистки доменного газа улавливает до 95% колошниковой пыли, которая направляется на агломерацию.

Доменный скрап представляет собой по составу чугун, оставшийся в желобах, ковшах, а также его мелкие частицы, теряемые при разливке. Количество доменного скрапа составляет 1,5–3,5% от массы жидкого чугуна. Среднее содержание железа в скрапе — 85%.

Доменный шлак — это сплав алюмосиликатов, который содержит небольшое количество железа в виде корольков и не полностью восстановленных оксидов. В металлургии он повторно не используется, но является первоклассным сырьем для строительной индустрии.

Создание безотходного металлургического производства невозможно без максимального использования вторичных энергетических ресурсов. В доменном производстве это тепло отходящих газов, шлака, систем охлаждения, а также кинетическая энергия отходящих газов.

К отходам сталеплавильного производства относятся в первую очередь *стальной скрап, литники, недоливки, брак и шлак*, получаемые при разливе стали в формы. Все виды отходов, кроме шлака, имеют высокий процент железа и используются в доменном производстве. Сталеплавильные шлаки имеют более высокое содержание железа (до 27% по оксиду), чем доменные, но из-за трудностей его извлечения в металлургии не используются. Применение этих шлаков для производства строительных материалов также затруднено из-за непостоянства состава и свойств.

Значительное количество различных отходов образуется в *прокатном производстве*: металлоотходы, тепло отходящих газов и испарительного охлаждения, окалина, сварочный шлак и др. **Сварочный шлак** (металл, окисленный во время нагрева) из-за его засоренности повторно используется лишь частично в доменной шихте. Окалина идет на агломерацию или в доменные печи.

Металлургические шлаки являются вторым продуктом металлургического производства как по ценности, так и по объему выпуска. Важность их для народного хозяйства связана не только с ценными физико-химическими свойствами, но и с огромными масштабами производства, сравнимыми с потребностью в строительных материалах. Существенное значение имеет и благоприятная география размещения металлургических заводов, которые, как правило, являются основой развития экономического района и центрами концентрации строительных мощностей. Основное количество шлаков (до 60%) производится в южных районах Европейской части страны, затем следуют Урал (27%), центр Европейской части (7%) и Сибирь (5%).

Основной задачей в области использования металлургических шлаков является полная их переработка и, как результат, организация безотвальной работы металлургического предприятия. Наиболее широко при этом используется **грануляция** как наиболее простой, дешевый, универсальный и производительный способ переработки шлаков.

В настоящее время в основном перерабатываются все шлаки текущего выхода и интенсивно разрабатываются **шлаковые отвалы**. С учетом отвальных шлаков уровень шлакопереработки составляет около 120–130% к объему шлаков текущего выхода. Из общего количества перерабатываемых шлаков 32% выпускается в виде гранулированного шлака, 37% — в виде шлаковой пемзы, 28% — в виде шлакового щебня, 3% — в виде шлаковаты. Полностью используются шлаки на Новолипецком комбинате и на ряде других. В настоящее время нет ни одного доменного цеха без установки по переработке шлаков.

Графитсодержащие отходы металлургического производства включают три основных компонента: **чугунный скрап, графитовую пыль (спель) и шлак**. Все они в настоящее время находят применение как в черной металлургии, так и в других отраслях народного хозяйства.

Основным условием образования и выделения графитсодержащих отходов является **понижение температуры жидкого чугуна** и, как следствие, растворимости углерода в нем. Чешуйки графита, всплывая в жидком чугуне, захватывают с собой частицы металла и шлака и образуют **графитовую спель**. При интенсивной работе доменных печей в настоящее время существенно возросло содержание углерода в чугуне (за счет роста температуры выпуска чугуна) и, соответственно, выделение его в виде графитовых отходов. Содержание углерода в передельных чугунах составляет в среднем 4,1%, в литейных — 3,5%, в ферросилиции — 1,5–2,0%. Графитсодержащие отходы образуются на всех стадиях цикла прохождения жидкого чугуна по мере его охлаждения, располагаясь над его зеркалом в чугуновозном ковше.

В целом на металлургических заводах образуется ежегодно более 3 млн тонн графитсодержащих отходов, включающих около 800 тыс. тонн чугунного скрапа и почти 200 тыс. тонн графита.

Графитовая спель, содержащая в среднем 60% углерода, до 15% кремния и другие элементы, представляет собой ценное комплексное сырье в первую очередь для производства графита. При этом графитовая продукция получается более высокого качества и по более простой технологии, чем из природных графитовых руд. Шлаковая составляющая графитсодержащих отходов находит применение в дорожном и строительном производстве.

В числе отходов в черной металлургии видное место занимает **металлургический оксид железа**, который стал находить применение лишь в самое последнее время. Он является ценным и дефицитным сырьем для производства ферритов и постоянных магнитов, синтетических железно-окисных пигментов, железного порошка для литейного производства и др. Основным промышленным способом получения оксида железа является **термическое разложение железного купороса**.

Перспективной сырьевой базой для развития побочных производств на заводах черной металлургии является **технологический унос (возгоны)** доменных и мартеновских печей. Так, тонкий и средний унос, формирующийся главным образом в зоне основных реакций, часто является богатым полиметаллическим, графитовым или другим концентратом (тонкий унос доменных печей содержит до 10% Zn и Pb); унос мартеновских печей и конвертеров представляет собой практически чистый оксид железа — **сурик**.

13.4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Степень полезного использования топлива в отрасли составляет 30–33%. Остальное количество, измеряемое сотнями тысяч тонн условного топлива в год, безвозвратно теряется в виде различных тепловых отходов. Так, средний энергетический КПД мартеновских печей составляет всего 30–38%, нагревательных печей — 28–32% и т. д. Высокий расход тепла в черной металлургии обуславливает высокие затраты на топливо и энергетические нужды, составляющие более 30% общих затрат на производство металлургической продукции. При современном уровне развития техники степень возможного использования внутренних (вторичных) энергетических ресурсов (горючих газов и физического тепла) на металлургических заводах может быть доведена до 80%.

Наличие большого количества вторичных энергетических ресурсов — это особенность черной металлургии. Среди них наибольшее значение имеют газы (коксовые, доменные, ферросплавных печей, конвертерные). Коксовый газ используется практически полностью. Увеличивается потребление коксового и доменного газов на ТЭЦ и котельных (буферные потребители). Трудности использования энергии конверторных газов, содержащих до 90% CO, связаны с периодичностью процесса их образования.

Следующим по объему вторичным энергетическим ресурсом в металлургии является тепло доменных и сталеплавильных шлаков. Как и отходящие газы, шлаки обладают характеристиками, необходимыми для организации процесса утилизации тепла: высокой температурой (1250–1450 °C), большим количеством и во многих случаях непрерывностью процесса. Однако из-за конструктивных и технологических трудностей перевода шлаков из жидкого состояния в твердое это тепло практически не используется.

В числе других до конца не решенных проблем рационального использования энергетических ресурсов в черной металлургии значительное место принадлежит использованию *потенциальной энергии избыточного давления* доменного и природного газов. С развитием техники и технологии доменного производства доменные печи стали работать при повышенном давлении. Это обеспечивает лучшее распределение газов по печи и использование их восстановительной способности, уменьшение выноса шихтовых материалов из печи, снижение расхода кокса на выплавку чугуна, увеличение производительности. Более 75% доменных печей выплавляют чугун при повышенном давлении, достигающем 0,35 МПа. Перед заводской разводящей газовой магистралью избыточное давление газа сбрасывается на специальных дроссельных

устройствах, где для доменной печи объемом 2000 м^3 с избыточным давлением $0,25 \text{ МПа}$ теряется до $100 \text{ млн кВт} \cdot \text{ч}$ энергии расширяющегося газа.

Аналогичные потери возникают и при потреблении в металлургической промышленности природного газа, использование которого в отрасли достигает 15% его общего потребления в стране. Транспортировка природного газа к потребителям производится в трубопроводах под большим давлением, доходящим до $75 \text{ МПа}/\text{см}^2$. Перед потреблением избыточное давление газа снижается до $0,4\text{--}0,6 \text{ МПа}/\text{см}^2$ на дроссельных устройствах, где теряется большое количество полезной работы расширения газа.

Сброс избыточного давления можно производить в специальных газовых турбинах, в которых сжатый газ служит рабочим телом для производства электрической энергии. Высокая экономическая эффективность производства электроэнергии на газотурбинных расширительных электростанциях, использующих избыточное давление доменного газа, подтверждается практикой их эксплуатации на ряде металлургических заводов.

Так, на Череповецком металлургическом комбинате (в настоящее время ОАО «Северсталь») за доменной печью объемом 2700 м^3 установлена газовая турбина мощностью 12 МВт . Выход доменного газа от печи составляет $450 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$. Из этого объема $100 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$ сбрасываются в межцеховой газопровод доменного газа, а $350 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$ очищенного и подогретого газа при абсолютном давлении $0,335 \text{ МПа}$ подаются на турбину, которая служит приводом электрического генератора мощностью 12 МВт . Годовая выработка электроэнергии составляет $80 \text{ млн кВт} \cdot \text{ч}$.

Использование вторичных тепловых ресурсов в утилизационном оборудовании по основным металлургическим производствам в среднем находится на уровне 30% , в том числе: по доменному — 12% , прокатному — 25% , мартеновскому — 42% , коксохимическому — 10% , конвертерному — 84% , огнеупорному — 64% .

При повышении среднего уровня использования вторичных тепловых энергетических ресурсов на металлургических заводах до $70\text{--}80\%$ можно практически полностью удовлетворить их производственную потребность в тепловой энергии за счет получения ее в утилизационных устройствах. Опыт передовых металлургических предприятий подтверждает эту возможность.

В проблеме использования вторичных тепловых ресурсов наряду с увеличением степени утилизации важное значение приобретают и вопросы полного и рационального использования выработанной тепловой энергии. Тепловой баланс металлургического завода характеризуется большим преобладанием ресурсов пара низкого давления, который используется на $40\text{--}50\%$, и недостатком пара давлением $1,0\text{--}1,8 \text{ МПа}$, покрываемым острым паром заводских ТЭЦ.

Значительные количества вторичного тепла образуются в металлургическом производстве при охлаждении оборудования. Водяное охлаждение, постепенно заменяемое испарительным, остается в основном там, где охлаждаются небольшие поверхности или особенно ответственные элементы (фурмы, летки). Тепло водяного охлаждения обычно не используют, так как для предотвращения образования накипи на стенках воду перегревают всего на 5–10 °С. Применение химически очищенной воды и ее многократная циркуляция позволяют нагревать воду до температуры, достаточной для теплоснабжения.

Расход воды на испарительное охлаждение снижается по сравнению с водяным в 30–40 раз. Химически очищенная вода не образует накипи, благодаря чему в 2–3 раза увеличивается стойкость охлаждаемых элементов. Вырабатываемый пар используется для теплоснабжения.

Эффективность использования вторичных тепловых энергетических ресурсов не ограничивается только экономией топлива. В ряде случаев их использование способствует повышению производительности, увеличению длительности работы основных технологических установок, уменьшению количества промышленных выбросов. Например, установка котлов-утилизаторов за мартеновскими печами повышает их производительность на 2–3% в результате улучшения тягодутьевого режима, уменьшает расход воды в 2–2,5 раза, электроэнергии на привод эксгаузеров на 20–30%, расход топлива на подогрев отходящих газов перед дымовой трубой на 20–25%.

13.5. БЕСКОКСОВЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СТАЛИ

Наиболее характерным примером создания принципиально нового безотходного процесса в черной металлургии является *бескоксовый бездоменный* метод получения стали непосредственным восстановлением железорудных концентратов водородом или конвертированным природным газом. В таком процессе из технологической цепи полностью устраняются стадии, в наибольшей степени ответственные за загрязнение окружающей среды: доменный передел, производства кокса и агломерата. Это позволяет, по меньшей мере, вдвое уменьшить потребность в воде и количество образующихся сточных вод, а также практически полностью исключить вредные выбросы в атмосферу.

По данной технологической схеме мелко раздробленный железный концентрат, смешанный предварительно с водой, перекачивают из месторождения на металлургический завод по трубам в виде пульпы. Вода после отделения в отстойниках возвращается на обогатительную фабрику. Затем во вращающихся барабанах руду смешивают со связующими веществами и получают гранулированный продукт — так называемые окатыши. В окатыши при грануляции добавляют небольшое количество извести. Готовые окатыши поступают в шахтную печь, где происходит восстановление оксидов железа водородом или конвертированным при-

родным газом. Процесс осуществляется при $1000\text{--}1100^\circ\text{C}$. В результате получают *губчатое железо* с содержанием основного компонента 95%. Каждый агрегат, в котором ведут процесс, способен выдавать до 1500 т железа в сутки.

Полученный продукт, являющийся полуфабрикатом, направляют на электродуговую переплавку для получения высококачественной стали (рис. 13.5).

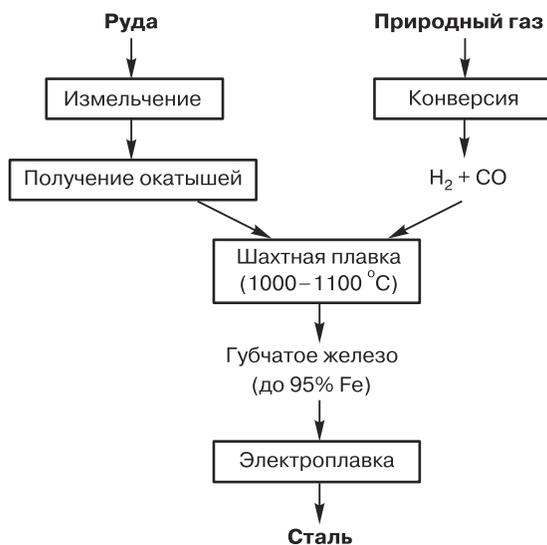


Рис. 13.5. Принципиальная схема бескоксового получения стали

Опыт производства стали по описанной технологии показал, что ее применение обеспечивает существенное снижение выбросов в атмосферу диоксида серы, пыли и других вредных веществ и позволяет утилизировать практически полностью все отходы производства. Шлаки и другие твердые отходы при таком процессе не образуются.

В Российской Федерации имеется металлургическое предприятие без доменных печей и коксохимического производства — ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат». В качестве сырья это предприятие использует высокосортные железные руды Курской магнитной аномалии (Лебединское месторождение).

Однако себестоимость стали, полученной этим методом, пока значительно превышает себестоимость стали, полученной по традиционной технологии, что и препятствует широкому внедрению данного метода.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные экологические проблемы черной металлургии.
2. Каковы основные направления совершенствования доменного процесса?
3. Как получают агломерат и окатыши?
4. Для чего используется кокс при получении чугуна?
5. Как можно экономить кокс в доменном процессе?
6. Почему образуются графитосодержащие отходы и как они используются?
7. Каковы пути энергосбережения в черной металлургии?
8. Как обезвреживаются колошниковые газы?
9. Каковы экологические особенности бескоксового метода получения стали?

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Рациональное и повторное
использование цветных
металлов — веление времени.

14.1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

К *цветным металлам* относятся все металлы и их сплавы, кроме железа. Цветные металлы делятся на *благородные* (золото, платина, серебро, палладий, иридий, рутений, родий, осмий), *тяжелые* (медь, свинец, цинк, никель, кобальт, марганец, сурьма, олово, хром, висмут, ртуть, мышьяк), *легкие* (литий, калий, натрий, рубидий, цезий, кальций, магний, бериллий, алюминий, титан) и *редкие* металлы (вольфрам, молибден, тантал, ванадий, селен, теллур, индий, германий, цирконий, таллий и др.). Современное общество не может существовать без таких металлов, как медь, свинец, цинк, никель, хром, алюминий и т. д. Использование многих других компонентов рудного сырья цветной металлургии обеспечило создание целого ряда областей новейшей техники, таких как полупроводниковая, радиоэлектроника, производство сверхтвердых, жаропрочных и других материалов. Вопросу рационального, бережного использования цветных металлов во всем мире уделяется особое внимание [37].

Цветная металлургия по сравнению с черной металлургией является значительно более сложным и трудным объектом с точки зрения организации экологически обоснованного, малоотходного и безотходного производства в силу исторически сложившихся присущих ей особенностей технологии. Она относится к числу отраслей индустрии, характеризующихся необычайно разнообразием принципиально различных производств, методов, процессов, аппаратурного оформления при самом широком разнообразии видов исходного минерального сырья.

В цветной металлургии, как правило, очень велик выход отходов на единицу продукции, что связано с характером используемого сырья. Исключение составляет только сырье для алюминиевой промышленности: содержание основного вещества в бокситах и нефелинах находится на уровне 20–30%. В большинстве случаев для получения 1 т металла надо переработать в среднем 100–200 и более тонн руды, а в отдельных случаях даже тысячи тонн. При этом балластная, практически неиспользуемая, часть сырья переходит в твердые, жидкие и газообразные отходы. Кроме того, в цветной металлургии более явно выражена тенденция вовлечения в переработку все более и более бедного природного

сырья, что неизбежно резко увеличивает относительный и абсолютный выход газообразных, твердых и жидких отходов.

Руды цветных металлов часто оцениваются по так называемому *геохимическому коэффициенту* (ГК) — отношению среднего содержания металла в руде к его *кларковому* содержанию. Этот коэффициент неуклонно снижается. Например, для медных руд в 1900 г. он составлял величину 2600, тогда как теперь не превышает 300. Соответственно содержание меди в перерабатываемой руде снизилось с 4 до 0,5%.

Другой особенностью цветной металлургии, связанной с технологически сложным характером сырья, является *большое количество токсичных веществ*, содержащихся в сырье и загрязняющих отходы. Это, в первую очередь, соединения серы, мышьяка, сурьмы, селена, теллура и др. Токсичными являются и сами остаточные цветные металлы (свинец, цинк, медь, кадмий, ртуть и т. п.).

К сожалению, прогнозы развития производства цветных металлов в мире не дают оснований надеяться, что в ближайшие годы будут найдены радикальные способы устранения отмеченных выше объективных причин образования большого количества отходов. Создание безотходного и даже малоотходного производства цветных металлов сталкивается с большими трудностями. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется частичному решению вопросов безотходной технологии и внедрению ее принципов. Имеются в виду отдельные процессы, отдельные предприятия и отдельные подотрасли, где уже имеются частично реализованные возможности значительного уменьшения выхода ряда отходов, утилизация которых очень важна с точки зрения охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. В нашей стране имеются предприятия цветной металлургии, где устойчиво освоено постоянное извлечение в готовую товарную продукцию до двух и более десятков ценных элементов перерабатываемого рудного сырья.

14.2. ПРОИЗВОДСТВО МЕДИ

Медное сырье подразделяется на медно-цинковое, медно-никелевое, медно-молибденовое, медно-кобальтовое и т. д.

Медные руды России (и некоторых других стран) характеризуются высоким содержанием сульфидных минералов, в частности пирита. Главными рудными минералами являются *халькопирит* (CuFeS_2) и *сфалерит* (ZnS). Обычно присутствуют халькозин, борнит, маркезит, пирротин. Встречаются также арсенопирит, кубанит, аргентит, галенит, в небольших количествах золото, серебро, селен, теллур. С технологической точки зрения важен специфический характер большинства этих руд — тонкозернистость и взаимная вкрапленность основных минералов. Комплексное использование медно-цинковых руд месторождений Урала, Восточного Казахстана, Северного Кавказа, как и полиметал-

лических руд Алтая, представляет собой сложную научно-техническую задачу.

Обычная схема переработки медьсодержащего сырья по *пирометаллургическому* методу (более 80% мирового производства меди) такова:

- флотация руд с получением селективного медного концентрата;
- окислительный обжиг;
- плавка с получением двух жидких слоев: *штейна* — сплава сульфидов меди и железа и *шлака* — в основном силикатов различных металлов.

Жидкий штейн продувают в конвертерах воздухом или кислородом для окисления сульфидов железа, перевода железа в шлак и выделения меди в виде чернового металла. *Черновая медь* подвергается *рафинированию* (вначале обычно огневому, а затем электролитическому). *Чистую катодную медь* переплавляют в товарные изделия. Все эти многочисленные стадии, характерные для современной пирометаллургии меди, сопровождаются образованием разнообразных по свойствам и составу отходов в виде газов, пылей, сточных вод и т. п., в которых содержится ряд ценных компонентов, подлежащих извлечению.

Особо сложную задачу представляет присутствие большого количества цинка в руде. Осложнения начинаются уже на начальной стадии *флотационного обогащения руды*. Схема флотационной установки представлена на рис. 14.1. Коэффициент комплексного использования медно-цинкового сырья не менее чем на 20% ниже, чем при переработке медного или свинцово-цинкового сырья. Наибольшие потери цинка — в отвальных и пиритных хвостах обогащения (20–25%). Велики и потери меди (15–20%), поэтому извлечение меди на этой стадии не превышает 75–78%. Значительны также потери цинка с медными концентратами. В них переходит 30%, а иногда и 50% цинка. Таким образом, так называемая *селективная флотация* медно-цинковых руд не обеспечивает комплексного использования сырья. Вот почему за последнее время при совершенствовании технологии обогащения медно-цинковых руд уделяется большое внимание развитию *коллективно-селективной флотации* трудноразделяемых руд. Сюда относятся, например, руды Учалинского, Сибайского, Гайского и других месторождений Урала. Разрабатываются комбинированные технологические схемы, предусматривающие выделение медно-цинковых промежуточных продуктов с целью их последующей переработки гидрометаллургическими или пирометаллургическими методами на металлургических заводах.

В качестве примера, иллюстрирующего попытки решения проблемы, приведена технологическая схема обогащения руды Межозерного рудника на Урале, которая относится к наиболее сложным типам руд. Эта руда представлена комплексом сульфидов меди, цинка и железа с тесным взаимным проращением и тонкозернистым строением.

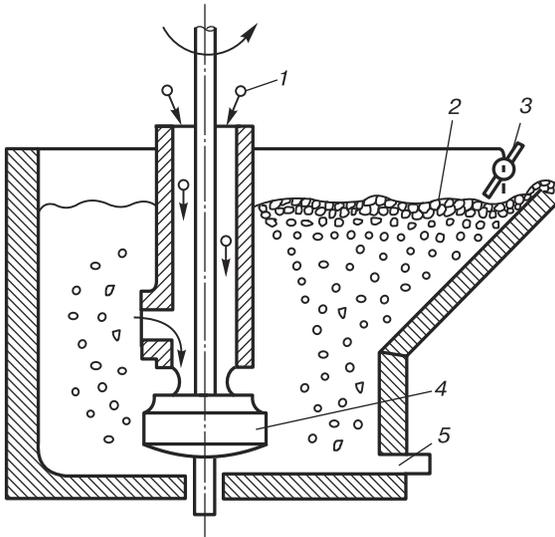


Рис. 14.1. Схема механической флотационной машины: 1 — засасываемый воздух; 2 — минерализованная пена; 3 — выгрузка пены; 4 — мешалка-импеллер; 5 — сливное отверстие

В связи с неудовлетворительными показателями разделения меди и цинка при флотации на обогатительных фабриках долгое время извлекали только медь, а с хвостами и медными концентратами терялся цинк. В настоящее время разработана схема коллективно-селективной флотации, которая, хотя и сложна, но позволяет получать существенно лучшие показатели по комплексности извлечения основных ценных составляющих (рис. 14.2). По этой технологической схеме извлечение меди в медный концентрат составляет 78–81%, а цинка в цинковый концентрат — 50–53%.

Медный концентрат направляют на пирометаллургическую переработку, первой стадией которой является **обжиг** для окисления части сульфидов железа (рис. 14.3).

Вследствие этого при последующей плавке большое количество железа переходит в шлак, и содержание меди в штейне повышается. Раньше обжиг производили в механических многоподовых печах, в настоящее время — в кипящем слое. Газы обжига содержат 5–7% SO_2 и используются в производстве серной кислоты. Горячий огарок из печи направляется на **плавку шихты** для разделения штейна и шлака по плотностям.

Плавку (огарка) концентратов на большинстве заводов проводят в отражательных (рис. 14.4) или электрических (рис. 14.5) печах. И хотя в отражательных печах выплавляется 80% черновой меди, им присущи существенные недостатки: невозможность использования тепла

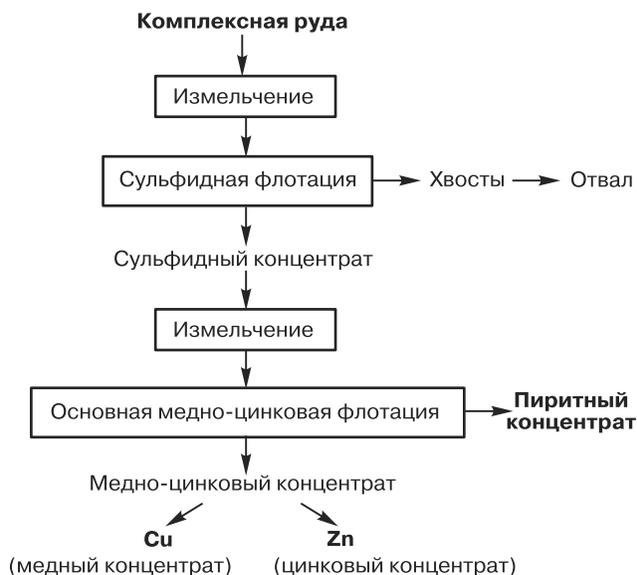


Рис. 14.2. Схема коллективно-селективной флотации медно-цинковых руд: пиритный концентрат используют для получения H_2SO_4 . FeS содержит, % от исходного содержания в руде: 75–80 серы, 10–20 меди, 15–20 цинка, до 70 золота, до 60 серебра, 60–80 редкоземельных элементов

экзотермических реакций, происходящих при окислении сульфидов, и большой объем отходящих газов с низким содержанием сернистого ангидрида (0,5–1%).

Получающийся при плавке *жидкий штейн* (в основном Cu_2S и FeS) направляют в конверторную печь и через расплав продувают сжатый воздух. *Конвертирование штейна* протекает в две стадии. Сначала окисляется сульфид железа; для связывания оксидов железа в конвертер добавляют кварц. Образующийся конвертерный шлак вследствие повышенного содержания в нем меди (1,5–3%) возвращается в отражательные печи. Затем окисляется сульфид меди и образуется SO_2 . *Черновая медь*, получающаяся при конвертировании, для извлечения сопутствующих металлов (Au, Ag, Se, Te, Bi и др.) и удаления вредных примесей направляется на рафинирование, сначала на огневое, а затем на электролитическое. Огневое рафинирование основано на большем, чем у меди, сродстве металлов-примесей к кислороду. Жидкая медь насыщается кислородом, при этом железо, цинк, кобальт и частично никель и другие примеси переходят в шлак, а сера удаляется с газами. После удаления шлака окисленную часть меди восстанавливают древесинными опилками, пылевидным углем, мазутом или обычным и конвертированным природным газом. Полученные отливки являются *анодами*.

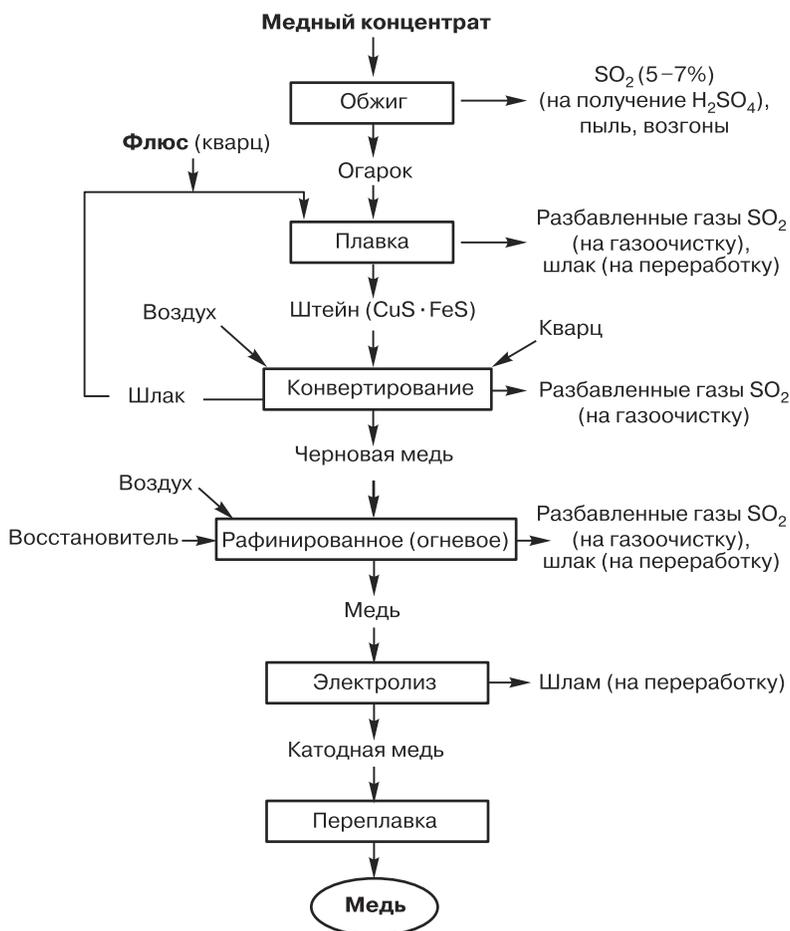


Рис. 14.3. Принципиальная технологическая схема получения меди

Электролитическое рафинирование меди проводят в сернокислых растворах. В общем виде процесс электролиза описывается следующей электрохимической схемой: катодная основа (–) – электролит (CuSO_4 , H_2SO_4 , H_2O , примеси, добавки) – анодная медь (+).

Катоды наращивают на тонких медных листах, также получаемых электролизом в специальных матричных ваннах. Для получения плотных осадков в электролит вводят поверхностно-активные добавки (столярный клей, тиомочевину и др.). Получающаяся катодная медь после промывки направляется на *переплавку*.

Благородные металлы, селен, теллур и другие ценные спутники меди концентрируются в анодном шлаке и направляются на специальную переработку. Никель накапливается в электролите и может быть по-

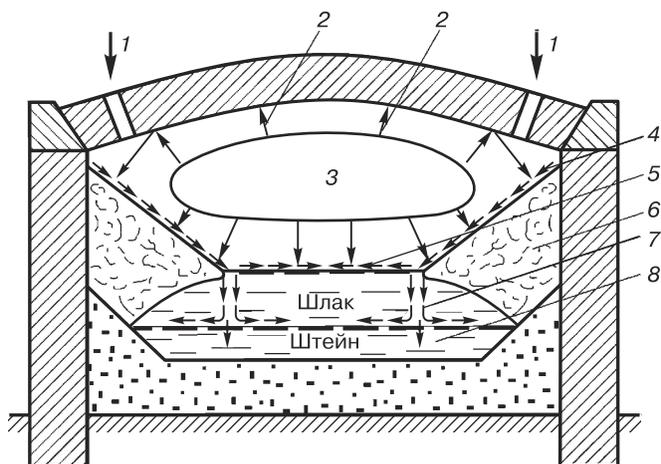


Рис. 14.4. Плавка в отражательной печи: 1 — загрузка шихты; 2 — направление потоков теплоизлучения от факела; 3 — факел горячего топлива; 4 — стекающий поверхностный слой расплавленной шихты; 5 — легкая фракция расплава, обогащенная кварцем; 6 — шихтовый откос; 7 — тяжелая фракция расплава, обогащенная оксидами железа и сульфидами; 8 — штейн

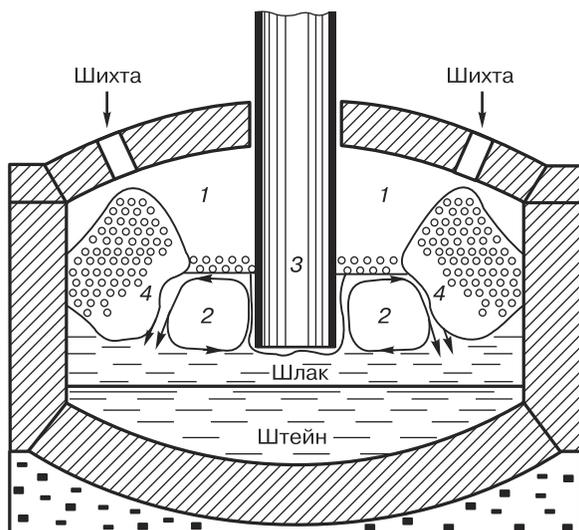


Рис. 14.5. Электроплавильная печь: 1 — восстановление шлака коксом, 2 — теплообмен и движение шлака, 3 — подвод, распределение и преобразование энергии, 4 — плавление шихты

лучен в виде *никелевого купороса* (NiSO_4) путем выведения части электролита на упаривание и кристаллизацию.

Наряду с описанными пирометаллургическими методами применяются также *гидрометаллургические методы* получения меди, преимущественно из бедных окисленных и самородных руд. Эти методы основаны на селективном растворении медных минералов обычно в слабых растворах серной кислоты и аммиачных растворах. Из раствора медь осаждают железом (так называемая *цементация меди*) либо выделяют электролизом с нерастворимыми анодами.

К комплексному сырью, служащему источником для получения меди, относятся также *сульфидные медно-никелевые* руды, на которых в основном базируется производство никеля в России. Эти руды, наряду с медью и никелем, содержат кобальт, селен, теллур и значительное количество металлов платиновой группы. Такое разнообразие ценных элементов требует организации комплексного их использования. К медно-никелевым рудам относятся прежде всего руды Норильского и Талнахского месторождений, а также месторождений Кольского полуострова.

Средний коэффициент использования сырья, поступающего на медеплавильные заводы, рассчитанный по извлекаемым компонентам, составляет 63,5%, а с учетом меди и серы в цинковых концентратах — 64,4%. При обогащении руд он составляет 58,8%, а в металлургическом производстве — 82,8%. При обогащении наибольший резерв повышения коэффициента использования сырья скрыт в пиритных концентратах, с которыми в настоящее время теряется большая часть благородных металлов, а также цветных, редких и рассеянных элементов. В них переходит 75–80% серы, 10–20% меди, 15–20% цинка, до 70% золота, до 60% серебра, 60–80% редких и рассеянных элементов.

Из всего этого богатства на химических предприятиях, куда направляется далеко не вся масса пиритных концентратов, извлекают только серу в виде серной кислоты. Остальные компоненты остаются главным образом в огарке, который предприятия обычно направляют на получение цемента. *Организация комплексной переработки пиритных концентратов с использованием всех ценных компонентов, в том числе оксидов железа, на предприятиях химической промышленности является актуальнейшей задачей.*

Сложную задачу представляет переработка шлаков цветной металлургии, в которых также содержится много ценных компонентов, что не позволяет считать их отвальными. К сожалению, в массовом масштабе переработка шлаков медной плавки еще не внедрена, хотя подробно исследован ряд способов, например двухстадийный электролитический, цементационный, газоелектротермический с использованием природного газа, восстановительный процесс в конверторе и др. Эти способы обеспечивают комплексную переработку шлаков с получением меднистого чугуна и стали, цинковых возгонов, минеральных удобрений, а из силикатной части — строительных материалов.

Отметим, что получение шлаковых удобрений, в частности шлакофосфата, сравнимого с суперфосфатом, очень важно.

В медеплавильном производстве образуется много пыли, степень улавливания которой зависит от совершенства применяемой аппаратуры пылеочистки. Состав пылей медеплавильного производства представлен в табл. 14.1.

Таблица 14.1

Состав пылей и возгонов медеплавильного производства

Источник пыли	Состав, %								
	Zn	Pb	Cu	Cd	S _{общ.}	As	Sb	Se	Te
Обжиговые печи кипящего слоя	4-5	—	10-12	—	18	—	—	—	—
Многоподовые обжиговые печи	4,8	0,7	16	—	12	—	—	—	—
Печи кислородно-факельной плавки	3,4	0,6	—	—	—	0,17	0,12	0,007	0,006
Отражательные печи	10-30	4-10	1-5	0,04	3,6	1,04	0,07	—	—
Конверторные печи	9-13	41-45	1,4-2,1	—	8,2	0,8	0,1	—	—
Шахтные печи	8-20	6-10	3-15	—	—	2-15	—	—	—

Как видно из табл. 14.1, состав пылей довольно разнообразен, но во всех случаях в них содержится много ценных и токсичных компонентов (цинк, свинец, медь, кадмий и др.). Переработка пылей в общем аналогична переработке пылей свинцово-цинкового производства. Наиболее целесообразно выщелачивание слабой серной кислотой соединений цинка и кадмия и использование нерастворимого остатка, содержащего свинец и медь в качестве добавки в шихту свинцовой или медной плавки.

Отходящие газы пиromеталлургического производства меди, содержащие диоксид серы, перерабатывают на серную кислоту. Известную сложность представляют сбор сернистых газов и исключение их чрезмерного разбавления подсасываемым воздухом. Особенно это затруднительно в случае сбора газов при работе конвертеров. Поэтому усилия металлургов направлены на разработку таких конструкций конвертеров, которые обеспечивают минимальное разбавление сернистых газов. Примечательно, что себестоимость 1 т серной кислоты, получаемой при производстве меди, на 30-40% ниже, чем себестоимость кислоты, производимой на заводах химической промышленности из пиритных концентратов, и более чем на 50% ниже получаемой из элементарной серы.

14.3. СВИНЦОВО-ЦИНКОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Среднее содержание свинца ($1,6 \cdot 10^{-3}\%$) и цинка ($1,5 \cdot 10^{-3}\%$) в земной коре практически одинаково. Наиболее важный минерал свинца — *галенит* (свинцовый блеск, PbS) — встречается во всех сульфидных рудах гидротермального происхождения. Основной минерал цинка — *сфалерит* (цинковая обманка, ZnS) — входит в состав многих сульфидных комплексных руд.

Технологические схемы получения свинца и цинка на Усть-Каменогорском свинцово-цинковом комбинате (Казахстан) представлены на рис. 14.6. На этом комбинате из полиметаллического сырья извлекали 18 элементов и выпускали около 40 видов товарной продукции. *Полное извлечение свинца составляет 97,4%, цинка 96,5%.*

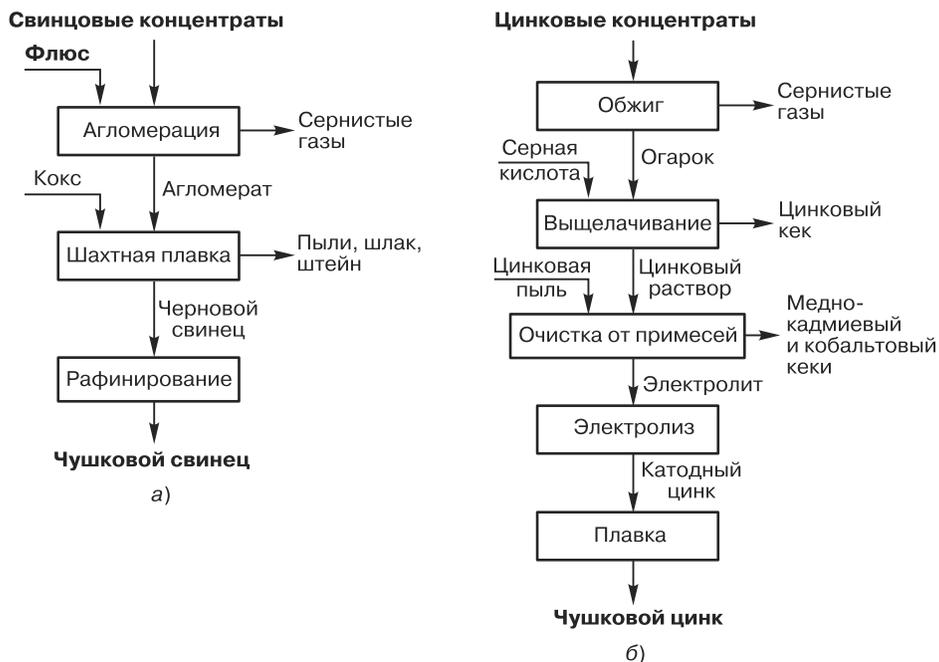


Рис. 14.6. Технологические схемы производства свинца (а) и цинка (б)

На схеме показано, что технология переработки свинцовых и цинковых (селективных) концентратов сопровождается образованием большого количества побочных технологических ветвей получения ценных веществ в виде самых разнообразных продуктов. Основная часть серы выделяется в виде сернистых газов при обжиге цинкового концентрата в печах с кипящим слоем (КС) (рис. 14.7) и при агломерации свинцового сырья. Подавляющая часть газов перерабатывается на серную кислоту в специальном цехе, входящем в систему комбината.

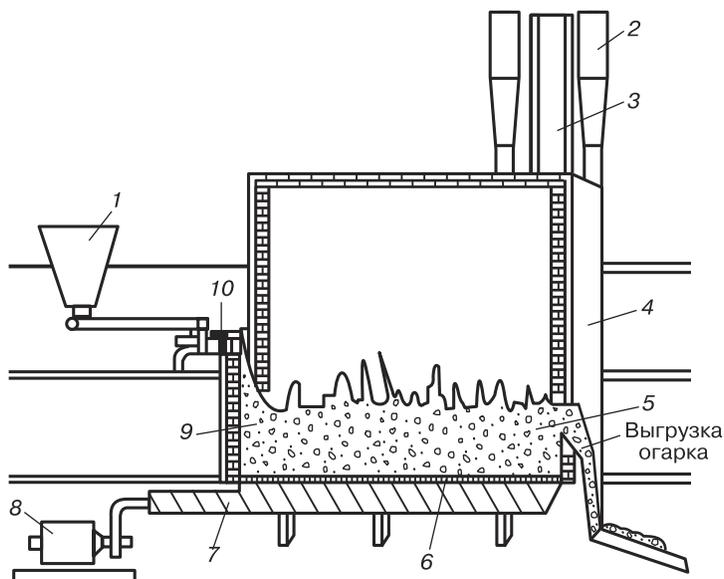


Рис. 14.7. Схема печи КС для обжига в кипящем слое: 1 — бункер для шихты; 2 — пылеулавливающий циклон; 3 — охлаждаемый газоход; 4 — печь; 5 — кипящий слой; 6 — подина; 7 — воздушный коллектор; 8 — воздуходувка; 9 — форкамера; 10 — питатель шихты

Первой пирометаллургической операцией получения свинца является **агломерирующий обжиг**, который необходим для перевода сульфидов свинца в оксид и одновременного получения спеченного, окускованного материала. Обжиг проводится на специальных агломерационных машинах путем просасывания воздуха через нагретый слой шихты, содержащий кроме концентрата флюсы (кварц, известняк, железную руду). При окислении сульфидов выделяется тепло, в результате чего происходит частичное оплавление шихты. Плавка агломерата ведется в шахтной печи (рис. 14.8) в смеси с **коксом** при температуре 1500 °С, причем оксиды свинца энергично восстанавливаются до металла.

При шахтной плавке получают **черновой свинец**, содержащий медь, золото, серебро, висмут и другие примеси, и **штейн** — сплав сульфидов металлов, содержащий цинк.

Черновой свинец очищается прежде всего от меди **ликвацией** (за счет неоднородного состава затвердевшего сплава) и смешиванием с серой; при этом медь удаляется в виде сульфида. Затем с помощью **окислительного рафинирования** отделяют мышьяк, сурьму, олово. Для этого свинец прокачивают через слой расплавленной смеси щелочи и поваренной соли, содержащий селитру (плав). Окисление примесей сопровождается образованием арсенатов, антимонитов, станнитов на-

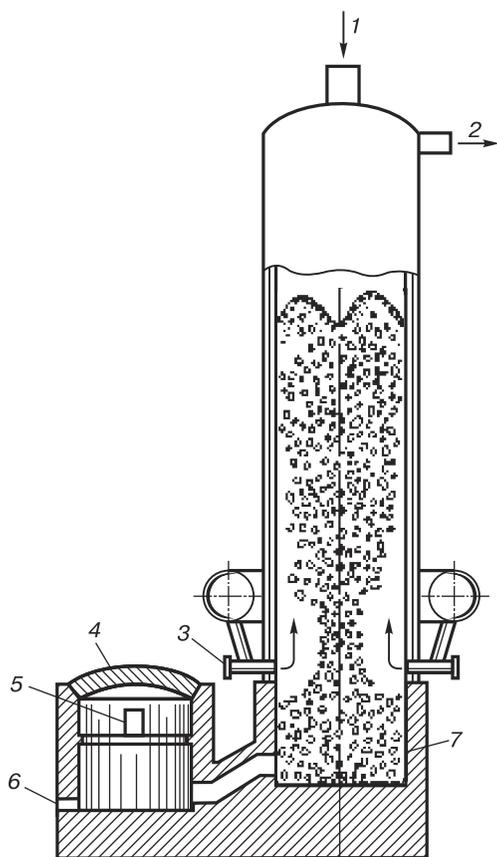


Рис. 14.8. Шахтная печь: 1 — загрузочное устройство; 2 — отвод газов; 3 — фурма; 4 — выносной горн; 5 — шлаковое окно; 6 — штейновый шпур (шпур — отверстие в горне шахтной печи для выпуска металла, штейна и шлака); 7 — внутренний горн

трия, которые переходят в щелочной плав. Примеси окисляются по очереди: As, Sn, Sb, поэтому можно получать плавы, обогащенные лишь одним из этих металлов, что облегчает дальнейшую переработку с целью их извлечения.

При выщелачивании обожженного концентрата (огарка), как правило, получается не растворимый в разбавленной серной кислоте остаток (так называемый **цинковый кек**). Он состоит из ферритов цинка ($ZnO \cdot Fe_2O_3$) образующихся при обжиге. В цинковый кек из сырья уходит 20–25% всего цинка, почти полностью свинец, железо, золото и серебро, а также 50–60% меди и 30% кадмия, некоторое количество индия и породообразующие минералы (SiO_2 , Al_2O_3). Цинковые кеки являются большим дополнительным источником получения цинка и ряда других ценных компонентов.

В мировой практике распространены три основных метода переработки цинковых кеков с целью извлечения находящихся в них ценных компонентов. Это 1) *вельц-процесс* (вельцевание) — разрушение ферритов цинка углеродистыми восстановителями С и СО, 2) разложение ферритов сернистым ангидритом или концентрированной серной кислотой (*сульфатизация*) и 3) непосредственное *растворение* кеков в серной кислоте при повышенной температуре и кислотности (методы автоклавный: ярозит-процесс и гетит-процесс).

В России наиболее распространено вельцевание, которое применяют все отечественные заводы, перерабатывающие цинковые кеки. Исключение составляет Лениногорский цинковый завод (г. Лениногорск), где используется разложение ферритов цинка раствором серной кислоты при повышенных давлениях и кислотности.

При вельцевании цинк, свинец, кадмий, индий на 92–93% переходят в возгоны и улавливаются фильтрующими устройствами. Медь, железо, благородные металлы, кремнезем, глинозем остаются в клинкере. Возгоны выщелачивают раствором серной кислоты, фильтруют, отделяют свинцовый кек, а полученный раствор присоединяют к растворам основного цинкового производства. Клинкер подвергают *магнитной сепарации* с целью разделения магнитной фракции (железо) и немагнитной (силикаты).

Аналогичная схема применяется и на других цинковых заводах. Магнитная фракция используется в свинцовой плавке, а немагнитная — как сырье для получения ряда строительных материалов.

Альтернативой вельц-процессу является схема *сульфатизации* кеков серной кислотой в печах кипящего слоя. Получаемый после сульфатизации продукт легко растворяется в воде, причем в раствор количественно переходят цинк, кадмий, медь, а в осадке концентрируется свинец, железо, золото, серебро, кремнезем. В раствор также переходит до 91% индия, который можно извлечь экстракцией.

Следует отметить прогрессивную технологию переработки цинковых кеков, основанную на реакциях разложения ферритов цинка серной кислотой при атмосферном давлении и температурах, близких к кипению (или даже выше, в автоклавах при повышенном давлении и температуре 140–160 °С). По этой схеме растворяется не только весь цинк, кадмий, медь и индий из цинкового кека, но и железо ферритов. Нерастворимый остаток концентрирует свинец, золото, серебро и может быть эффективно переработан обычной свинцовой восстановительной плавкой. *Особенностью* этого процесса является решение очистки сильно железистых растворов от железа с использованием осаждения его в виде *гетита* (FeOOH) или *ярозита* $[K \cdot Na \cdot NH_4 \cdot Fe_2(SO_4)_2(OH)_6]$, отличающихся от гидроксидов железа превосходной фильтруемостью. Технология выщелачивания цинковых кеков при повышенных температурах и кислотности и ярозит-процесс разработана и внедрена на Лениногорском цинковом заводе.

Данная схема весьма перспективна, так как, будучи основана на технологии серноокислых растворов, легко сочетается с существующей гидроэлектрометаллургической технологией переработки цинкового сырья. Она сравнительно малооперационна, проста и отличается высокой степенью комплексности. Полезно утилизируется даже осадок ярозита, который используется при приготовлении красок.

В стандартной схеме цинкового производства очистка растворов от меди, кадмия, кобальта производится с помощью цинковой пыли. Получаемый таким образом *медно-цинковый кек* служит источником получения практически всего производимого в стране *кадмия*. Утилизируются также медь и кобальт. Пирометаллургические процессы плавки свинцового производства (это относится в равной мере к медной и оловянной плавкам) сопровождаются образованием значительного количества шлаков, в состав которых входят цинк (до 17%), свинец (до 3%), медь (до 0,9%), оксиды железа, кремния, алюминия, кальция, магния и др.

Для переработки шлаков цветной металлургии, содержащих цинк (это в первую очередь шлаки свинцово-цинковых предприятий и предприятий медной металлургии Алтая и Урала, перерабатывающих комплексное медно-цинковое сырье), практическое применение нашли три способа, использующих пирометаллургические процессы разделения летучих и нелетучих компонентов шлака.

В странах Запада наиболее распространен так называемый *фьюминг-процесс*, основанный на продувке расплавленного шлака воздухом в смеси с восстановителем. При этом соединения цинка, кадмия, свинца и олова восстанавливаются и возгоняются. Они могут быть уловлены системой фильтров в виде пыли. Таким образом можно выделить до 99% свинца, более 90% цинка и кадмия, 80–85% олова. Другим продуктом фьюмингования является *штейн* (сплав сульфидов железа и меди), в котором концентрируется медь и благородные металлы. Отвальный шлак, обедненный по ценным компонентам, направляют в отвал, хотя он представляет ценность как сырье для получения строительных материалов.

Другой способ комплексной переработки шлаков — вельцевание. Например, на Каменогорском свинцово-цинковом комбинате применяется технология комплексной переработки твердых шлаков свинцовой плавки в трубчатых печах, куда подается смесь измельченного шлака и кокса. Процесс ведут при температуре 1000–1100 °С. В возгоны, улавливаемые системой фильтров, переходят цинк, свинец, кадмий в виде оксидов и, отчасти, сульфатов. В клинкере вельц-печей остаются медь, железо, благородные металлы, кремнезем и глинозем.

Вельц-оксиды выщелачивают раствором слабой серной кислоты или отработанным электролитом. Раствор используется в цинковом производстве, а свинцовый кек — в свинцовом. Клинкер обычно подвергают магнитной сепарации, что позволяет выделить находящиеся в нем медь,

драгоценные металлы, железо, а также силикатный остаток (для строительных материалов).

Степень концентрирования кадмия, индия, селена и теллура в пыли по отношению к содержанию их в исходной полиметаллической руде показана в табл. 14.2, а в табл. 14.3 приведен состав металлургических пылей и возгонов *свинцово-цинкового производства*, в которых концентрируется значительное количество редких и рассеянных элементов.

Таблица 14.2
Степень концентрирования некоторых редких элементов в пыли по отношению к их содержанию в исходной руде (относит. ед.)

Продукт	Cd	In	Se	Te
Руда	1	1	1	1
Свинцовый концентрат	3–4	2	4–10	4–6
Пыль	150–200	20	10–150	100–150

Состав пылей металлургического производства чрезвычайно разнообразен. Как правило, преобладают летучие соединения цинка и свинца. Обычно присутствуют кадмий, индий, селен, теллур, мышьяк, хлор, фтор. Последние три компонента в значительной степени осложняют дальнейшие технологические операции по утилизации пыли. Кадмий, индий, мышьяк (как и цинк), концентрируются главным образом в пылях свинцовой шахтной плавки; селен — в пылях от агломерации, шахтной плавки и конвертирования полиметаллических штейнов. Таллий находится преимущественно в пылях агломерации, однако его находят и во многих других продуктах свинцового производства.

Было много попыток использовать получаемые пыли в качестве добавки в основной процесс, но, как правило, такие приемы приводят к ухудшению показателей последнего. Состав пылей и возгонов специфичен и требует организации отдельного цикла, действующего по специально разработанной технологии для каждого данного материала. Это, впрочем, не исключает в некоторых случаях объединения пылей и возгонов в единое сырье, если их состав близок. Основным критерием при разработке технологии переработки пылей и возгонов является обеспечение большей полноты и комплексности извлечения из них полезных составляющих.

Чаще всего для переработки пылей и особенно возгонов применяют гидromеталлургические методы, позволяющие отделять цинк, кадмий и некоторые другие компоненты от свинца, находящегося в форме нерастворимого сульфата свинца. Такую переработку организуют на цинковых заводах, где возможно рационально утилизировать большинство извлекаемых ценных компонентов при работе основного производ-

Таблица 14.3

Состав пылей и возгонов свинцово-цинкового производства

Пыли и возгоны	Содержание, %										
	Zn	Pb	Cu	Cd	S _{общ.}	As	Sb	Se	Te	Cl	F
Агломерационные	1,3	57	—	1,2	10,3	0,47	—	1,3	—	—	—
Шахтных печей	12-20	55-65	—	1-3	6-8	0,4	0,1-0,2	—	—	—	—
Конвертерные	9,5-12,4	44-56	1,2-1,6	0,2-0,6	3-5	7,5-15	—	0,4-0,7	0,1	—	—
Обжиговых печей КС	40-45	1-4	1-2	0,3-0,7	10	—	—	—	—	—	—
Плаковозгоны	53-61	9-19	0,3-0,4	0,005	1,4-1,8	0,3-0,9	0,06	0,1-0,2	0,01	0,11-0,25	0,05-0,07
Вельц-оксиды	60-70	5-15	0,2-0,4	0,5-1	—	—	—	—	—	—	—

ства. Свинцовый кек передают в отделение агломерации и на плавку в шахтных печах свинцового производства.

Эффективным методом получения сульфатов ряда элементов, содержащихся в пылях, служит *сульфатизация* с помощью концентрированной серной кислоты при повышенных температурах. Полученный сухой сульфатный продукт легко выщелачивается водой или слабым раствором серной кислоты.

14.4. ПОЛУЧЕНИЕ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА

Наибольшие запасы никеля в нашей стране сосредоточены в сульфидных *медно-никелевых рудах* — ценнейшем полиметаллическом сырье, содержащем медь, кобальт, благородные металлы, редкие и рассеянные элементы.

Извлечение никеля из руд — сложный многостадийный процесс (рис. 14.9). Сначала руда подвергается селективной флотации с выделением медного и никелевого концентратов (4–5% Ni). Никелевый концентрат в смеси с флюсами *плавится* в электрических, шахтных или отражательных печах с целью отделения основной массы пустой породы и извлечения никеля в сульфидный сплав (штейн), содержащий 10–15% Ni. В России в основном применяется плавка в электропечах. Электроплавке предшествует частичный окислительный обжиг и окучкование концентрата методом агломерации или окатывания.

Наряду с никелем в штейн переходит часть железа, кобальт и практически полностью медь и благородные металлы. Для отделения железа его окисляют продувкой жидкого штейна воздухом в конверторах. В результате получают сплав сульфидов меди и никеля — *файнштейн*, который после медленного охлаждения тонко измельчают и направляют на флотацию для разделения меди и никеля. Полученный никелевый концентрат обжигают в кипящем слое до практически полного удаления серы и получения NiO. Металлический никель получают восстановлением NiO в электрических дуговых печах. Черновой никель разливают в аноды и подвергают электролитическому рафинированию.

В производстве *кобальта* особо сложной операцией является его отделение от никеля. Обычно используют большую склонность кобальта к переходу в трехвалентную форму и к образованию устойчивых комплексных соединений. С этой целью раствор кобальта и никеля обрабатывают в соответствующих условиях хлором, гипохлоритом натрия, пероксидом водорода, пероксидом свинца или другими окислителями. Конечным продуктом гидрометаллической стадии является Co_3O_4 . Из него получают *металлический кобальт* различными способами: восстановлением углем, водородом, оксидом углерода, алюмотермией и электролизом. Для рафинирования кобальта применяют его электролитическое осаждение из сульфатного раствора, насыщенного борной кислотой.

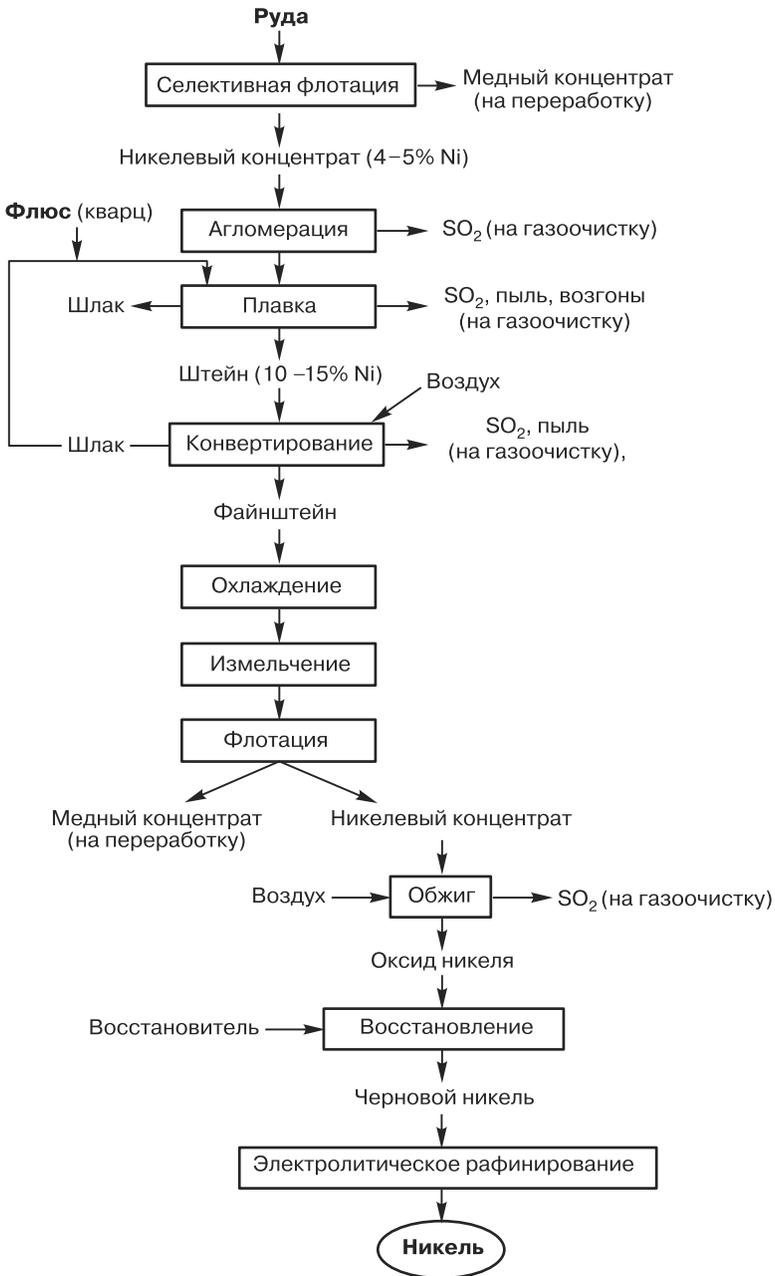


Рис. 14.9. Технологическая схема получения никеля

14.5. НОВЫЕ ПРОЦЕССЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СУЛЬФИДНЫХ РУД В ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Автогенные процессы. Основной задачей такой переработки является повышение комплексности использования всех ценных компонентов и в первую очередь серы. Полезное использование серы в цветной металлургии составляет около 40%.

Усилия исследователей направлены на создание принципиально новых технологических процессов получения важнейших цветных металлов, в которых бы подавляющая часть серы выделялась в виде концентрированных газов с последующей эффективной переработкой их в серную кислоту стандартными методами. Наиболее ярким примером таких разработок, частично внедренных в производство, являются различные варианты так называемых **автогенных процессов**, к которым относятся: плавка во взвешенном состоянии, циклонная плавка, плавка в кислородно-взвешенном циклонно-электро-термическом агрегате (КИВЦЭТ-процесс), плавка в жидкой ванне и др.

Общими достоинствами всех вариантов автогенных процессов плавки сульфидных, медных, медно-цинковых, свинцово-медно-цинковых, медно-никелевых и ряда других полиметаллических концентратов являются:

- резкое снижение объема отходящих газов и полное исключение их выбросов в окружающую среду путем использования для сернокислотного производства;
- значительное уменьшение и полное исключение применения углеродосодержащего топлива за счет теплотворной способности сульфидов сырья;
- возможность резкой интенсификации процесса плавки и регулирования состава получаемых продуктов;
- значительное повышение степени комплексного использования сырья.

Процесс КИВЦЭТ осуществляется в едином агрегате, где совмещены обжиг, плавка шихты в распыленном состоянии с применением кислорода, электроплавка и конденсация цинка в жидком состоянии в виде металла.

Высокая эффективность процесса КИВЦЭТ с применением кислорода обеспечивает высокую производительность установки при плавке медных концентратов, получение достаточно богатого медного штейна, небольшого количества отвальных шлаков и, что особенно важно, концентрированных по SO_2 отходящих газов, представляющих отличный продукт для получения серной кислоты. Следует отметить компактность такой установки.

Аналогичные результаты получены при плавке свинцово-цинковых, медно-цинковых и свинцово-медно-цинковых концентратов и, что очень существенно, коллективных полиметаллических концентратов и даже промежуточных продуктов.

Другим примером малоотходного автогенного процесса применительно к металлургии меди является крупный промышленный комплекс *кислородно-факельной плавки* (КФП) для переработки медно-сульфидных концентратов. Сущность процесса состоит в том, что перерабатываемый концентрат (в составе шихты) вносится в пламенное пространство печи струей кислородного дутья и там распыляется. Это приводит к образованию пылегазового факела, в котором окисляется концентрат, плавится шихта и частично офлюсовываются шлакообразующие оксиды. Заканчивается процесс в ванне печи, где полученный расплав расслаивается на шлак и штейн. *Применение кислорода исключает необходимость внешнего подвода тепла, и процесс идет автогенно, без расхода топлива.*

Концентрированные сернистые газы КФП резко упрощают работу серно-кислотного производства, обеспечивая высокую экономичность. Интересной особенностью установки КФП является использование тепла автогенной плавки в котле-утилизаторе, установленном за печью. Это единственный в мире агрегат котельного типа, работающий на газах автогенной плавки с содержанием в них диоксида серы до 80%. Такая конструкция может быть рекомендована для более широкого внедрения в цветной металлургии и для других вариантов автогенных процессов.

Отработаны также условия и режим плавки медно-цинковых концентратов Урала с переводом большей части цинка в шлак для последующего фьюмингования. Проведены работы по созданию технологии КФП медных и медно-никелевых концентратов Норильского ГОК (в настоящее время ОАО «Норильский комбинат»). В последнем случае получены штейны с содержанием меди (или меди и никеля) до 80%.

Внимание специалистов цветной металлургии все более и более привлекают автогенные процессы, осуществляемые путем плавки концентратов в жидкой ванне (ПЖВ). Плавка в жидкой ванне, в качестве которой используется хорошо перемешиваемый шлаковый расплав, наиболее перспективна среди автогенных процессов. Она свободна от ряда недостатков, присущих последним, и обладает существенными преимуществами. Так, при плавке медных концентратов в жидкой ванне в шлаковом расплаве создаются благоприятные термодинамические и кинетические условия для снижения содержания в шлаке растворимой меди. Это очень важно, так как повышенное содержание меди в шлаке является характерным недостатком процесса КИВЦЭТ, что в свою очередь определяется кратковременностью контактов компонентов в условиях взвешенного состояния.

Отличительными особенностями автогенного процесса *плавки в жидкой ванне* являются: сжигание сульфидов в шлаковом расплаве при энергичном барботаже ванны газами и вертикальное движение расплава в печи сверху вниз. Использование этих двух факторов позволяет с наибольшей полнотой оптимизировать условия протекания всех физико-химических процессов при плавке. В отличие от способов, основанных на плавке во взвешенном состоянии, в жидкой ванне могут быть созданы более эффективные условия для ускорения наиболее медленной стадии процесса и, следовательно, для увеличения производительности металлургического агрегата. Процесс в жидкой ванне освоен на Норильском горнометаллургическом комбинате (в настоящее время ОАО «Норильский комбинат»).

Автоклавная технология. Одним из ярких примеров использования автоклавной технологии в цветной металлургии (если не считать опыт применения автоклавного выщелачивания бокситов в производстве глинозема для алюминиевой промышленности) является применение гидрометаллургического способа комплексной переработки никель-пирротиновых концентратов Заполярья.

В основу технологии положено *автоклавное окисление пирротина* (FeS_x , где $x = 1 - 1,14$) в водной пульпе с получением элементарной серы и гидроксида железа, отделяемых от сернокислого раствора цветных и редких металлов, содержащихся в исходном сырье. Значимость автоклавной технологии объясняется тем, что обычные пирометаллургические методы к данному сырью не применимы. Исключительность разработанного способа состоит в практически полном отсутствии вредного влияния выделений SO_2 на окружающую среду.

Ионообменная сорбция. Экстракционно-сорбционная технология в гидрометаллургии приобретает особое значение в первую очередь для процессов разделения, концентрирования и очистки металлов. Наиболее широко сорбционные процессы применяются в *урановой* промышленности, которую в технологическом отношении можно считать близкой к металлургии цветных металлов. Как известно, *уран* — это единственный металл, который извлекается из природного сырья исключительно гидрометаллургическим способом.

Ионообменные методы извлечения урана из растворов и пульп начали применяться у нас в большом промышленном масштабе с 1948 г. по предложению академика Б. Н. Ласкорина. Были использованы карбоксильные смолы на основе акриловой и метакриловой кислот и другие иониты для избирательного извлечения урана из растворов и пульп. Затем были найдены иониты различной основности для сорбции урана из сернокислых и карбонатных растворов. В 1954 г. впервые в мировой практике был внедрен процесс ионообменной сорбции урана из рудных пульп, освоена принципиально новая прогрессивная технология

непрерывного бесфильтрационного метода сорбции из плотных пульп в аппаратах специальной конструкции с пневматическим перемешиванием. Сорбционная технология, например, в применении к сложным комплексным урановым рудам позволяет достичь высокого извлечения в товарную продукцию не только урана, но и ряда сопутствующих ценных элементов, таких как молибден, торий, ванадий, редкоземельные элементы и т. п.

Другим достаточно ярким примером успешного применения сорбционной технологии к сырью, трудно перерабатываемому традиционными методами, является *золотодобывающая промышленность*, связанная с гидрометаллургическим методом цианирования руд, характеризующихся, как правило, чрезвычайно низким (3–5 г/т) содержанием золота и сложностью компонентного состава.

Никель-кобальтовая промышленность — одна из наиболее подготовленных для широкого использования сорбционно-экстракционных процессов. В ней имеется соответствующий опыт, а гидрометаллургия занимает ведущее место в технологических схемах, в особенности на заключительных стадиях. Для решения задачи селективного извлечения примесей из никелевого электролита исследователями разработан сорбционный метод. Этот метод основан на применении комплексобразующих ионитов, селективных по извлекаемому металлу-примеси (цинку, железу, меди и др.) и обладающих высокими сорбционными свойствами и достаточной механической прочностью. На комбинате «Южуралникель» (в настоящее время ОАО комбинат «Южуралникель») и на Норильском горнометаллургическом комбинате (ОАО «Норильский комбинат») внедрены в крупном масштабе технологические схемы непрерывной сорбционной очистки никелевого электролита от примесей.

Разработана сорбционная технология извлечения меди и некоторых других сопутствующих элементов при переработке окисленных и смешанных руд, растворов кучного, подземного и бактериального выщелачивания, извлечения ценных металлов при переработке медьсодержащих продуктов, других цветных металлов и лома, различных производственных растворов сложного состава, например отходов гальванотехники.

Аниониты весьма активно сорбируют анионные формы молибдена, наиболее характерные для этого элемента, из его растворов. В полупромышленном масштабе проверена *сорбционно-бесфильтрационная технология* переработки бедных окисленных молибденовых руд Сорского месторождения со сложным минералогическим составом. На ряде других предприятий в промышленном масштабе освоена технология получения чистых соединений молибдена с использованием сорбционных процессов при комплексной переработке бедных молибденсодержащих полиметаллических руд.

Исключительно важно и перспективно применение сорбции в технологии вольфрама. В полупромышленном масштабе успешно проверены на примере различных производственных растворов Нальчикского гидрометаллургического завода две технологические схемы *сорбции вольфрама*. Эти схемы вписываются в существующую технологию, позволяют ее существенно упростить и одновременно увеличить извлечение вольфрама в готовую продукцию.

Разработана и проверена в полупромышленном масштабе сорбционная технология получения соединений *ванадия* высокой чистоты при комплексной переработке производственных растворов от выщелачивания ванадийсодержащих конвертерных шлаков Чусовского металлургического завода.

Следует подчеркнуть, что во всех случаях по сравнению с действующими схемами достигается существенное повышение комплексности извлечения металлов, снижение капитальных и эксплуатационных затрат, повышение извлечения металлов в конечные продукты, увеличение производительности труда, резкое сокращение, а в ряде случаев и полное прекращение сброса вредных веществ в окружающую среду.

Экстракционные процессы. Не меньшее значение в решении проблем комплексного извлечения металлов из природного сырья имеет широко внедряемая экстракционная технология. В металлургии меди экстракционная технология начала использоваться вначале как значительно более совершенная замена старинному цементационному методу осаждения меди, обладающему существенными недостатками. В нашей стране для извлечения меди из растворов кучного, подземного и бактериального выщелачивания разработан экстрагент ОМГ (группа алканофеноксимов).

Экстракционные процессы внедрены в *никель-кобальтовой промышленности*. На Норильском горнометаллургическом комбинате работает промышленная экстракционная установка по получению кобальта высокой чистоты с применением карбоновых кислот. На комбинате «Североникель» (в настоящее время ОАО «Комбинат "Североникель"») применяются экстракционные схемы очистки кобальтовых и никелевых растворов от примесей и для разделения никеля и кобальта. На одном из предприятий внедрен процесс экстракционного извлечения кадмия из сульфатных растворов после выщелачивания пылей свинцового производства. Кадмий экстрагируется в виде иодидного комплекса трибутилфосфатом.

Наибольшее применение экстракционные процессы нашли в технологии *редких металлов*, где они стали основными технологическими операциями. Экстракция в промышленных условиях применяется для извлечения и разделения тантала и ниобия, циркония и гафния, скандия, иттрия, таллия, теллура и индия, вольфрама, молибдена, рения

и других редкоземельных металлов. Освоен также экстракционный способ получения *золота* высокой степени чистоты.

В Норильске действует промышленное производство иридия, основанное на методе высокотемпературной экстракции этого металла из сульфатных растворов кобальтового производства.

Очень существенно, что в ряде разработанных и внедренных в производство технологических схем экстракционно-сорбционные процессы весьма удачно сочетаются с флотационным обогащением, автоклавным выщелачиванием, электрохимической технологией, а в некоторых случаях и с пирометаллургией.

Таким образом, при решении сложных проблем переработки многокомпонентного сырья речь идет не о противопоставлении какой-либо одной технологии другим, а о максимальном использовании заложенных в них возможностей в зависимости от конкретных условий с целью комплексного использования сырья и защиты окружающей среды от промышленных загрязнений.

14.6. АЛЮМИНИЙ

По распространенности в природе алюминий занимает третье место после кислорода и кремния. Его содержание в земной коре составляет 8,8%. Известно несколько сотен минералов алюминия, преимущественно алюмосиликатов. Основными промышленными минералами являются *боксит* (AlOОН) и *нефелин* $[(\text{Na},\text{K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2]$.

Существующий промышленный способ получения металлического алюминия включает две основные стадии производства:

- химико-технологическую — получение чистого оксида алюминия — глинозема из природного сырья (бокситов, нефелина, глины);
- электрометаллургическую — электролитическое восстановление глинозема до металла в расплаве *криолита* ($3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$).

Производство алюминия из бокситов

В случае использования наиболее распространенного *бокситового сырья* главным отходом глиноземного производства является так называемый *красный шлам*, являющийся нерастворимым остатком при выщелачивании бокситов под давлением *по методу Байера*.

В зависимости от количественного и качественного состава бокситов выход красного шлама изменяется в пределах 1–2,5 т на 1 т получаемого глинозема. Общий выход красного шлама в масштабах нашей страны составляет около 1,4 млн тонн в год. Большинство глиноземных заводов вынуждено отводить под отвальное хранение отходов красного шлама значительные площади вблизи заводов, что приводит к отчуждению больших земельных участков под шламонакопители. Последние, в свою очередь, оказывают вредное воздействие на окружающую среду,

не говоря уже о существенном увеличении расходов на производство основной продукции. Особенно острый характер проблема отвалных бокситовых шламов имеет, естественно, для предприятий по производству глинозема, расположенных в зонах активного земледелия.

Помимо метода Байера, пригодного для получения глинозема из высококачественных (богатых Al_2O_3 и относительно бедных по SiO_2) бокситов, в нашей стране применяют и **метод спекания** при переработке менее качественного бокситового сырья. Шлам, полученный при переработке такого сырья, содержит значительно больше кремнекислоты и меньше железа. Выход шлама в этом случае много больше, чем выход шлама из высокосортных бокситов.

Широкое использование красного шлама в производстве строительных материалов, несомненно, позволит значительно сократить, а затем и полностью ликвидировать отходы глиноземных заводов. Это послужит предотвращению их вредного воздействия на окружающую среду.

Металлический алюминий получают **электролизом** раствора глинозема (Al_2O_3) в расплаве криолита (Na_3AlF_6) (6–8% Al_2O_3 и 92–94% Na_3AlF_6) с некоторыми добавками для улучшения процесса. Температура электролиза около 950°C , т. е. значительно выше температуры плавления алюминия (660°C), поэтому его получают жидким. Принципиальная схема электролизера для получения алюминия представлена на рис. 14.10.

Из всех составляющих электролита Al_2O_3 имеет наименьший электрохимический потенциал разложения. Поэтому при прохождении тока

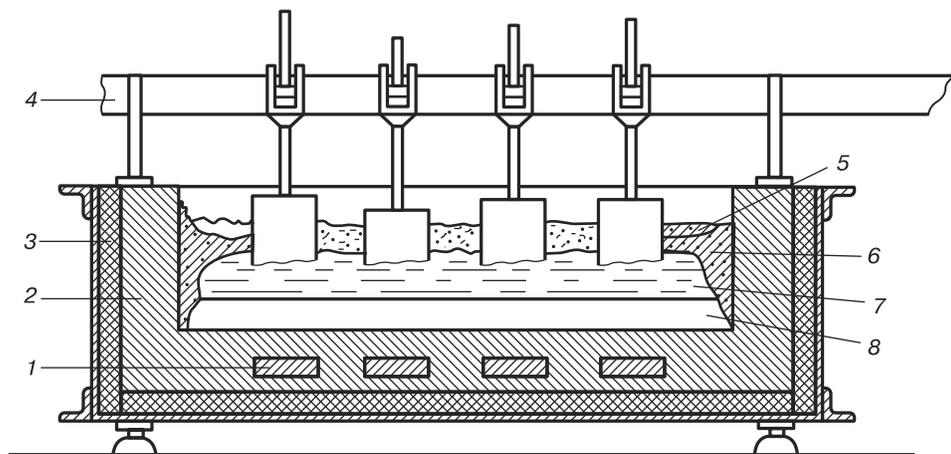


Рис. 14.10. Электролитическая ванна (электролизер) для получения алюминия: 1 — анодная шина; 2 — теплоизоляция; 3 — угольная набойка; 4 — катодная шина; 5 — глинозем; 6 — застывший электролит; 7 — расплавленный электролит; 8 — расплавленный алюминий

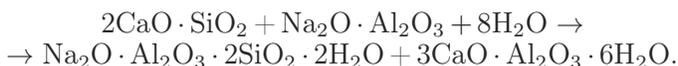
через расплав глинозем разлагается на алюминий, который разряжается и накапливается на подине (катоде — отрицательном электроде), и кислород, образующий с угольным анодом CO и CO₂. К глинозему предъявляются высокие требования по чистоте. При достаточном содержании глинозема электролизер работает нормально при напряжении 4,5 В. Обеднение электролита глиноземом до некоторого предела (1–1,6%) сопровождается резким повышением напряжения. Для его предупреждения заранее добавляют очередную порцию глинозема. В процессе электролиза в результате выделения фтористых соединений меняется состав электролита, т. е. соотношение NaF и AlF₃ в криолите; чтобы поддерживать его постоянным, в электролит периодически добавляют AlF₃.

В нашей стране разработана уникальная безотходная технология получения глинозема, соды, поташа и портландцемента из имеющегося у нас в изобилии *нефелинового сырья*, в то время как в других странах глинозем для производства алюминия получают только из бокситов.

Производство алюминия из нефелина

Технологическая схема переработки нефелина представлена на рис. 14.11. Сущность разработанной и внедренной технологии состоит в следующем.

Нефелиновый концентрат совместно с известняком подвергается *спеканию* при температуре 1250–1300 °С во вращающихся печах, обогреваемых продуктами сгорания жидкого, газообразного или пылевидного топлива. В результате спекания получают продукт, состоящий в основном из *алюминатов щелочных металлов* (Na₂O · Al₂O₃ и K₂O · Al₂O₃), *двукальциевого силиката* (2CaO · SiO₂) и *феррита натрия* (Na₂O · Fe₂O₃). При водном выщелачивании спека алюминаты щелочных металлов переходят в раствор. Феррит натрия гидролизует с образованием едкого натра и гидроксида железа. Двухвалентный силикат взаимодействует с алюминатным раствором, в результате чего получают алюминаты щелочных металлов и трехвалентный гидроалюминат по реакции:



Последнее соединение образует так называемый *нефелиновый* (белитовый) *шлак*, который отделяют от раствора, промывают и направляют на предприятия по производству портландцемента.

Алюминатный раствор подвергают *обескремниванию*, при этом образуются малорастворимые алюмосиликаты, отделяемые затем фильтрованием. Очищенный раствор алюминатов натрия и калия направляют на *карбонизацию*, осуществляемую путем обработки рас-

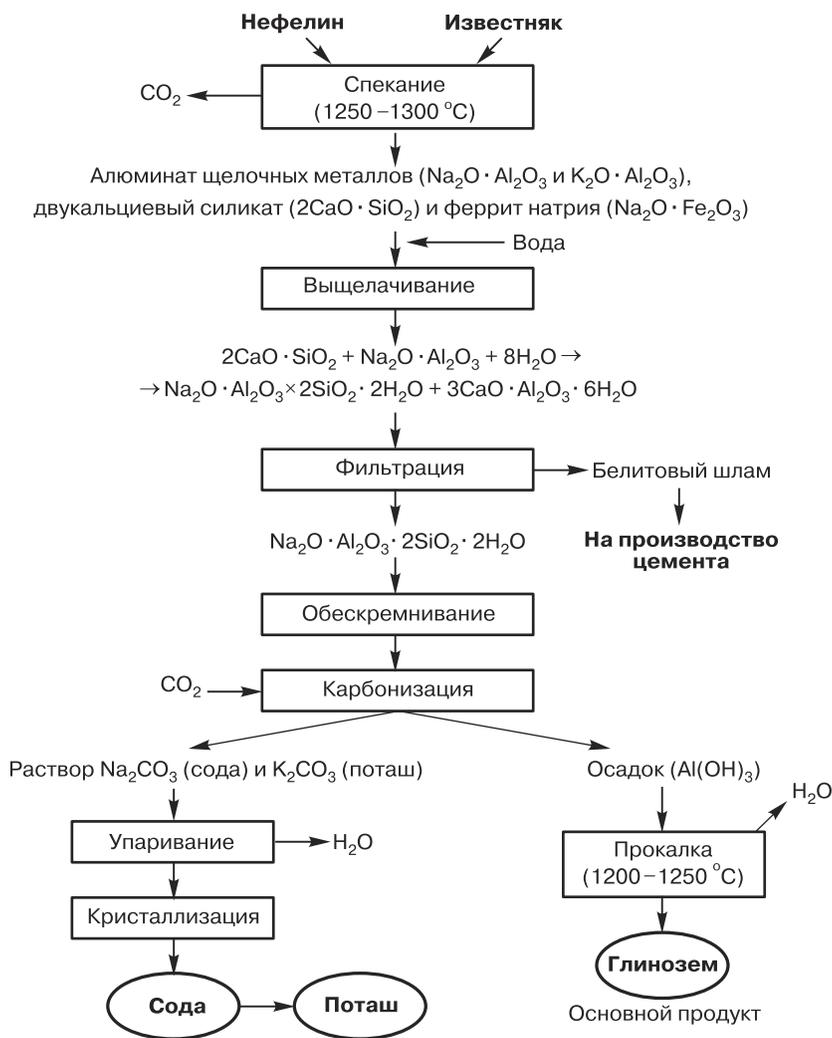


Рис. 14.11. Безотходная технологическая схема переработки нефелина

твора газами, содержащими CO₂. Едкий натр и калий при этом превращаются в соду и поташ, а гидроксид алюминия выпадает в осадок, который отделяют от маточного раствора, промывают и прокаливают при 1200–1250 °C во вращающихся печах. Содовый продукт (Na₂CO₃ и K₂CO₃) получают путем упаривания растворов после выделения Al₂O₃ · H₂O. Процесс осуществляют в выпарных аппаратах в несколько стадий. Вначале выкристаллизовывается сода (Na₂CO₃), затем поташ (K₂CO₃).

Если учесть, что все жидкие продукты производства направляют в оборот, а газовые выбросы не превышают ПДК, то естественен вывод,

что технологическая схема переработки нефелинового сырья обеспечивает полное комплексное использование всех компонентов нефелиновой руды в виде товарных продуктов и является *безотходной*.

По этой технологии для получения 1 т глинозема расходуют 3,9–4,3 т нефелинового концентрата, 11–13,8 т известняка, 3–3,3 т топлива, 4,12–4,68 Гкал пара, 1050–1190 кВт·ч электроэнергии. При этом попутно производят 0,62–0,78 т кальцинированной соды (в виде так называемой «тяжелой соды» — продукта с высокой плотностью и большой насыпной массой), 0,18–0,28 т поташа и 9–10 т портландцемента. Эксплуатационные затраты на производство глинозема, соды, поташа, цемента, полученных из нефелинового сырья, на 10–15% ниже затрат при получении этих продуктов другими промышленными способами. Товарный выход глинозема и щелочей составляет 83 и 80% соответственно.

По описанной схеме переработки нефелиновых концентратов много лет работают Волховский и Пикалевский глиноземные заводы. По аналогичной схеме работает и крупнейший в стране Ачинский глиноземный завод, базирующийся, однако, на нефелиновом сырье Кия-Шалтырского месторождения Сибири. Нефелиновый шлам на Волховском и Пикалевском заводах полностью перерабатывается в высококачественный портландцемент. На Ачинском заводе пока используется лишь часть образующегося нефелинового шлама, остальное — временно складировается. Тем не менее перспективы максимального использования нефелинового шлама чрезвычайно обширны и разнообразны.

Одним из перспективных направлений, обеспечивающих производство алюминия и алюминиевых сплавов практически без отходов, минуя гидрохимические стадии, являются электротермические процессы, в течение многих лет разрабатываемые в нашей стране.

Электротермический способ получения алюминия непосредственно из природного сырья основывается на восстановительной плавке смеси исходного сырья с восстановителем в мощных рудотермических электропечах. При этом получается черный алюминиево-кремневый сплав (*силумин*), в который переходят все компоненты сырья, за исключением кислорода и серы. Затем на второй стадии из черного сплава электрохимическим путем извлекают чистый алюминий, а в кремнистом остатке содержатся железо, титан, ванадий, хром и лишь немного алюминия. Его можно использовать в качестве комплексного раскислителя при производстве стали или для других целей.

14.7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Основные экологические проблемы производства и потребления цветных металлов, прежде всего, связаны с высокой токсичностью большинства металлов и их соединений, крупномасштабным нарушением земель и образованием большого объема отходов добычи и переработки

(в РФ свыше миллиарда тонн ежегодно), а также большого объема высокотоксичных и трудно очищаемых газовых выбросов и сточных вод.

Для цветной металлургии всегда важной проблемой было и остается *улавливание пыли и вредных газообразных веществ из отходящих газов*. До начала 90-х гг. в этом направлении проведена большая работа и достигнуты определенные положительные результаты.

В настоящее время на предприятиях цветной металлургии применяются почти все типы оборудования для пылеулавливания: трех- и четырехпольные *электрофильтры, рукавные фильтры*, в том числе из ткани оксолона, работающие при 200 °С. Проектными и научно-исследовательскими организациями разработан ряд конструкций пылеулавливающих агрегатов большой мощности, в том числе и со струйной продувкой. Эти мощные агрегаты полностью механизированы и автоматизированы.

Внимание исследователей и производителей сосредоточено на решении острой для цветной металлургии проблемы — *улавливания и утилизации серы из разбавленных газов*, характерных для металлургии меди, никеля и свинца. В частности, отработана технология получения элементарной серы из таких газов.

В этой связи важное значение имеют разработка оборудования и освоение опытно-промышленного цеха по производству серы *метановым* способом в комплексе с плавкой в жидкой ванне на Норильском горнометаллургическом комбинате.

Проведен большой комплекс работ по очистке вентиляционных выбросов от вредных газообразных компонентов: SO₂, HF, Cl₂ и других веществ неткаными ионообменными полотнами. Проведены исследования по очистке отходящих газов от соединений мышьяка, вывода его из технологических схем в виде продуктов, удобных для хранения. Проведены широкие поисковые работы по расширению областей использования мышьяка в народном хозяйстве.

Значительные трудности представляет улавливание фтористых соединений, выделяющихся в процессе электролитического получения алюминия. Тем не менее на действующих алюминиевых заводах разработаны и успешно внедряются различные технологические схемы и устройства для их улавливания и последующего использования. Намечается расширение существующих отделений регенерации с целью организации переработки всех твердых отходов и продуктов улавливания газообразных соединений фтора. Это позволит дополнительно вернуть в процесс фтор из выбрасываемых ныне отходов, сократить потребление свежего криолита и, что самое важное, уменьшить загрязнение атмосферы и территории, окружающей предприятия высокотоксичными соединениями фтора.

Предприятия цветной металлургии являются крупными потребителями воды — около 10 млрд м³ в год. Водооборот в среднем по

отрасли составляет около 80%. В отличие от предприятий черной металлургии, только 20% всей используемой в отрасли воды расходуется для охлаждения. Для производства основных видов продукции, включая все переделы (этапы) производства (добычу, обогащение руд, металлургию), требуется значительное количество воды. Удельные расходы воды на производство отдельных видов продукции приведены в табл. 14.4.

Таблица 14.4

Удельный расход воды в производстве цветных металлов

Продукция	Удельный расход воды, м ³ на 1 т продукции		Объем сбрасываемых сточных вод ¹⁾ , м ³ на 1 т продукции
	Всего	В том числе свежей	
Свинец	324	83	105
Цинк	369	155	164
Медь	646	157	153
Никель	2448	374	283

¹⁾ В сточных водах учтены рудничные (шахтные и карьерные) воды.

В цветной металлургии, как и в других отраслях народного хозяйства страны, активно внедряются замкнутые системы водоснабжения.

14.8. РЕГЕНЕРАЦИЯ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Особую экологическую и экономическую значимость имеет переработка отходов гальванических производств, которые получили широкое распространение во всех странах мира. В одной только Москве насчитываются сотни предприятий, имеющих гальванические производства и применяющих другие виды химической и электрохимической обработки черных и цветных металлов (травление, пассивирование, анодирование, электрополировку и др.).

Как известно, отработанные гальванические растворы и промывные воды представляют собой один из наиболее загрязненных и токсичных стоков. Они содержат различные кислоты, щелочи, соли, соединения цветных металлов (в том числе хрома и кадмия), цианиды, а также различные блеско- и комплексообразователи, детергенты, масла и другие вредные компоненты, оказывающие отрицательное экологическое воздействие на все компоненты окружающей среды. Кроме того, по трофическим цепям они способны поступать в организм человека.

В результате сброса большого количества загрязненных сточных вод и шламов гальванических производств уже образовались районы, где

концентрация цветных металлов (меди, хрома, никеля, цинка, кадмия) в окружающей среде превышает фоновую в десятки и сотни раз.

Анализ работы большинства гальванических цехов показал, что полезное использование цветных металлов составляет 20–70% (в среднем 30–40%), остальные металлы *теряются со сточными водами и шламом*. Очистка сточных вод проводится крайне неудовлетворительно и в основном реагентными (осадительными) методами, весьма затрудняющими создание замкнутых систем водоснабжения и регенерацию цветных металлов.

В целом по стране гальванические производства выбрасывают в окружающую среду десятки тысяч тонн высокотоксичных и крайне дефицитных тяжелых металлов, таких как хром, никель, свинец, медь, кадмий, цинк, олово и др.

Основной трудностью при регенерации цветных металлов из сточных вод гальванических производств является то, что на большинстве производств сточные воды, образующиеся при производстве покрытий разными металлами, смешиваются и в основном обрабатываются известковым молоком. Цветные металлы при этом переходят в шлам в виде гидроксидов и основных солей. Содержание каждого из них в шламе не превышает 1%. Регенерация цветных металлов из таких шламов достаточно сложна. Положение усугубляется еще и тем, что количество этих шламов на отдельном предприятии невелико и их переработка нерентабельна. В связи с этим разработка эффективных методов переработки шламов находится в начальной стадии, а их осуществление связано с большими трудностями.

В нашей стране выполнено значительное количество научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по решению технических, технологических и одновременно экологических проблем гальванических производств. Разработано множество новых технологических процессов нанесения покрытий, очистки сточных вод; созданы замкнутые системы водоснабжения и системы регенерации ценных продуктов из производственных отходов.

Широкое внедрение новых технологических процессов в промышленную практику позволило бы получить большой эколого-экономический эффект. Однако, отмечая важность разработки отдельных прогрессивных технологических процессов и оборудования, следует подчеркнуть, что для решения проблемы очистки стоков и утилизации отходов гальванических производств недостаточно отдельных разработок, не увязанных в единый комплекс, включающий все вопросы — от нанесения покрытий до утилизации шламов.

Решение проблемы защиты окружающей среды от загрязнения отходами гальванических производств и рационального использования цветных металлов заключается в *создании малоотходного и безотходного гальванического производства на региональном уровне, осуществляемом на основе целевых комплексных программ*.

Такая программа включает разработку и внедрение:

- малотоксичных, малоконцентрированных и регенерируемых электролитов;
- технологии и автоматизированного оборудования гальванопокрытий, позволяющих резко уменьшить вынос электролита и количество промывной воды;
- технологии и автоматизированного оборудования для очистки сточных вод;
- региональных центров по сбору и переработке отработанных электролитов и концентрированных растворов цветных металлов, утилизации и переработки гальванических шламов.

Поскольку экономически приемлемой технологии переработки гальванических шламов в настоящее время не существует, предлагается *двухэтапное решение этой проблемы*. На первом этапе (пока будет разрабатываться технология переработки гальванических шламов) целесообразно использовать проверенное на практике применение шламов в производстве керамики, цемента, пигментов и др. В этом отношении весьма перспективен опыт Литвы. Здесь в основном уже осуществлена региональная комплексная программа очистки промышленных стоков от соединений цветных металлов, и гальванические шламы ряда предприятий используются в производстве строительной керамики. В результате обжига цветные металлы переходят в нерастворимую форму, безопасную для окружающей среды. Однако это временное решение, а генеральное направление или второй этап — внедрение системы переработки гальванических растворов и шламов с выделением цветных металлов или их концентратов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите основные экологические проблемы производства цветных металлов.
2. Назовите основные экологические проблемы пирометаллургического процесса получения меди.
3. В чем заключаются основные экологические проблемы получения свинца?
4. Каковы экологические проблемы получения цинка?
5. Перечислите основные экологические проблемы производства алюминия.
6. Каким образом перерабатывают нефелин и в чем суть уникальности этой технологии?
7. Каковы пути решения экологических проблем гальванического производства?
8. Может ли недостаток цветных металлов лимитировать развитие технического прогресса?
9. Какие краски (цвета) содержат оксиды цветных металлов?

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

И вместе с тем проблема энергии, с нашей точки зрения, может создать серьезные трудности, а может быть, и поставить границы для развития человечества на Земле. Не нехватка, а избыток энергии, расходуемой на планете, может привести к такой ситуации.

Академик Е. К. Федоров

Человек, как и все живые организмы, не может существовать без постоянного потребления энергии. Количество энергии, необходимое человеку в виде пищи, хорошо известно и составляет 2500 ккал в сутки. Но уже в первобытном обществе суммарное потребление энергии каждым индивидуумом значительно превышало эту величину. Человеку было недостаточно тепловой энергии солнечного излучения для приготовления пищи, обогрева жилища и т. д. Необходимое дополнительное количество энергии получали за счет сжигания топлива растительного происхождения.

С увеличением степени развития общества происходил неуклонный рост потребления энергии в целом и в расчете на каждого человека в отдельности. Развитие ремесел, торговли, улучшение жилищных условий — все это требовало дополнительного притока энергии. Появляются первые ветряные и водяные двигатели, способные преобразовывать кинетическую энергию воды и ветра в механическую энергию, ранее получаемую лишь за счет мускульной силы животных и человека.

Крупнейшим событием в истории развития человечества, несомненно, явилось изобретение паровой машины. Появилась еще одна возможность получения механической энергии при трансформации химической энергии топлива. При работе тепловой машины дважды происходит процесс превращения энергии: на первом этапе химическая энергия топлива превращается в тепловую, которая в дальнейшем трансформируется в механическую энергию.

Следующий важнейший этап развития цивилизации связан с широким использованием электрической энергии. Открытие явления электромагнитной индукции, создание электрогенераторов и электродвигателей значительно расширили возможности использования и преобразования тепловой и механической энергии.

С пуском 27 июня 1954 года в г. Обнинск первой атомной электростанции была открыта дорога к использованию ядерной энергии в мирных целях.

В 80-х гг. прошлого века произошло кардинальное изменение во взглядах на энергетические ресурсы. Во всем мире увеличился интерес к альтернативным источникам энергии. Началось движение за экономию энергии, за увеличение эффективности ее использования.

15.1. РОЛЬ ЭНЕРГЕТИКИ В ЭКОНОМИКЕ

Энергетика в значительной степени определяет уровень развития экономики в целом. На протяжении всей истории человечества энергопотребление росло быстрее, чем численность населения. По мере освоения человеком новых энергоресурсов (солнечное тепло, древесина, уголь, гидроэнергия и энергия ветра, нефть, газ) изменялся топливно-энергетический баланс. В настоящее время происходит очередная перестройка топливно-энергетического баланса мира, которая связана в первую очередь с быстрым развитием энергосбережения, альтернативных источников энергии и ядерной энергетики.

Для прежних масштабов развития энергетики запасы того или иного энергоресурса и возможности нейтрализации последствий его использования окружающей природной средой могли рассматриваться практически неограниченными. Однако сегодня уже невозможно исходить из этого — масштаб энергопотребления стал столь велик, что одновременно возникли ограничения ресурсного и экологического характера. Технический и социально-экономический прогресс прямо связан с уровнем энергопотребления на душу населения. Наглядным подтверждением этому служат данные, представленные на рис. 15.1, которые показывают рост валового национального продукта в зависимости от энергопотребления (в тоннах условного топлива (усл. т.)) на душу населения.

Энергопотребление распределено по странам земного шара крайне неравномерно (рис. 15.2). Согласно статистическим данным, годовое энергопотребление на душу населения для 72% населения мира составляет менее 2 кВт·ч в год (тепловой энергии), для 22% — от 2 до 7 и только для 6% — около 10 кВт·ч в год (тепловой энергии). Минимум



Рис. 15.2. Потребление энергии в различных странах; усл. т — условная тонна

и максимум энергопотребления на душу населения в сегодняшнем мире различаются в 50 раз. Кроме того, сильно варьируются и темпы роста этого показателя по странам.

15.2. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Сжигание ископаемого органического топлива

В настоящее время около 90% всей энергии, потребляемой в мире, получают из ископаемого органического топлива. Структура потребления первичных энергоресурсов в России и мире по состоянию на 2000 г. представлена на рис. 15.3. Свыше трети добываемого в мире топлива сжигается в котлах и топках тепловых электростанций (ТЭС). Тепловая электростанция, работающая на угле, изображена на рис. 15.4.

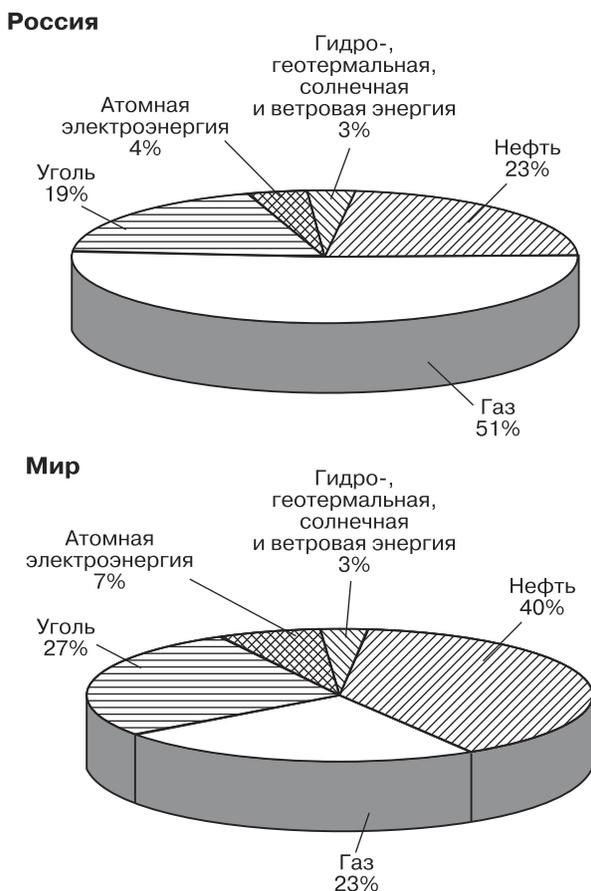


Рис. 15.3. Структура потребления первичных энергетических ресурсов в 2000 г.

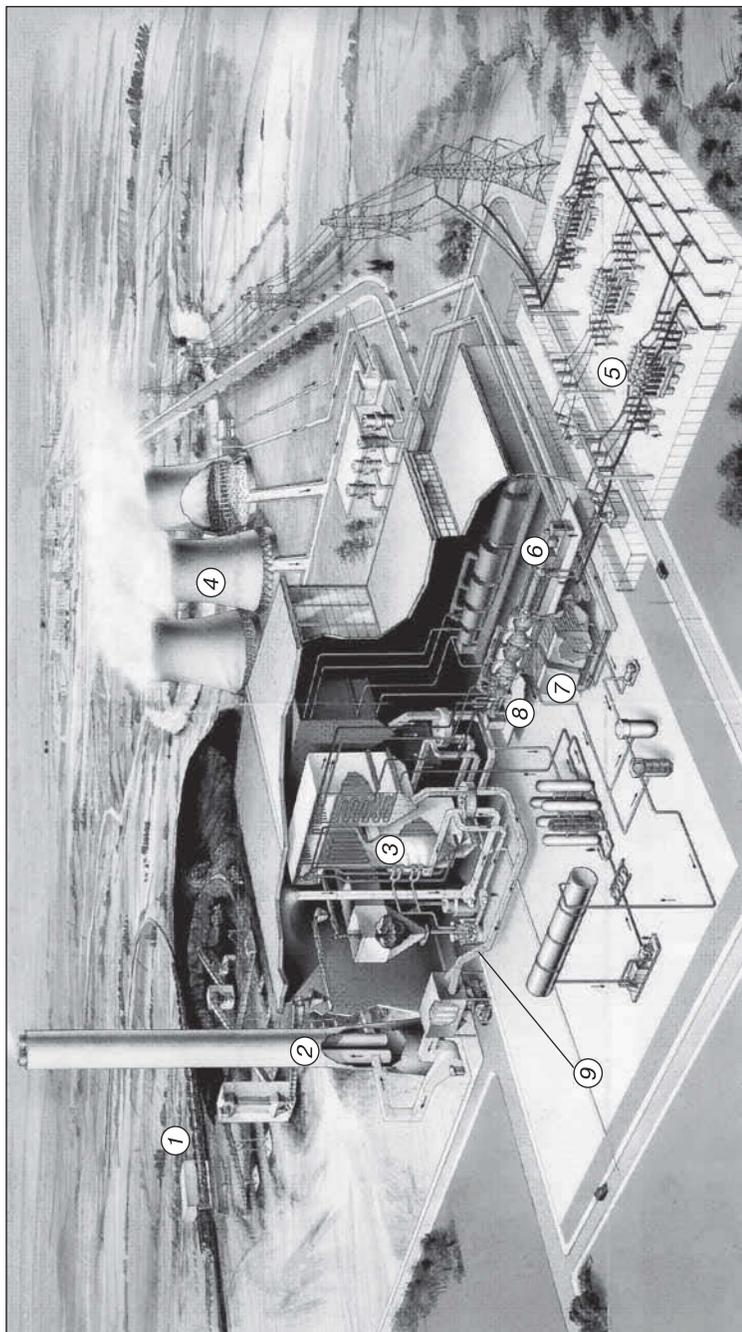


Рис. 15.4. Тепловая электростанция, работающая на угле: 1 — уголь; 2 — труба; 3 — топка с котлом и пароперегревателем; 4 — градирня; 5 — трансформатор; 6 — конденсатор; 7 — генератор; 8 — турбина; 9 — зола

Доля электроэнергии в общем балансе использования энергии в мире продолжает неуклонно увеличиваться. Так, в РФ начиная с 1950 г. доля первичных энергоресурсов, используемых для выработки электроэнергии, увеличилась с 14 до 27% (2000 г.), а с учетом затрат на производство тепла на электростанциях — до 50%. И тому есть немало причин, среди которых выделяются следующие:

- электричество — единственный вид энергии, который удается производить в больших количествах, передавать на большие расстояния и сравнительно просто распределять между различными потребителями;

- технологии, использующие электроэнергию, обладают меньшей трудоемкостью по сравнению с технологиями на основе других энергоносителей, что особенно важно в свете растущего дефицита трудовых ресурсов;

- широкая электрификация производственных процессов способствует эффективному росту производительности труда; без электрификации невозможна и компьютеризация производства;

- электроэнергия является универсальным энергоносителем; универсальность электричества проявляется как в сравнительной легкости его преобразования в другие формы энергии, так и в возможности получать его практически от любого первичного источника энергии, рентабельного на данном этапе;

- в сфере энергопотребления электричество выступает как экологически чистый энергоноситель, если не учитывать *«тепловое загрязнение»*.

Общий коэффициент полезного использования энергии на тепловых электростанциях может быть определен из коэффициента превращения энергии на отдельных стадиях этого процесса. Преобразование химической энергии в тепловую в мощных паровых котлах протекает с КПД = 88%. В паровой турбине в среднем 42% тепловой энергии превращается в кинетическую. КПД электрогенератора значительно выше и составляет 98%. Таким образом, суммарный КПД превращения химической энергии в электрическую в этом цикле составит всего 36%:

$$\text{КПД}_{\text{тэс}} = 0,88 \cdot 0,42 \cdot 0,98 \cdot 100\% \approx 36\%.$$

На некоторых лучших тепловых электростанциях удастся повысить КПД до 40%. Но и в этом случае примерно 60% тепла, полученного при сжигании топлива, «используется» лишь для «теплового загрязнения» окружающей среды.

Однако необходимо четко представлять себе, что это не результат недостаточной изобретательности инженеров, проектирующих тепловые электростанции, а следствие второго закона термодинамики — одного из законов природы, ограничивающего наши возможности по преобразованию энергии.

Первый закон термодинамики утверждает, что внутренняя энергия системы (U) является функцией состояния, и ее изменение (U) определяется разностью между количеством тепла (Q), сообщенным системе, и работой (A), совершенной системой:

$$U = Q - A.$$

Второй закон термодинамики утверждает, что невозможно создать машину, единственным результатом которой было бы совершение работы, эквивалентной количеству тепла, полученного от нагревателя. Этот закон определяет условия работы тепловых двигателей.

Тепловая энергия Q_2 , получаемая от нагревателя, преобразуется в работу A и отходящее тепло Q_1 . Так как при циклическом процессе тепловой двигатель должен вернуться в начальное состояние, то

$$Q_2 = Q_1 + A.$$

Согласно второму закону термодинамики, Q_1 не может быть равно нулю, и следовательно, часть энергии неизбежно передается в окружающую среду.

Эффективность теплового двигателя определяется как отношение совершенной полезной работы к количеству энергии, полученной им от нагревателя, т. е.

$$\text{КПД} = A/Q_2.$$

Ни один тепловой двигатель не может иметь более высокий КПД, чем идеальная машина Карно, или, как часто говорят, цикл Карно. КПД цикла Карно определяется разницей температур нагревателя и холодильника:

$$\text{КПД}_{\text{Карно}} = \frac{T_2 - T_1}{T_2},$$

где T_2 и T_1 — температуры нагревателя и холодильника соответственно, выраженные в градусах Кельвина (К).

Отсюда следует, что любая тепловая машина, преобразующая тепловую энергию в механическую, будет иметь КПД меньше, чем $\frac{T_2 - T_1}{T_2}$.

Простой анализ показывает, что КПД рассматриваемого преобразования энергии будет увеличиваться с ростом температуры нагревателя и уменьшением температуры холодильника.

Для реальных установок верхний предел определяется конструктивными особенностями современных материалов и составляет для тепловых электростанций примерно 600°C . Нижний предел — это температура окружающего воздуха, воды, грунта и т. д., куда отводится отходящее тепло при работе машин; эта температура реально не может быть ниже $10\text{--}20^\circ\text{C}$ (принимается равной 15°C). Отсюда теоретический КПД современной тепловой машины мог бы составить:

$$\text{КПД}_{\text{теор}} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = \frac{(600 + 273) - (15 + 273)}{(600 + 273)} \cdot 100\% = 67\%.$$

Таким образом, даже теоретически возможная машина будет выделять в окружающую среду примерно треть тепловой энергии топлива. В реальных условиях эта величина примерно в два раза выше.

КПД тепловой машины мог быть равен 100%, если бы температура холодильника равнялась абсолютному нулю — 0 К. Но это противоречит третьему закону термодинамики, который утверждает, что невозможно понизить температуру системы до абсолютного нуля за конечное число ступеней.

Важным направлением повышения общего коэффициента полезного использования тепловой энергии топлива является *создание теплоэлектроцентралей* (ТЭЦ). В отличие от обычных теплоэлектростанций в задачу ТЭЦ входит снабжение потребителей не только электроэнергией, но и теплом. На ТЭЦ совместно получают электроэнергию и тепло. При этом общий КПД использования тепловой энергии топлива поднимается в 1,5–1,7 раза и на лучших ТЭЦ достигает 70%.

Еще одно направление повышения КПД ТЭС и ТЭЦ — *совершенствование технологии сжигания топлива*. В первую очередь это относится к установкам по сжиганию угля, которых в настоящее время большинство как в нашей стране, так и в мире в целом. Одним из перспективных методов получения тепловой энергии из угля считается сжигание его в «кипящем слое». В этом случае в камере сгорания частицы угля поддерживаются во взвешенном состоянии потоком воздуха, и во всей топке котла удается сформировать однородный профиль температуры.

Расчеты и эксперименты показывают, что при сжигании угля в установках с кипящим слоем КПД преобразования химической энергии в тепловую может быть повышен до 99%, а общий КПД ТЭС, построенных на этой технологии, может достигнуть 45%, что примерно на 10% больше, чем у обычных ТЭС.

Кроме повышения КПД использование котлоагрегатов с топками кипящего слоя позволяет значительно снизить загрязнение атмосферы при работе ТЭС. Помимо снижения выбросов оксидов азота за счет ликвидации локальных перегревов в топочной камере, добавки в кипящий слой известняка или других материалов обеспечивают связывание и удаление SO_2 уже в процессе сжигания.

Значительное повышение КПД преобразования химической энергии в электрическую может быть обеспечено установкой на ТЭС магнитно-гидродинамических генераторов (МГД-генераторов). Электрический ток в МГД-генераторе вырабатывается при прохождении рабочей жидкости или газа через магнитное поле в результате электромагнитного взаимодействия между ними. В этом случае происходит прямое преобразование тепловой энергии в электрическую. Установка МГД-генератора последовательно с паротурбинными агрегатами позволяет довести общий КПД преобразования энергии до 60%.

Энергия воды и ветра

Использование *кинетической энергии воды* на гидроэлектростанциях (ГЭС) в настоящее время получило наибольшее развитие среди всех возобновляемых источников энергии. Уже в 1970 г. на гидроэлектростанциях было выработано 1175 млрд кВт·ч электроэнергии, что составило 23,7% общей выработки электроэнергии в мире.

Как известно, около 2% энергии *солнечного излучения*, достигающей поверхности Земли, превращается в энергию ветра, часть которой может послужить в качестве еще одного возобновляемого источника энергии.

Энергия воздушного потока пропорциональна скорости его движения в третьей степени, однако лишь часть этой энергии может быть преобразована, например, в электрическую энергию. Теоретически возможный коэффициент использования ветровой энергии равен 59,3%. На практике из-за значительной неравномерности ветра и дополнительных потерь, связанных с несовершенством конструкций ветроагрегатов, их среднегодовой КПД не превышает 30%.

Существуют два наиболее развитых направления использования энергии ветра:

- 1) сооружение относительно небольших установок с мощностью 5–100 кВт, предназначенных, главным образом, для нужд насосного водоснабжения и электрификации сельского хозяйства;
- 2) разработка ветроагрегатов для производства электроэнергии мощностью от 100 кВт до 5 МВт.

К возобновляемым источникам энергии относится также *энергия морских приливов и волн*. Морские приливы и отливы вызываются, как известно, силами притяжения Луны и, в некоторой степени, Солнца. При вращении Земли вокруг своей оси дважды за сутки происходит прилив и отлив. Степень изменения уровня моря в периоды приливов и отливов зависит от географической широты района, глубины моря и степени изрезанности береговой линии. Эти изменения в некоторых местах, например в Канаде, достигают 18 м. В РФ в Пенжской губе Охотского моря перепад высот во время прилива и отлива составляет 13 м.

Еще один возобновляемый источник энергии связан с *энергией морских волн*. Среднегодовая мощность морских волн довольно велика, она измеряется в большинстве случаев десятками киловатт на 1 м направления, перпендикулярного движению волны.

Геотермальная энергия

Глубинные слои Земли, как известно, имеют более высокую температуру, чем поверхность планеты. В ядре Земли продолжается распад радиоактивных элементов, и его температура достигает примерно 5000 °С.

Средняя температура верхнего слоя земли равна 15 °С, поэтому тепловой поток постоянно направлен от центра Земли к ее поверхности.

Верхняя часть земной коры имеет температурный градиент, равный 20–30 °С в расчете на 1 км глубины. Общая мощность теплового потока земного ядра примерно в 4000 раз меньше мощности солнечной радиации. В РФ, например, геотермальная энергия используется в сельскохозяйственном производстве для обогрева теплиц. Более 30 лет вырабатывает электроэнергию Паужетская геотермальная электростанция на Камчатке.

Солнечная энергия

Следует различать три существующих пути использования солнечной энергии:

- 1) преобразование солнечной энергии в электрическую;
- 2) получение тепловой энергии;
- 3) производство биомассы, концентрирование солнечной энергии автотрофными организмами и последующее использование их химической энергии.

Трансформация солнечной энергии в электрическую. Существуют два направления:

- 1) создание солнечных электростанций (СЭС), в которых теплоэлектропаровой котел, характерный для ТЭС, заменен на солнечный паровой котел;
- 2) разработка полупроводниковых фотоэлектропреобразователей — фотоэлементов, способных превращать солнечную энергию непосредственно в электрическую.

Несмотря на серьезные трудности, связанные с необходимостью предварительного концентрирования солнечной энергии и создания системы аккумулирования энергии, во всем мире интенсивно разрабатываются проекты СЭС различной мощности.

Фотоэлектрическое преобразование энергии солнечного излучения осуществляется с помощью солнечных элементов. Это тонкие пластины из кристаллического кремния или тонкие пленки из сульфида кадмия, способные вырабатывать электрический ток непосредственно при падении на них солнечных лучей.

Перспективный метод преобразования солнечной энергии состоит в использовании листа стекла или пластмассы, покрытого люминесцирующими красителями, которые поглощают солнечный свет в узких спектральных диапазонах, а затем испускают фотоны разных энергий во многих направлениях (рис. 15.5). Свет, отражаемый от границ, оказывается «захваченным» внутри листа, поскольку красители уже не могут поглощать его, и он в конце концов попадает к краю листа, где расположен фотоэлемент. Такая система не нуждается в устройстве слежения за Солнцем, поскольку красители поглощают свет, падающий под любым углом. Теоретическое значение КПД здесь превышает 50%.

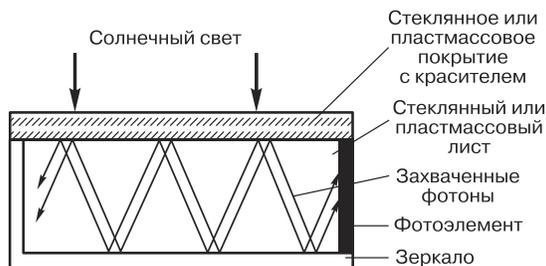


Рис. 15.5. Накопитель солнечного излучения на люминесцентных красителях

Фотоэлектрическое преобразование имеет ряд серьезных преимуществ перед получением электрической энергии в парогенераторах: солнечные элементы не имеют движущихся частей, продолжительность их работы в принципе может достигать 100 и более лет; для ухода за ними не требуется персонал высокой квалификации; они эффективно используют как прямое, так и рассеянное излучение; систему можно легко составлять из различных модулей, и она пригодна для создания установок практически любой мощности.

В последнее время наблюдается расширение исследования и разработки дешевых плоскочастичных, а также тонкопленочных солнечных батарей, систем концентраторов и многих новых идей. Следует ожидать, что в ближайшем будущем стоимость отдельного солнечного элемента и комплектующих на его основе больших солнечных батарей снизится настолько, что окажется экономически выгодным использование солнечной энергии в больших масштабах. Кроме того, *использование солнечной энергии экологически наиболее оправданно: нет вредных выбросов и нет нарушения баланса энергии, так как сколько энергии попадает на ее приемник (например, панель солнечной батареи), ровно столько энергии будет выделено в конце концов в пространство Земли, т. е. не имеет значения, поглощается энергия поверхностью Земли напрямую или после ее использования.*

В настоящее время мощность фотоэлектрических преобразователей не превышает нескольких киловатт. Однако область их применения быстро расширяется. В отдаленных районах промышленно развитых стран, а также в сельских районах развивающихся стран они широко применяются в качестве источника электропитания. Типичными примерами являются работающие на солнечной энергии космические аппараты и станции, сигнальные световые устройства вокруг аэропорта в Медине (Саудовская Аравия), маяк в Индонезии, а также солнечные панели для зарядки батарей, солнечные водяные насосы, устройства дальней связи, бытовые электроприборы (холодильники, освещение, средства малой вычислительной техники и т. д.).

Первая солнечная газотурбинная установка (СГТУ) для Международной космической станции разработана РКК «Энергия» им. С. П. Королева совместно с Исследовательским центром им. М. В. Келдыша. КПД установки достигает 30% и выше (рис. 15.6).

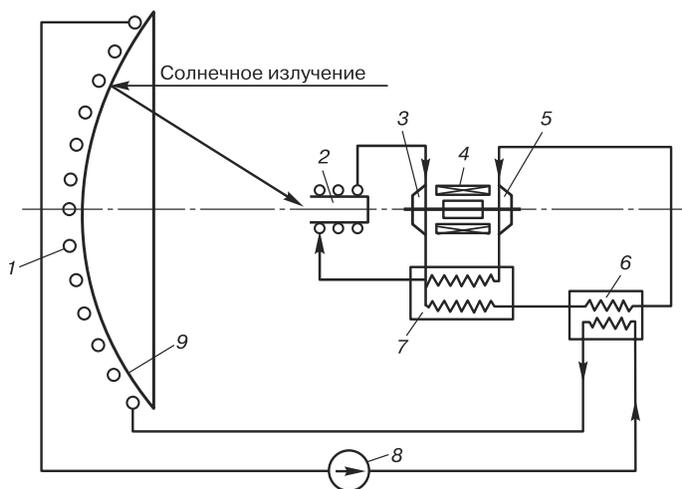


Рис. 15.6. Принципиальная схема солнечной газотурбинной установки: 1 — радиатор-излучатель тепла; 2 — приемник тепла; 3 — турбина; 4 — генератор; 5 — компрессор; 6 — теплообменник отвода тепла; 7 — рекуператор; 8 — насос; 9 — зеркало-концентратор;

Основные характеристики солнечной газотурбинной установки

Среднесуточная мощность	10 кВт
Выходное напряжение	120 В
Диаметр зеркала	9,5 м
Теплоаккумулирующее вещество	80%LiF + 20%CaF ₂
Рабочее тело газотурбинного преобразователя	32%He + 68%Xe
Температура газа:	
на входе в солнечный приемник-аккумулятор	538 °С
на выходе из солнечного приемника-аккумулятора	750 °С
КПД солнечного приемника-аккумулятора	более 85%
КПД преобразования тепловой энергии в электрическую	30%
Масса	5,5 т

Энергетические установки преобразования солнечной энергии в тепло. Они делятся на активные и пассивные.

В *пассивных* системах солнечного энергоснабжения теплота передается с помощью радиации, теплопроводности или естественной конвекции. Их отличает простота и экономичность. С развитием систем

аккумуляции и их комбинированного применения с источниками тепла на природном топливе использование пассивных солнечных преобразователей энергии приобрело определенную надежность, и теперь они могут применяться как средство отопления помещений.

К *активным* системам преобразования солнечной энергии в тепловую относят системы с принудительной циркуляцией теплоносителя, контактирующего с поверхностью, нагреваемой солнечным излучением. Аппараты, в которых происходят процессы активного теплообмена, называются *коллекторами*. В настоящее время солнечные коллекторы подразделяют на две большие категории: 1) без концентраторов (плоские коллекторы) и 2) с концентраторами. В коллекторах с концентраторами солнечной энергии может быть достигнута значительно более высокая температура теплоносителя. Так, например, построенная во Франции (в Пиренеях) солнечная печь с концентраторами для получения особо чистых металлов имеет температуру свыше 3000 °С.

Коллекторы без концентраторов дешевле и широко используются в качестве отопительных установок, опреснителей воды, бытовых водонагревателей, устройств для сушки сельскохозяйственных продуктов и приготовления пищи.

Производство биомассы автотропными организмами. Это одно из важнейших направлений использования солнечной энергии связано с живыми (в первую очередь растительными) организмами. Автотрофные организмы ежегодно ассимилируют в результате процесса фотосинтеза около 200 млрд тонн углерода, превращая его в органические соединения. *Общее энергосодержание образующейся при этом биомассы оценивается в $3 \cdot 10^{21}$ Дж. Эта величина примерно в 10 раз превышает ежегодное мировое потребление энергии и в 200 раз больше энергосодержания ежегодно потребляемой человечеством пищи.* Эффективность фотосинтеза с точки зрения трансформации солнечной энергии является крайне низкой, в среднем 0,1% от теоретической величины, равной 15%. Однако имеются растения, которые используют 1–3% солнечной энергии (некоторые растения на севере). Таким образом, имеются громадные возможности для селекционеров; в перспективе это огромный *резерв пищи*. Общее количество энергии солнечного излучения, получаемое поверхностью Земли за год, более чем в 20 000 раз превышает современный уровень мирового производства энергии.

Доля растительной биомассы в мировом потреблении энергии пока сравнительно невелика и составляет примерно 8% от общего количества топлива, расходуемого в мире. Однако для развивающихся стран биомасса растений, т. е. дрова и сжигаемые отходы сельского и лесного хозяйства, чрезвычайно важны и в настоящее время являются основными источниками получения энергии. В развивающихся странах на долю биологических источников энергии (в основном это дрова) приходится 68% получаемой энергии, в странах Дальневосточного региона (за исключением Японии) — 50%. В странах Европейского экономическо-

го сообщества растительная биомасса служит источником 5% получаемой энергии, что эквивалентно, однако, расходу примерно 500 млн тонн нефти в год. В США доля энергии, получаемой из топлива растительного происхождения, составляет более 3% от общего баланса производства энергии и неуклонно увеличивается.

Возросший интерес к растительным источникам топлива в развитых странах связан не только с удорожанием нефти и продуктов ее переработки, но и с ростом коэффициента полезного использования энергии в дровяных печах (США). Совершенствование конструкций печей позволило увеличить КПД их использования до 30–80%. Однако при этом резко возросла их стоимость, поэтому в развивающихся странах до настоящего времени пользуются в основном печами старых образцов, имеющих КПД 6–8%.

Сжигание растительного топлива в бытовых печах — далеко не единственный способ переработки биомассы, синтезируемой или образующейся в результате жизнедеятельности живых организмов (табл. 15.1). Перспективы использования тех или иных способов переработки биомассы по-разному оцениваются в различных странах и определяются климатическими условиями и доступностью других источников энер-

Таблица 15.1

Некоторые перспективные направления переработки биомассы

Вид энергетического ресурса	Процессы переработки	Продукты переработки	Основные потребители ¹⁾
Сухая биомасса (древесина и отходы ее переработки)	Сжигание	Тепло, электроэнергия	П, Б
	Газификация	Газообразное топливо (метанол, водород, аммиак)	П, Т, Х
	Пиролиз	Нефть, смола, газ	П, Т
	Гидролиз	Этанол	Т, Х
Сточные воды животноводства, водные живые организмы	Анаэробная ферментация	Метан	П, Б
Отходы пищевой промышленности (сахар, соки, целлюлоза)	Ферментация	Этанол	Т, Х

¹⁾ потребители продуктов переработки биоресурсов: П — все отрасли промышленности; Б — бытовое и коммунальное хозяйство; Т — транспорт; Х — химическая и биохимическая промышленность

гии. В целом в ряде стран — Австралии, Бразилии, Китае, Индии, РФ, США и других — разрабатываются специальные правительственные программы по использованию биомассы в качестве источника энергии. Например, в Бразилии в настоящее время около 28% всей производимой энергии вырабатывается из биомассы. В основном это биомасса сахарного тростника, из которой путем микробиологических превращений получают этиловый спирт. Ежегодно в этой стране получают 6–7 млрд литров спирта, используемого как горючее, в первую очередь, для автомобилей. В этом качестве этанол имеет большое преимущество перед бензином: благодаря его весьма высокому октановому числу отпадает необходимость этилирования — добавления в горючее токсичных компонентов, в частности, тетраэтилсвинца.

В настоящее время в США и Европе активно налаживается производство этилового спирта для автомобилей из зерна. Аналогичное производство запускается и в России. Но проблема состоит в зерне, цена которого резко увеличилась. А ведь зерно является основным источником питания для человека, животных и птиц.

В число возможных заменителей топлива недавно внесен и *эвкалипт*. Японские ученые показали в своих работах, что эвкалиптовое масло можно использовать в качестве заменителя бензина или одного из компонентов топлива для двигателей внутреннего сгорания. Одно из основных преимуществ этого вида топлива — чрезвычайно низкое содержание вредных выбросов в продуктах его сгорания.

Одним из важнейших среди вспомогательных источников энергии справедливо считают *отходы сельскохозяйственного производства*, в том числе жидкие и твердые отходы животноводства. Сосредоточенная в них химическая энергия — это тоже результат трансформации солнечной энергии.

Наиболее перспективный метод переработки таких отходов связан с получением *биогаза* — смеси горючего газа метана (60–70%) и негорючего углекислого газа (30–35%). В нем обычно бывает немного примесей: сероводород, водород, кислород, азот. Образуется биогаз в результате анаэробного разложения органических соединений, поэтому сырьем для его получения могут быть не только отходы животноводства, но и осадок сточных вод, мусор и некоторые другие органические отходы.

При анаэробном разложении таких отходов, в зависимости от химического состава сырья, выделяется от 5 до 15 м³ биогаза на 1 кг перерабатываемой органики. Обычно процесс идет не до конца, и примерно половина органических веществ не разлагается. Но этот неразложившийся остаток является прекрасным удобрением. Поскольку процесс анаэробного разложения протекает при температуре 50–55 °С в течение нескольких дней, значительная доля болезнетворных микроорганизмов и яиц гельминтов гибнет, поэтому образующийся остаток обеззараживается и происходит его дезодорация. В состав этого остатка входят азот,

фосфор, калий и другие микроэлементы. Использование такого удобрения в сельском хозяйстве замыкает кругооборот веществ. Вещества, извлеченные из почвы растениями, вновь возвращаются в почвенный слой.

Полученный в результате анаэробного разложения биогаз имеет теплотворную способность около 5000 ккал/м^3 . Его можно сжигать для получения электроэнергии, отопления домов, использовать в качестве горючего для автомобилей и тракторов. Работы по получению биогаза при переработке сельскохозяйственных отходов широко ведутся в различных странах мира.

Таким образом, при производстве биогаза можно не только избавиться от неприятных отходов животноводства, но и получить энергию и ценное удобрение.

Ядерная энергетика

Источником энергии на атомных электростанциях (АЭС) является процесс деления тяжелых ядер при взаимодействии их с нейтронами. Полное энергосодержание на один элементарный акт деления составляет 200 МэВ. Такое высокое энергосодержание и определяет огромную теплотворную способность ядерного топлива, превышающую теплотворную способность органического топлива в миллионы раз. В соответствии с принципом, положенным в основу получения управляемой реакции деления, все ядерные реакторы делятся на два типа: реакторы на тепловых, или медленных, нейтронах и реакторы на быстрых нейтронах, или реакторы-размножители.

подавляющее большинство действующих и строящихся АЭС имеют реакторы на медленных нейтронах. Особенность реакторов этого типа — наличие замедлителя нейтронов в активной зоне реактора. Использование в качестве замедлителя нейтронов тяжелой воды позволяет использовать в качестве ядерного топлива необогащенный природный уран.

Во всем мире примерно три четверти реакторов АЭС работают на обогащенном уране со степенью обогащения 2–4% и используют в качестве замедлителя нейтронов и теплоносителя обычную воду. Такие реакторы называют *водо-водяными энергетическими реакторами* (ВВЭР).

Схема устройства АЭС с водо-водяным реактором представлена на рис. 15.7. ВВЭР работает по двухконтурной схеме. Как видно из рис. 15.7, вода первого контура служит для передачи тепла от ТВЭЛов (тепловыделяющих элементов) к вторичному контуру. Пар, образующийся из воды вторичного контура, не представляющей опасности с точки зрения радиоактивности, используется для вращения паровой турбины.

Помимо водо-водяных реакторов, в России на АЭС имеются уран-графитовые реакторы. Эти реакторы, как и ВВЭР, используют для про-

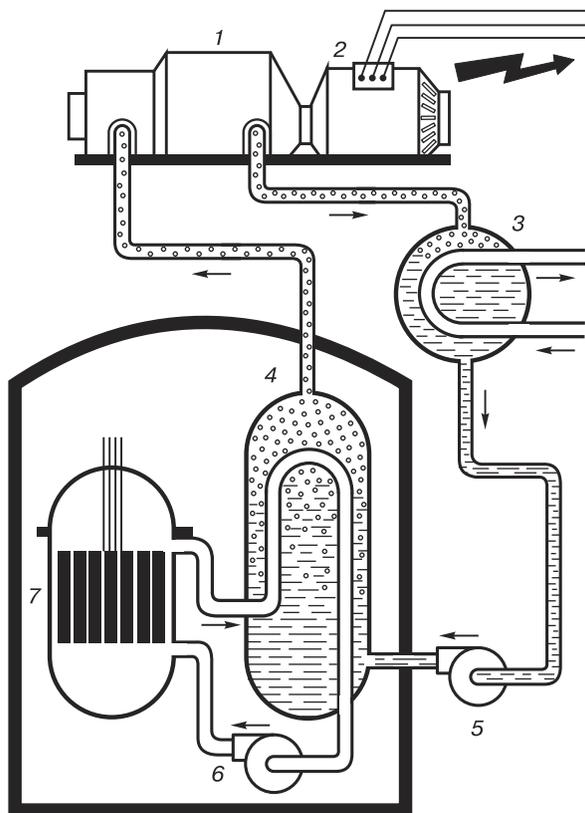


Рис. 15.7. Схема устройства АЭС с водо-водяным реактором: 1 — паровая турбина; 2 — электрический генератор; 3 — конденсатор пара; 4 — парогенератор; 5 — насос вторичной воды; 6 — насос первичной воды; 7 — реактор

ведения реакций деления медленные нейтроны. Но в данном случае в качестве замедлителя нейтронов используется графит, а теплоносителем служит обычная вода (чернобыльский вариант).

Одним из самых больших недостатков реакторов на медленных нейтронах является очень низкая эффективность использования урана — всего 1–1,5% потенциальной энергии, заключенной в природном уране. Такая низкая степень использования ресурсов урана типична для современных действующих АЭС на медленных нейтронах.

Решить задачу более полного использования природного ядерного горючего — урана можно лишь в ядерных реакторах другого типа — *реакторах на быстрых нейтронах (реакторах-размножителях)*. В этих реакторах в результате ядерных превращений происходит не уменьшение, а увеличение количества ядерного горючего, способного к делению. Ядро урана-238 (^{238}U) в результате поглощения нейтрона, пере-

ходит в ядро плутония-239 (^{239}Pu), который, как и уран-235, при поглощении нейтронов дает начало цепной реакции деления. Аналогично ведет себя и изотоп тория-232, который при взаимодействии с нейтронами образует уран-233, склонный к реакции деления. Практически достижимым считается поднять коэффициент использования топлива до 30–40% и выше. Это не только позволит увеличить степень использования природного урана, но и резко снизит вклад стоимости ядерного топлива в общий баланс себестоимости энергии. Внешний вид АЭС представлен на рис. 15.8.

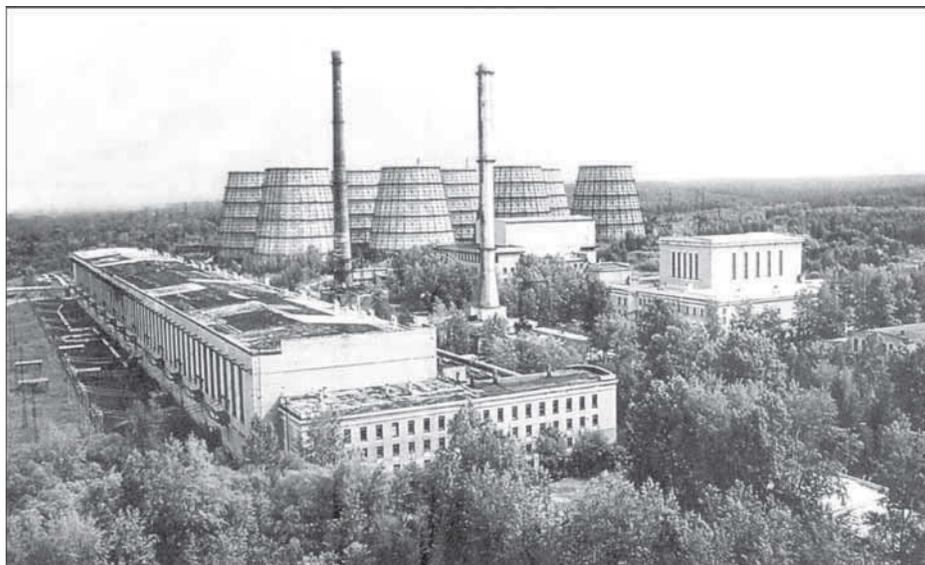


Рис. 15.8. Внешний вид атомной электростанции в г. Северске, Томская обл.

Реакторы на быстрых нейтронах имеют более сложную конструкцию, чем реакторы на тепловых нейтронах. В них нет замедлителей нейтронов, поэтому в активной зоне таких реакторов высвобождается значительно больше энергии в расчете на единицу объема.

В нашей стране большое внимание уделяется разработке и совершенствованию реакторов на быстрых нейтронах, в которых теплоносителем служит металлический натрий. В целях предотвращения попадания радиоактивного натрия в воду при возможных нарушениях нормального режима работы теплообменников в таких реакторах применяется трехкорпусная система теплоотвода (рис. 15.9).

Первая АЭС на быстрых нейтронах была построена в г. Шевченко (ныне г. Актау, Казахстан) в 1973 г. Реактор на быстрых нейтронах, мощностью 350 МВт начал вырабатывать электроэнергию (150 МВт) и пресную воду ($1,2 \cdot 10^5$ т/сут.). В 1979 и 1982 гг. введены в строй АЭС

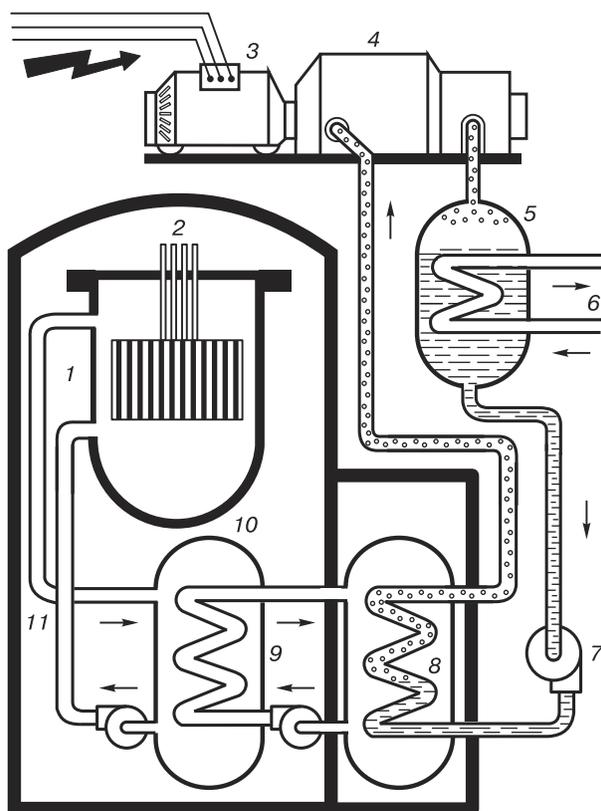


Рис. 15.9. Схема устройства АЭС с реактором на быстрых нейтронах: 1 — реактор; 2 — регулирующие стержни; 3 — электрогенератор; 4 — паровая турбина; 5 — конденсатор пара; 6 — охлаждающая вода; 7 — питательный насос; 8 — парогенератор; 9 — второй натриевый контур; 10 — теплообменник; 11 — первичный контур, теплоноситель — металлический натрий

с реакторами на быстрых нейтронах мощностью 600 МВт. Ведутся разработки более мощных реакторов с мощностью до 1600 МВт, которые планировалось производить в РФ серийно.

Существует, однако, целый ряд проблем, которые необходимо решить, прежде чем реакторы-размножители получат широкое распространение. Эти реакторы используют высокообогащенное топливо и требуют, помимо урана, большое количество плутония. Плутоний должен поступать из запасов, накопленных в ходе работы реакторов на тепловых нейтронах. Изотопы плутония извлекаются из «выгоревших» ТВЭЛов, имеющих высокую активность, на специальных заводах по переработке отработанного ядерного горючего. Кроме того, плутоний извлекается из демонтируемых атомных бомб.

Водородная энергетика

Система, которая могла бы объединить промышленность, транспорт и жилищно-коммунальное хозяйство на основе получения и использования единого топлива — водорода, получила название *водородной энергетики*. Водород не является первичным источником энергии. В природе нет доступных для промышленного использования количеств газообразного водорода, поэтому получение водорода в качестве топлива всегда требует затрат первичной энергии ископаемого топлива, ядерной, солнечной или других ее видов. Водород является искусственным топливом и в настоящее время рассматривается как перспективный энергоноситель, по некоторым показателям превосходящий даже наиболее широко используемый в настоящее время энергоноситель — электроэнергию.

Одно из основных преимуществ водорода перед электроэнергией — *возможность его накопления и хранения* в жидком или газообразном состоянии. Электроэнергию сразу после ее получения необходимо направить потребителю. Значимое количество электроэнергии накопить в аккумуляторах невозможно ввиду отсутствия последних, по крайней мере, в настоящее время. *Производство и потребление электроэнергии жестко связаны между собой*. Но в течение суток и на протяжении всего года объем энергии потребляется неравномерно. В результате электрогенерирующие установки должны работать в переменном режиме. При этом неизбежно возникают сложности в эксплуатации оборудования, падает эффективность преобразования энергии.

Еще одно преимущество водорода в качестве энергоносителя — *возможность более экономичного его транспортирования* на большие расстояния, хотя здесь есть еще немало нерешенных проблем.

Перспективность использования водорода в качестве энергоносителя определяется и рядом других его свойств, среди которых необходимо назвать следующие:

- высокое удельное энергосодержание в расчете на единицу массы (в три раза выше, чем у природного газа);
- возможность использования для получения энергии имеющихся в промышленности газовых горелок и двигателей внутреннего сгорания на транспорте без серьезных их модификаций;
- в химической промышленности и металлургии водород может быть использован в качестве восстановителя;
- производство его возможно несколькими способами (химическим, электрохимическим, биологическим);
- возможна организация экономически оправданного децентрализованного производства и использования водорода.

Последнее свойство является чрезвычайно важным при решении энергетических проблем в развивающихся странах и в отдаленной сельской местности. При этом представляется перспективной организация

процессов биофотоллиза воды, т. е. использования механизма фотосинтеза для разложения воды под действием солнечного света с получением свободных кислорода и водорода.

Одна из таких систем разработана в нашей стране. В ее основе лежит культура микроскопической водоросли и термостойкой анаэробной цианобактерии. Клетки водорослей на свету в ходе фотосинтеза производят органические соединения углеводородного характера и свободный кислород. Образующиеся углеводы разлагаются ферментными системами бактерий на уксусную кислоту, этанол, углекислый газ и водород.

Таким образом, при воздействии солнечного света система непрерывно выделяет кислород и водород, т. е. происходит фоторазложение воды. Необходимо отметить, что из всех известных способов прямого преобразования солнечной энергии в топливо такой процесс наиболее близок к практическому использованию.

Применение водорода в качестве энергоносителя перспективно и с точки зрения сохранения окружающей среды: при окислении водорода в присутствии кислорода образуются только пары воды. Вода (в частности, вода мирового океана) является природным ресурсом, из которого термическим, термохимическим, электрохимическим или другими методами может быть получен водород. Особого внимания заслуживает применение высокотемпературных ядерных реакторов для централизованного производства водорода в больших масштабах.

15.3. ЗАПАСЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ И ИХ РОЛЬ В СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Весьма важное значение для судеб человечества имеет анализ существующих энергетических ресурсов, перспектив развития энергетики и экологических последствий ее развития. Энергетический кризис 1973–1974 гг. и обсуждение экологических последствий антропогенного влияния на биосферу в целом стимулировали проведение всесторонних исследований и долгосрочных прогнозов развития энергетики. Один из таких прогнозов приведен в фундаментальной работе академика В. А. Легасова с сотрудниками Института атомной энергии им. И. В. Курчатова [38].

В долгосрочных прогнозах мирового потребления энергии принимались во внимание два варианта. В одном из них стабилизация потребностей в энергии на душу населения происходит на уровне 20 кВт·ч в год (тепловой энергии), в другом — 10 кВт·ч в год. *Стабилизация энергопотребления, как и численности населения на Земле, взаимосвязаны, и эта стабилизация необходима.*

Цифра 20 кВт·ч в год на человека представляет собой сумму двух слагаемых (рис. 15.10). Первое слагаемое равно 10 кВт·ч в год на человека — это наивысший уровень потребления энергии на душу населения,

достигнутый в мировой энергетике в развитых странах. Ему соответствует уровень развития энергетики США. Второе слагаемое введено, чтобы учесть поправки на будущее. Поскольку ресурсы Земли ограничены, для сохранения высокого уровня жизни потребуется дополнительная энергия, чтобы повторно использовать материалы, опреснять воду, производить водород, пищевые продукты и т. д. Суммарное численное значение этой поправки оценивается в 10 кВт·ч в год на человека.



Рис. 15.10. Прогнозируемая величина энергопотребления на душу населения, при которой наступает стабилизация потребностей в энергии, — 20 кВт·ч в год на человека (тепловой энергии)

По-видимому, величина 20 кВт·ч в год на человека (тепловой энергии) при расчете перспективной потребности в энергии является наивысшей оценкой для уровня стабилизации удельного потребления энергии (к 2100 г.). Здесь надо иметь в виду следующее обстоятельство. Сегодня коэффициент полезного использования энергоресурсов меньше технически достижимого, а КПД энергетических установок ниже экономически оптимального. Поэтому, повысив КПД преобразования первичной энергии во вторичную (механическую, электрическую) и увеличив КПД потребления вторичной энергии (а также за счет экономии энергии), можно обеспечить растущую потребность, оставляя уровень производства первичной энергии неизменным. С большой степенью надежности можно утверждать, что уровень реальной стабилизации энергопотребления будет находиться в рассматриваемом диапазоне от 10 до 20 кВт·ч в год на человека (тепловой энергии).

Энергетика на органическом топливе

Основным источником энергии на современном этапе развития является органическое топливо. Структура мирового энергетического баланса представлена на рис. 15.11, а сравнение ежегодных потребностей с потенциальными возможностями — на рис. 15.12.

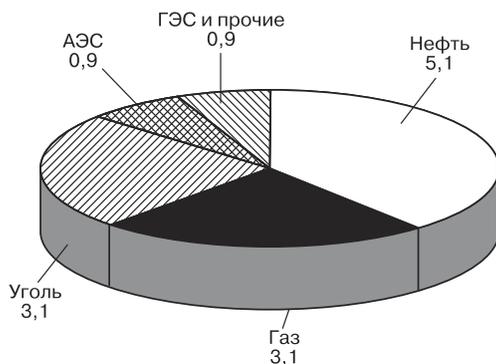


Рис. 15.11. Структура мирового энергетического баланса (13,1 млрд тонн условного топлива) в начале XXI в.

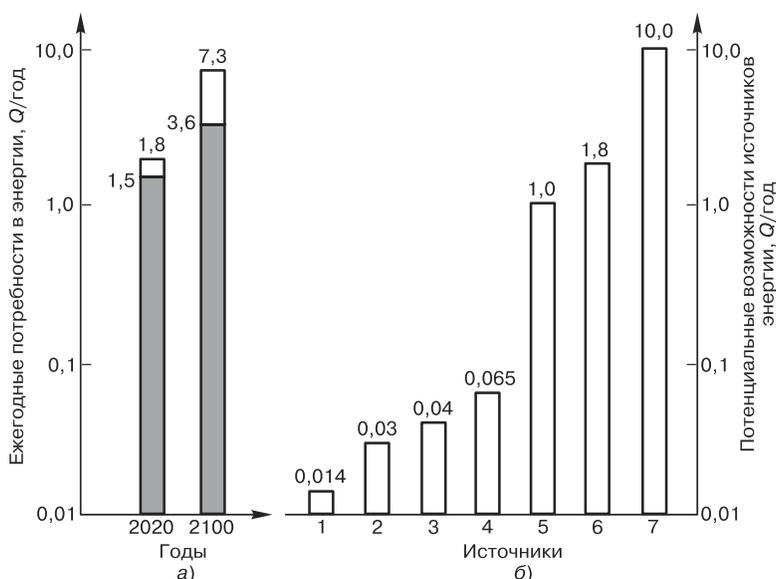


Рис. 15.12. Сравнение ежегодных потребностей в энергии (а) с потенциальными возможностями возобновляемых источников энергии (б) для разных сценариев: 1 — морские приливы; 2 — морские волны; 3 — ветер; 4 — гидроресурсы; 5 — геотермальные ресурсы; 6 — тепло морей и океанов; 7 — солнечная радиация (0,5%)

Согласно данным специальной комиссии экспертов Мировой энергетической конференции (МИРЭК-Х, г. Стамбул, 1977 г.), суммарные запасы органического топлива оценивались в диапазоне от $22,7Q$ (разведанные месторождения) до $295Q$ (геологические запасы), где $Q = 0,25 \cdot 10^{18}$ ккал = $3,35 \cdot 10^{10}$ кВт·ч в год (тепловой энергии) — специально введенная единица.

Расчеты показывают, что только для угля (на долю которого приходится около 80% мировых запасов органического топлива) сроки исчерпания запасов превышают 300 лет, а запасы нефти и газа (при сохранении темпов их добычи) будут исчерпаны уже в этом столетии.

Сравнивая величину этих запасов с мировой потребностью в энергии, авторы прогноза делают логичный вывод, что истощение разведанных запасов органического топлива произойдет задолго до стабилизации потребления энергии. Если же ориентироваться на геологические запасы, ресурсы органического топлива будут исчерпаны примерно к моменту достижения стабилизации потребления энергии, что произойдет около 2100 г.

Отсюда со всей очевидностью следует очень важный вывод: потенциальные возможности энергетики на органическом топливе (*с учетом предполагаемых потребностей в энергии на долгосрочную перспективу 3,6–7,3Q/год*) невелики. Из-за ограниченности ресурсов энергетику на органическом топливе нельзя отнести к крупномасштабному источнику, способному производить на протяжении столетий энергию в объеме нескольких Q в год. Ее ресурсы позволяют покрыть потребности на ближней фазе развития и обеспечить на средней фазе переход к альтернативным источникам, способным удовлетворить потребности в энергии на отдаленной фазе.

Ограниченность запасов органического топлива, особенно нефти и природного газа, — главная причина наблюдающейся сегодня переориентации мирового топливно-энергетического баланса.

Уголь в отличие от нефти и природного газа еще длительное время может сохранить свое положение в энергетическом балансе. К 2020 г. его доля, очевидно, останется на сегодняшнем уровне, равном 30%. Такое широкое использование угля объясняется существованием относительно крупных его запасов. Однако и здесь имеются факторы, ограничивающие возможные перспективы использования угля: неравномерное географическое распределение запасов, большие капиталовложения и затраты времени на освоение новых месторождений, а также риски при добыче и проблема защиты окружающей среды.

Возобновляемые источники энергии

К ним относятся реки (гидроэнергетика), морские приливы и отливы, тепло Земли (геотермальная энергия) и Солнца (непосредственно энергия солнечной радиации или энергия ветра, морских волн, тепла морей и океанов) (см. рис. 15.12).

В настоящее время из возобновляемых источников в основном только гидроэнергоресурсы принимаются во внимание при разработке топливно-энергетического баланса. Однако на долю возобновляемых источников энергии в целом приходится примерно 3% общего производства энергии в мире. Мировой технический потенциал гидроэнергоресурсов соответствует производству энергии, равному $0,065Q$ в год, что составляет не более нескольких процентов в топливно-энергетическом балансе. Поэтому даже полное использование гидроэнергетических ресурсов не позволяет покрыть сколько-нибудь значительную часть дефицита энергии, связанного с истощением запасов нефти и природного газа. Необходимо добавить, что гидроэнергетика существенно влияет на экологическую обстановку в районе расположения ГЭС. Отсюда ясно, что *гидроэнергетика в мировом топливно-энергетическом балансе может играть только вспомогательную роль.*

Технический потенциал таких возобновляемых источников энергии, как энергия ветра, морских приливов и отливов, морских волн (фактически это в основном аккумулированная солнечная энергия) представляется крайне незначительным в свете глобальных потребностей в энергии на перспективу. Зато большими потенциальными возможностями обладает энергетика, использующая разность температур поверхностных и глубинных слоев морей и океанов, тепло морей и океанов, а также геотермальная энергетика. Потенциал геотермальной энергетике соответствует ежегодному производству $1Q$ энергии, а использование тепла морей и океанов — примерно $2Q$.

Суммарный технический потенциал таких возобновляемых источников энергии, как гидроэнергия, энергия морских приливов и отливов, волн, ветра, тепловая энергия океана и недр Земли, соответствует источнику энергии мощностью $3Q$ в год. Однако экологические, экономические и технические причины ограничивают этот показатель, снижая его до величины $0,1Q$ в год. Это означает, что перечисленные выше возобновляемые источники энергии не только не могут играть в будущем роль крупномасштабных источников энергии (мощность несколько Q в год), но даже не в состоянии покрыть намечающийся на начало XXI столетия дефицит в топливно-энергетическом балансе мира.

Солнечная энергетика

В последнее время интерес к проблеме использования солнечной энергии резко возрос. Потенциальные возможности энергетике, использующей непосредственно солнечную радиацию, чрезвычайно велики. Общее количество солнечной энергии, проходящей через атмосферу и достигающей поверхности Земли, оценивается в $2000Q$ в год. Использование лишь 0,01% этой энергии могло бы обеспечить все сегодняшние потребности мировой энергетике, а 0,5% — полностью покрыть потребности и на перспективу. К сожалению, вряд ли когда-нибудь эти огромные потенциальные ресурсы удастся реализовать в больших масштабах.

Одним из наиболее серьезных препятствий является низкая интенсивность солнечной радиации. Даже при наилучших атмосферных условиях (в южных широтах и при чистом небе) интенсивность солнечной радиации в среднем в течение года составляет не более 250 Вт/м^2 . Поэтому, чтобы коллекторы солнечной радиации «собрали» энергии $1Q$ в год, нужно разместить их на территории площадью не менее 133 тыс. км^2 (рис. 15.13). Такие огромные размеры коллекторов требуют значительного расхода материальных ресурсов. Простейший солнечный коллектор представляет собой зачерненный металлический (как правило, алюминиевый) лист, внутри которого располагаются трубы с циркулирующей в них жидкостью.



Рис. 15.13. Интенсивность солнечной радиации и площадь поверхности Земли, на которую ежегодно падает поток солнечной энергии, равный $1Q$, на различных широтах

Жидкость, нагретая за счет солнечной энергии, поглощенной коллектором, подается для непосредственного использования. Согласно расчетам, изготовление солнечных коллекторов площадью 1 км^2 требует примерно 10 тыс. тонн алюминия. Крупномасштабное использование солнечной энергии в этом виде влечет за собой гигантское увеличение потребности в материалах, а следовательно, в трудовых ресурсах, кото-

рые должны заниматься добычей сырья, его обогащением, получением материалов, изготовлением гелиостатов, коллекторов и другой аппаратуры, а также их перевозкой. Подсчеты показывают, что для производства 1 МВт электроэнергии в год в солнечной энергетике требуется затратить от 10 000 до 40 000 человеко-часов. В традиционной энергетике на органическом топливе этот показатель составляет 200–500 человеко-часов.

В настоящее время, как уже отмечалось, происходит истощение запасов различных видов полезных ископаемых с одновременным возрастанием стоимости их добычи и увеличивается стоимость земли. С течением времени эти проблемы будут приобретать все большую остроту. Таким образом, перечисленные факторы являются серьезным барьером на пути развития солнечной энергетике в качестве крупномасштабного источника энергии мощностью 1Q в год.

Наконец, широко бытующее утверждение об экологической «чистоте» солнечной энергетике недостаточно обосновано. Сама энергия Солнца — да. Но для того, чтобы ее уловить и трансформировать в удобную для потребления форму, нужны соответствующие устройства, производство которых требует затрат материалов. В процессе добычи сырья и получения этих материалов будет происходить существенное загрязнение окружающей среды.

Ядерная энергетика и ее ресурсы

Итак, детальный учет всех рассмотренных выше факторов позволил экспертам МИРЭК-Х сделать вывод, что к 2020 г. доля возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе может составить около 10%.

Теперь оценим, какими ресурсами располагает ядерная энергетика. Естественно, что в первую очередь необходимо оценить запасы урана, поскольку ядерная энергетика сегодняшнего дня развивается только за счет строительства АЭС с реакторами, в которых осуществляется цепная ядерная реакция.

Для урана характерна довольно большая распространенность: его среднее содержание в литосфере составляет примерно $3 \cdot 10^{-4}\%$ (масс.). Однако экономически выгодно разрабатывать месторождения, содержащие не менее 0,1% урана. Стоимость добычи урана из таких месторождений составляет 80 долл. за 1 кг урана в руде. Таким образом, к извлекаемым относятся запасы, в 1000 раз более богатые ураном, чем его среднее содержание.

По данным, приведенным на Генеральной конференции МАГАТЭ в 1980 г., запасы урана со стоимостью извлечения до 80 долл./кг составляют 3330 тыс. тонн. Величина этих запасов в энергетическом эквиваленте зависит от типа ядерного реактора, в котором будет использоваться урановое топливо. В настоящее время ядерная энергетика ба-

зируется на строительстве АЭС с реакторами на тепловых нейтронах. К сожалению, эти реакторы характеризуются крайне неэффективным использованием запасов природного урана.

Реакторы на тепловых нейтронах «сжигают» 1,5% природного урана. Поскольку в процессе деления 1 кг урана выделяется 18,8 млрд ккал, в реакторах на тепловых нейтронах 1 т природного урана позволяет получить 282 млрд ккал, что составляет примерно $11,2 \cdot 10^{-7} Q$. Следовательно, запасы со стоимостью извлечения до 80 долл./кг (по современным представлениям экономически эффективные) соответствуют энергоисточнику емкостью 3,7Q.

Однако, согласно расчетам, в лучшем случае можно надеяться, что величина этих ресурсов в энергетическом эквиваленте возрастет лишь до 20Q. Это означает, что при планируемых темпах развития ядерной энергетики достоверные запасы будут исчерпаны уже к концу столетия.

Таким образом, *ядерная энергетика с реакторами на тепловых нейтронах при указанных ресурсах топлива в принципе не может обеспечить создание крупной мировой энергетики.*

Выход из этого положения можно найти на пути использования АЭС с реакторами-размножителями. С их внедрением эффективное использование природного урана может достигнуть 30–40%. Очевидно, что в этом случае, не повышая стоимости производства энергии, можно будет использовать ресурсы урана со стоимостью извлечения, существенно превышающей 80 долл./кг. При использовании реакторов-размножителей экономически выгодно разрабатывать месторождения бедных урановых руд, содержащих всего лишь 0,06% природного урана, не имеющих сегодня практического значения. Стоимость их извлечения составляет примерно 295 долл. за 1 кг урана. Возможно, в перспективе окажется выгодно использовать уран, содержащийся в морской воде и кристаллических породах. Не следует забывать и о запасах тория. По имеющимся данным, мировые ресурсы тория ниже, чем урана, однако надо иметь в виду, что они изучены гораздо хуже.

Согласно последним данным, характеризующим запасы урана при его использовании в реакторах на тепловых нейтронах и в реакторах-размножителях (табл. 15.2), широкое применение АЭС с реакторами-размножителями может решить проблему развития энергетики с точки зрения обеспеченности энергоресурсами в течение многих столетий без каких-либо топливных ограничений.

В ресурсы ядерной энергетики кроме урана входят также запасы дейтерия и трития. **Термоядерная энергетика**, основанная на реакции взаимодействия ядер дейтерия и трития или ядер дейтерия, многократно расширяет сырьевую базу ядерной энергетики. В термоядерной реакции взаимодействия дейтерия и трития (D–T) условно лимитирующим фактором оказываются ресурсы не дейтерия, а лития. Дело в том, что трития в природе практически нет. Его получают искусственно, облучая ядра лития нейтронами. Это можно осуществить в самом

Таблица 15.2

Мировые ресурсы ядерной энергетики

Принцип производства энергии	Вид ресурса	Ресурсы в энергетическом эквиваленте Q
Реакторы на тепловых нейтронах	Уран при затратах на извлечение до 130 долл./кг	40
Реакторы-размножители	Уран при затратах на извлечение: до 130 долл./кг	1000
	до 295 долл./кг	2500
	уран в океане	340 000
	уран в земной коре на глубине до 500 м	670 000
Термоядерные реакторы	Литий (как источник трития) при затратах на извлечение до 60 долл./кг:	
	природный литий	1900
	литий в океане	2 750 000
	дейтерий в океане	4 000 000 000

термоядерном реакторе, окружив его специальной оболочкой из лития и воспользовавшись потоком нейтронов, возникающих при протекании в термоядерном реакторе реакции синтеза ядер дейтерия и трития. Литий лимитирует развитие энергетики условно, поскольку его ресурсов достаточно, чтобы обеспечить потребности на многие столетия. Переход же к термоядерной энергетике на основе синтеза только ядер дейтерия открывает неограниченные возможности для производства энергии.

Итак, ядерная энергетика хорошо обеспечена ресурсами. Однако вывод о необходимости развития того или иного источника энергии должен базироваться не только на основе соображений о его ресурсах. Здесь также нужно учитывать экономичность способа производства энергии, его технические возможности и степень воздействия на окружающую среду и население.

Как показал анализ, ядерная энергетика и по этим показателям обладает преимуществами перед другими источниками энергии. Так, с экономической точки зрения, ядерная энергетика уже сейчас имеет преимущество перед энергетикой на органическом топливе и других источниках энергии. Далее, ядерная энергетика по своим техническим возможностям может в той или иной форме удовлетворить все энергетические потребности топливно-энергетического баланса.

При приближенном подсчете выясняется, что потребности в энергии распределяются примерно поровну (порядка 25%) между: производством электроэнергии, отоплением жилых домов и других зданий, промышленными целями и транспортом. До настоящего времени генеральным направлением применения ядерной энергии было производство с ее помощью электроэнергии на АЭС. Следовательно, даже ес-

ли все сегодняшние электростанции перевести на ядерное горючее, то потребление органического топлива уменьшилось бы не более чем на 25%. Однако технические возможности ядерной энергетики позволяют использовать ее и для отопления, и в промышленности.

Ядерной энергетике, как и другим видам промышленной деятельности, присущи вредные факторы, потенциально опасные для человека. Наибольшую потенциальную опасность представляет радиоактивное загрязнение. Однако с самого начала развития ядерной энергетики ее предприятия проектировались таким образом, чтобы не допустить опасного выброса радиоактивных веществ в окружающую среду и обеспечить максимальную безопасность обслуживающего персонала. Ситуация с Чернобылем подорвала доверие к атомной энергетике, но в настоящее время приняты новые перспективные программы развития этой отрасли с учетом экологической составляющей. Накопленная информация об уровнях радиационного воздействия, об индивидуальных и коллективных дозах облучения персонала предприятий и населения вблизи предприятий ядерного топливного цикла подтверждает, что биосфера достаточно надежно защищена от радиационного воздействия предприятий ядерной энергетики. Из всех известных на сегодня способов производства энергии ядерная энергетика является минимально опасной.

Человек всегда подвергался воздействию ионизирующей радиации со стороны различных внешних или внутренних естественных источников. Это космические и гамма-лучи, радон и другие вещества, выделяемые горными породами и строительными материалами, природные радиоактивные вещества, попадающие в организм. На рис. 15.14 показано, что доля атомной энергетики в годовой дозе облучения населения Великобритании, которая составляет всего 0,1%.

Многолетний опыт эксплуатации АЭС и исследовательских реакторов в нашей стране показывает, что в результате тщательно выполнен-

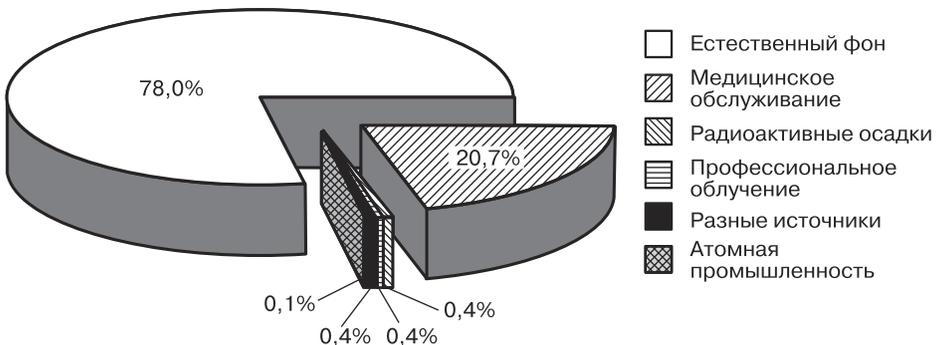


Рис. 15.14. Средняя доза облучения населения Великобритании

ных мероприятий по совершенствованию конструкции ядерных реакторов, систем очистки газоаэрозольных выбросов и жидких отходов, хорошо продуманной системы контроля и при научном подходе к вопросам защиты окружающей среды атомная энергетика не только не увеличивает загрязнения биосферы, но и способствует ее оздоровлению. АЭС не требует кислорода для сжигания топлива и не выбрасывает оксидов углерода, не загрязняет воздушный бассейн оксидами серы, азота, тяжелыми металлами, фенолами и канцерогенными веществами, летучей золой и другими вредными компонентами. Выбросы радиоактивных веществ от АЭС в расчете на единицу электрической мощности на порядок ниже, чем выбросы естественных радиоактивных веществ ТЭС, поскольку они содержатся в органическом топливе, например в угле.

Развитие атомной, а в дальнейшем термоядерной и других перспективных альтернативных направлений развития энергетики — прекрасная долгосрочная перспектива. Однако прогнозы показывают, что в ближайшие десятилетия энергетические потребности в нашей стране и в мире будут удовлетворяться в основном за счет угля, нефти и газа.

Прогноз развития энергетики в нашей стране до 2020 г. представлен на рис. 15.15. Несмотря на миллиарды и миллиарды рублей, вложенные в развитие атомной энергетики, ее объем в нашей стране не превышает 4%, а в мире — 6% (на 2003 г.).

В базовом сценарии развития энергетики в мире до 2050 г., подготовленном Международным энергетическим агентством (МЭА), показано, что общий объем потребления энергии в мире будет расти в среднем на 1,6% в год: с 10 579 млн тонн н. э.¹⁾ в 2003 г. до 22 112 млн тонн н. э. в 2050 г. (рис. 15.16). Это медленнее, чем 2,1% в год (в 1971–2003 гг.), тем не менее, рост потребления энергии в период 2003–2050 гг. составит 109%.

В 2003–2050 гг. объемы добычи угля вырастут в три раза, объемы добычи газа — более чем в два раза, добычи нефти — почти в два раза (включая производство синтетических видов топлива). К 2050 г. уголь займет лидирующие позиции в топливном балансе (его доля составит 34%). Между 2030 и 2050 гг. абсолютные объемы потребления угля превзойдут объемы потребления нефти. Доля нефти в общем энергетическом балансе сократится с 34% (2003 г.) до 27% (2050 г.). Доля природного газа вырастет с 21% (2003 г.) до 24% (2050 г.). Доля остальных видов энергетических ресурсов, кроме угля, нефти и газа, в 2050 г. составит 15% (20% в 2003 г.). Доля атомной энергии сократится с 6% (2003 г.) до 4% (2050 г.), доля возобновляемых источников — с 11 до 9%, доля гидроэнергии останется на уровне 2%.

¹⁾ За единицу нефтяного эквивалента (н. э.) принята теплотворная способность 1 кг нефти, равная 11 000 ккал.

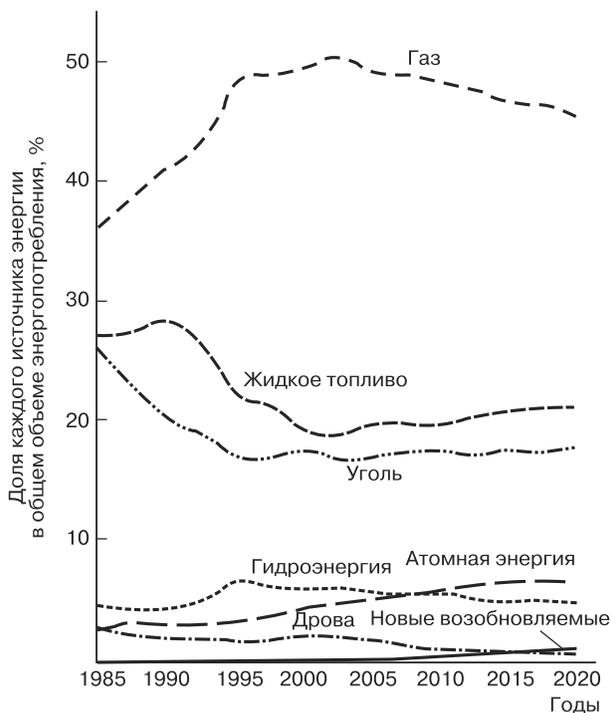


Рис. 15.15. Эволюция структуры потребления энергоресурсов в России

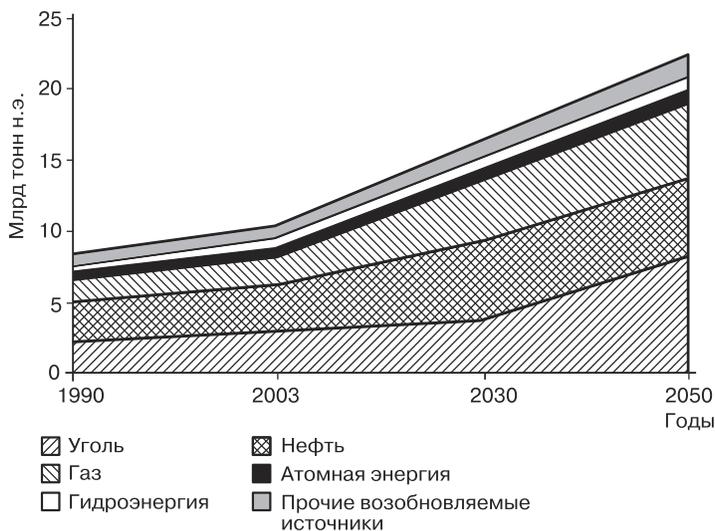


Рис. 15.16. Глобальное потребление первичных энергоресурсов в 1990–2050 гг.

Доля ископаемых видов топлива вырастет с 80% (2003 г.) до 85% (2050 г.), несмотря на рост атомной энергетики и использование возобновляемых источников энергии.

Весьма важным ресурсом энергии, как указывал В. И. Вернадский, является энергия поверхности Земли.

Эти прогнозы необходимо учитывать при разработке перспективных планов решения экологических проблем в энергетике.

15.4. ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ЭКОНОМИКИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

В связи со спадом производства в России в 90-е гг. XX в., объем которого в 1998 г. составил менее половины от уровня 1990 г. и до сих пор не восстановился, добыча энергоресурсов и выработка электроэнергии снизились до 70% от уровня 1990 г.

Потребление электроэнергии в коммунально-бытовом секторе не только не сократилось, но и несколько возросло. В то же время энергоемкость экономики России возросла на 22% и стала в 2,5–3 раза выше, чем в индустриально развитых странах. На единицу промышленной продукции в России затрачивается в 3 раза больше энергии, чем в странах Западной Европы, и в 2 раза больше, чем в США.

Энергоемкость социальных расходов в различных странах, включая Россию, представлена в табл. 15.3.

Все это свидетельствует о нашем крайнем энергорасточительстве. По имеющимся оценкам, затраты на энергосберегающие мероприятия в России в 1,5–3 раза ниже, чем на развитие, например, газодобывающих и транспортных мощностей, не считая экологического эффекта. Потенциал только газосбережения оценивается примерно в $\frac{1}{4}$ часть от всего объема расходуемого в России газа.

Таблица 15.3

Энергоемкость социальных расходов

Страна	Социальные расходы (капитал) на душу населения, тыс. долл./чел. в год	ВВП на душу населения, тыс. долл./чел. в год	Душевое энергопотребление, тонн у.т./чел. в год	Энергоемкость социальных расходов, тонн у.т./1 тыс. долл.
Франция	7,6	21,6	6,4	0,84
Израиль	3,0	12,7	4,4	1,46
Финляндия	5,0	23,7	8,9	1,78
США	3,0	22,6	12,4	4,13
Индия	0,06	0,6	0,25	4,17
Болгария	0,5	2,0	3,9	7,80
Россия	0,3	4,0	6,2	20,70

Повышение эффективности использования энергии, наряду с использованием альтернативных источников энергии, получило бурное развитие в индустриально развитых странах. Повышение эффективности использования энергии означает производство тех же самых энергетических услуг, включая освещение, обогрев и охлаждение помещений, пассажирские и грузовые перевозки, водоснабжение, работу различных двигателей, но с гораздо меньшими затратами. Оно обеспечивает такой же или более высокий уровень жизни с меньшими издержками. *Одновременно снижается уровень загрязнения окружающей среды.* Повышение эффективности использования энергии невозможно без анализа процессов трансформации энергии.

Анализ процессов трансформации энергии

Один из основополагающих законов природы — закон сохранения энергии — устанавливает закономерности взаимной трансформации всех видов энергии. Согласно установившейся трактовке этого закона, энергия не может быть уничтожена или получена из ничего, она может лишь переходить из одного вида в другой. Но это вовсе не означает, что любой вид энергии может быть переведен в другой полностью. Это утверждение справедливо лишь в случае перевода любого вида энергии в тепловую энергию. Процесс обратной трансформации тепловой энергии в другие виды энергии не всегда возможен, и если происходит, то в любом случае не полностью.

Тепловая энергия занимает особое положение среди других видов энергии. Дело в том, что тепловая энергия — результат неупорядоченного движения молекул и атомов вещества, в то время как другие виды энергии — результат упорядоченного движения. Безусловно, тепловая энергия, как все виды энергии, подчиняется закону сохранения энергии. *Но как в жизни порядок просто превратить в хаос, а сделать наоборот гораздо труднее, так и в случае превращения неупорядоченного движения в упорядоченное.*

Существует принципиальная разница в понятиях арифметического эквивалента различных видов энергии и способности различных видов энергии переходить друг в друга. С арифметическим эквивалентом энергии дело обстоит сравнительно просто, так как все виды энергии могут быть выражены в одних и тех же единицах.

Однако это вовсе не означает, что, например, из 1 ккал световой энергии может быть получен 1,16 кВт·ч электрической энергии (эквивалент 1 ккал). На первом этапе этого процесса в результате процессов фотосинтеза в химическую энергию перейдет только 1% солнечной энергии. На следующем этапе, в процессе добычи ископаемого топлива (угля), будет неизбежно «потеряно» примерно 50% оставшейся энергии. В дальнейшем, при преобразовании химической энергии в тепловую, механическую и электрическую энергию будет потеряно еще около

70% энергии. Таким образом, в результате этой цепочки преобразования энергии из 1,16 кВт·ч световой энергии может быть получено лишь $0,58 \cdot 10^{-3}$ кВт·ч электроэнергии. Или, если подойти к этому превращению с другой стороны, для получения 1 кВт·ч электрической энергии потребуется 2000 кВт·ч солнечной энергии. Приведенные в табл. 15.4 данные об эффективности преобразования наиболее распространенных видов энергии позволяют оценить, насколько рационально используются энергетические ресурсы при получении энергии.

Таблица 15.4

Эффективность преобразования различных видов энергии

Вид преобразования энергии	Аппаратурное оформление	Эффективность преобразования (КПД), %
Химическая — тепловая	Дровяные печи	5–10
	Бытовой мазутный отопитель	65
	Бытовой газовый отопитель	85
	Промышленный паровой котел	88
Химическая — тепловая — механическая	Паровоз	8
	Автомобиль	25
	Газовая турбина	34
	Паровая турбина на ТЭС	37
	Дизельный двигатель	38
	Ракетный двигатель	47
Механическая — электрическая	Водяная электростанция	30
	Ветряная электростанция	30–40 (теоретически 50) До 98, наиболее часто 75–95
	Электрогенератор	
Электрическая — механическая	Бытовые электроприборы	62
	Промышленные электромоторы	92
Световая — электрическая	Солнечные батареи	10–30

Рассмотрим конкретный пример. Необходимо рассчитать количество природного газа для нагрева 1 м^3 воды от 0 до 100°C в случае, если нагрев осуществляется электронагревателем (КПД = 98%) и газовой горелкой (КПД = 62%).

Решение. Для нагрева 1 м^3 воды от 0 до 100°C необходимо затратить

$$Q_T = V \cdot C \cdot T = 1000 \cdot 1 \cdot 100 = 10^5 \text{ ккал,}$$

где Q_T — количество тепловой энергии, ккал; V — объем воды, м^3 ; $C = 1 \text{ ккал}/(\text{моль} \cdot \text{град.})$ — теплоемкость воды; T — разность температур.

Так как КПД электронагревателя равен 98%, то затраты электрической энергии составят

$$Q_э = \frac{10^5}{98} \cdot 100 = 1,02 \cdot 10^5 \text{ ккал.}$$

Общий КПД электростанции, работающей на природном газе, составит:

$$\text{КПД}_{\text{общ.}} = 0,37 \cdot 0,98 \cdot 100\% = 36\%,$$

поэтому потребность в тепловой энергии, образующейся при сжигании природного газа на ТЭС, будет:

$$Q_{\text{общ.}} = \frac{1,02 \cdot 10^5}{36} \cdot 100 = 2,83 \cdot 10^5 \text{ ккал.}$$

Принимая теплотворную способность природного газа, равной 9000 ккал/м³, определим потребность в природном газе:

$$V_{\text{Г}} = \frac{2,83 \cdot 10^5 \text{ ккал}}{9000(\text{ккал}/\text{м}^3)} = 31,4 \text{ м}^3.$$

В случае непосредственного нагрева воды газовой горелкой потребность в тепловой энергии составит

$$Q_{\text{т}} = \frac{10^5 \text{ ккал}}{62} \cdot 100 = 1,61 \cdot 10^5 \text{ ккал.}$$

Расход природного газа, имеющего ту же теплотворную способность, равен:

$$V = \frac{1,16 \cdot 10^5 \text{ ккал}}{9000 \text{ ккал}/\text{м}^3} = 12,9 \text{ м}^3.$$

Таким образом, использование электроэнергии в качестве промежуточного звена в цепи преобразования энергии ископаемого топлива далеко не всегда является оправданным с точки зрения экономии топливно-энергетических ресурсов.

Энергоэффективные технологии в настоящее время совершенствуются так быстро, что удельные потребности в энергии снижаются год от года. Современная компактная флуоресцентная лампа может обеспечить то же количество света, что и лампа накаливания, при сокращении потребления энергии в четыре раза. Значительное сокращение потребления энергии в коммунальном хозяйстве достигается за счет оборудования зданий современными трехслойными окнами и регулируемыми устройствами тепла в жилых и служебных помещениях.

Большие успехи достигнуты в экономии бензина в современных автомобилях — расход составляет 1 л топлива на 30–70 км.

Согласно некоторым подсчетам, в результате повышения эффективности использования энергии ее общее мировое потребление может оставаться на современном уровне и даже сокращаться без уменьшения производительности труда и комфортности жизни. При этом необходимо

помнить, что всякое сокращение использования первичных энергетических ресурсов ведет к уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, в том числе «парниковых» газов, и «теплового загрязнения» околоземного пространства.

Энергосбережение на сегодняшний день является самым эффективным, дешевым и экологически обоснованным средством для решения энергетических проблем, особенно в РФ (в связи с нерациональным использованием ископаемого топлива).

15.5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ

В последние годы проблемы влияния производства энергии на окружающую среду широко обсуждаются на различных уровнях во всех странах мира [39]. На основании многочисленных дискуссий, проводимых по этому вопросу, было сделано три основных вывода:

- 1) все способы получения энергии представляют потенциальную опасность как для окружающей среды, так и для здоровья человека;
- 2) нет ни одного абсолютно безопасного для окружающей среды способа получения энергии;
- 3) имеющиеся данные о степени загрязнения дают возможность предсказать последствия все возрастающего объема производства энергии для окружающей среды.

Рассмотрим более подробно процессы, приводящие к загрязнению окружающей среды, при производстве энергии на ТЭС и АЭС.

Загрязнение атмосферы

Основными загрязнителями атмосферы на ТЭС являются диоксид серы, оксиды азота, соединения фтора и твердые частицы угольной золы и несгоревшего топлива. Содержание серы, азота и золы в энергетических углях представлены в табл. 15.5.

Оксиды серы. Соединения серы могут присутствовать в твердом топливе в виде включений сульфида железа (FeS), серы, входящей в состав молекул органической массы топлива, или в виде сульфатов (обычно CaSO_4). При сгорании топлива в топках ТЭС сульфидная сера и сера, содержащаяся в органических соединениях, переходят в SO_2 и частично в SO_3 , выделяющиеся вместе с отходящими газами.

Различные топлива существенно отличаются по содержанию серы. Наибольшую сернистость имеют топлива Европейской части РФ. Сибирские угли имеют, как правило, небольшую, а угли Экибастузского и Карагандинского бассейнов — умеренную сернистость.

Соединения серы входят и в состав жидкого топлива — мазута, частично сжигаемого на ТЭС. Среди мазутов повышенную сернистость имеют мазуты, полученные из нефти Татарии и Башкирии. Мазуты,

Таблица 15.5

Содержание серы, азота и золы в энергетических углях

Угли	Теплота сгорания, МДж/кг	Содержание, % (масс.)			Удельные выбросы, г/(кВт·ч)		
		Зола	Сера	Азот	Зола	SO ₂	NO _x
Подмосковный бурый	10,4	25,2	2,7	0,6	242	53,9	2,15
Донецкий каменный	24,2	23,8	2,8	0,9	97	21,6	2,8
Кузнецкий каменный	22,6	18,9	0,4	1,5	82	3,5	3,7
Канско-Ачинский бурый	15,7	4,7	0,2–0,4	0,6	29	2,6	1,5
Экибастузский каменный	12,1	45	0,8	0,8	250–420	11,5	3,6

получаемые из нефти сибирских месторождений, имеют умеренную сернистость.

Учитывая, что развитие энергетики будет происходить в ближайшие десятилетия за счет топлива сибирских месторождений, следует ожидать некоторого уменьшения среднего содержания серы в общем балансе топлива, сжигаемого в стране. Но эта благоприятная перспектива отнюдь не снимает вопроса уменьшения выбросов оксидов серы действующих и строящихся ТЭС. Их снижение является чрезвычайно важной задачей.

Известно два различных направления уменьшения выбросов соединений серы в атмосферу — это очистка органического топлива или очистка дымовых газов, образующихся при его сжигании. В результате обогащения угля удаляется только сульфидная сера, поэтому эти процессы эффективны для углей, содержащих большую часть серы в виде FeS.

Известны и химические методы удаления серы из топлива, например может быть использован гидротермический метод. В этом случае измельченное топливо обрабатывают в автоклавах при давлении 1,75 МПа и температуре около 300 °С щелочными растворами, содержащими гидроксиды натрия и калия. При этом из угля удаляется до 70% серы, связанной в органические соединения, и до 99% сульфидной серы. Образующийся раствор сульфидов натрия и калия обрабатывают углекислым газом. Из выделяющегося при этом сероводорода можно получить элементарную серу.

В последние годы все шире исследуются возможности *микробиологических* методов удаления серы из ископаемого топлива. В основе

этих процессов лежит способность некоторых бактерий перерабатывать сульфидную серу, содержащуюся в топливе. При этом ее содержание может быть снижено до 90%. К недостаткам этого метода следует отнести низкую скорость процесса в обычных условиях — период инкубации и удаления серы занимает примерно 25 суток.

Наиболее перспективное решение задачи очистки от серы угля и других видов топлива в настоящее время связывают с развитием *процессов газификации*. Для газификации твердого топлива чаще всего используют воздух или водяной пар. Часть углеродного топлива в процессе газификации сгорает до углекислого газа, остальное количество выделяется в виде СО и СН₄ и частично остается в образующихся смолах и маслах. Соединения серы при этом выделяются в газовую фазу в виде сероводорода и могут быть извлечены из газового потока и переработаны в элементарную серу. В процессе газификации может быть выделено до 95% серы от общего ее содержания в угле.

Однако необходимо четко представлять себе, что при газификации только 50% энергии, сконцентрированной в твердом топливе, переходит в образующийся газ. И даже если учитывать теплоту сгорания побочных продуктов процесса газификации, то тепловой КПД всего процесса составит примерно 70%. *Около 30% энергии даже в самом лучшем случае будет потеряно.*

Другой путь предотвращения попадания соединений серы в окружающую среду связан с *очисткой отходящих газов*. Практически все внедренные в промышленность способы очистки дымовых газов ТЭС от оксидов серы являются вариантами известкового или известнякового методов очистки (см. гл. 4).

Оксиды азота. Помимо диоксида серы, серьезнейшую опасность для окружающей среды представляют оксиды азота, выбрасываемые с дымовыми газами ТЭС. Оксиды азота образуются за счет окисления азота воздуха и азота, содержащегося в топливе. Поэтому оксиды азота содержатся в отходящих газах всех ТЭС независимо от природы используемого топлива.

В топочной камере образуется в основном оксид азота (NO). На его долю приходится около 95% от общего количества оксидов азота, образующихся в топках ТЭС. Это в значительной степени затрудняет процесс очистки дымовых газов от оксидов азота, поскольку оксид азота не является солеобразующим оксидом и растворимость его в воде невелика. Поэтому при использовании абсорбционных методов очистки отходящих газов ТЭС необходимо предварительно перевести NO в NO₂. Известны и другие методы очистки отходящих газов от оксидов азота и методы, препятствующие их образованию посредством адсорбции и восстановления (см. гл. 4). На практике для уменьшения образования оксидов азота в процессе горения наиболее часто используются следующие приемы:

- рецикл дымовых газов;
- организация двухстадийного горения;
- снижение расхода воздуха;
- подача воды или пара в зону горения.

Использование этих приемов влияет на температуру и концентрацию кислорода в газовом потоке, уменьшает вероятность протекания реакции окисления азота и, следовательно, уменьшает концентрацию оксидов азота в отходящих газах.

Особенно значительных успехов по снижению концентрации оксидов азота достигают при комплексном использовании перечисленных приемов (табл. 15.6).

Таблица 15.6

**Концентрации оксидов азота в отходящих газах
тепловых электростанций при различных процессах
горения, %**

Приемы регулирования процессов горения	Вид топлива		
	Природный газ	Мазут	Уголь
Уменьшение расхода воздуха	33	33	25
Двухстадийное горение	50	40	35
Двухстадийное горение и уменьшение расхода воздуха	90	73	60
Рециркуляция дымовых газов	33	33	33
Рециркуляция и уменьшение расхода воздуха	80	70	55
Добавление воды в зону горения	10	10	10

Значительного уменьшения выбросов оксидов азота можно добиться при сжигании угля в кипящем слое. В этом случае, как мы отмечали ранее, возможно также уменьшение выбросов оксидов серы в атмосферу.

В случае неполного сгорания топлива в топках могут образовываться оксид углерода (СО), углеводороды (СН₄, С₂Н₄ и др.), а также высокотоксичные канцерогенные полициклические ароматические вещества (ПАУ) и наиболее активное из них — бенз(а)пирен. Максимальное количество последнего образуется при температуре 700–800 °С в условиях нехватки воздуха для полного сгорания топлива. Таким образом, *главным средством борьбы с загрязнением атмосферного воздуха канцерогенными углеводородами является обеспечение максимальной полноты сгорания топлива.*

Соединения фтора. Отходящие газы ТЭС являются серьезным источником загрязнения атмосферы соединениями фтора. Присутствующий в углях фтор в процессе горения переходит во фтороводород и четырехфтористый кремний, которые являются основными фторсодержащими соединениями в дымовых газах.

Общее количество фтора, ежегодно выбрасываемого в окружающую среду, составляет примерно 180 тыс тонн. Это, безусловно, значительно меньше, чем масса выбросов оксидов серы или азота, однако фтористый водород более токсичен, чем SO_2 или NO_x . Среднесуточная предельно допустимая концентрация фтористого водорода в атмосфере составляет всего $0,005 \text{ мг/м}^3$, т. е. в 10 раз ниже аналогичного значения для диоксида серы и в 17 раз ниже, чем ПДК для NO_x .

До настоящего времени специальных методов очистки дымовых газов ТЭС от фтористого водорода *не разработано*. Хотя, конечно, использование абсорбционных методов очистки газов ТЭС от оксидов серы и азота позволяет значительно уменьшить и количество фтористых соединений, выбрасываемых с отходящими газами. Однако данные по эффективности такой очистки в отношении фтористых соединений практически отсутствуют.

Угольная зола. В состав углей входит множество микропримесей химических элементов, многие из которых токсичны. При сгорании топлива эти элементы в виде оксидов или солей переходят в негоревшую неорганическую часть углей — *угольную летучую золу*. Возможное поступление угольной золы вместе с отходящими газами в атмосферу представляет серьезную опасность для окружающей среды, поскольку в результате биологического накопления и последующего сжигания концентрация токсичных элементов в золе значительно превосходит их содержание в земной коре (табл. 15.7). Поэтому в настоящее время все ТЭС, работающие на твердом топливе, снабжены устройствами для улавливания золы из дымовых газов.

Таблица 15.7

Среднее содержание некоторых токсичных компонентов в земной коре и угольной золе, г/т

Элемент	Земная кора	Угольная зола	Элемент	Земная кора	Угольная зола
B	3	600	Co	18	300
Ge	7	100	Be	6	300
As	1,7	500	Pb	16	100
U	2,5	400	Ca	0,13	5
V	150	2800	Ni	58	700

Радиоактивное загрязнение окружающей среды

Анализ многолетней работы атомных электростанций свидетельствует о том, что благодаря многоступенчатым системам защиты практически

полностью исключены выбросы радиоактивных веществ в окружающую среду. Необходимо также отметить, что радиационное воздействие на окружающую среду при нормальной эксплуатации АЭС значительно ниже, чем у ТЭС, работающих на угле. Это связано с тем, что, как уже отмечалось, концентрация ряда элементов, в том числе радиоактивных, в образующейся угольной золе значительно превосходит их содержание в литосфере. Но и эта доза излучения оказывается значительно ниже естественного радиационного фона Земли (табл. 15.8). Оценки показывают, что вклад ядерной энергетики в общую дозу облучения человека не превысит 1% даже при 40-кратном увеличении мощности ядерной энергетики.

Таблица 15.8

Сравнительные дозы возможного облучения человека от различных источников

Источники облучения	Доза облучения, мбэр/год	Источники облучения	Доза облучения, мбэр/год
Естественный фон	110	Медицинская рентгенодиагностика	72
Строительные материалы	60	Глобальные выпадения радиоактивных веществ	2
Часы со светосоставом	1	Космические излучения при полетах на самолетах	До 0,5
ТЭС	$4 \cdot 10^{-3}$ мин	АЭС	10^{-4} мин

Одной из серьезных проблем взаимодействия с окружающей средой при работе АЭС является переработка высокоактивного отработанного топлива. Безусловно, высокоактивные продукты деления, содержащиеся в ТВЭЛах, могут представлять серьезную опасность для окружающей среды и человека. Однако необходимо учитывать, что отработанные ТВЭЛы должным образом хранятся и находятся под строгим учетом. Это — *контролируемая активность*, попадания которой в окружающую среду можно избежать, что и подтверждается многолетним нашим и международным опытом.

15.6. ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И КИОТСКИЙ ПРОТОКОЛ

Климат меняется на наших глазах. Особенно резко это сказывается в Северном полушарии, где наблюдается активное таяние ледников даже в Северном Ледовитом океане. Изменение среднегодовой температуры (аномалии) приземного воздуха с 1886 по 2007 г. в РФ представлено на рис. 15.17. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961–1990 гг. Кривая линия соответствует 11-летнему скользящему усреднению. Прямой линией показан линейный тренд за 1976–2007 гг.

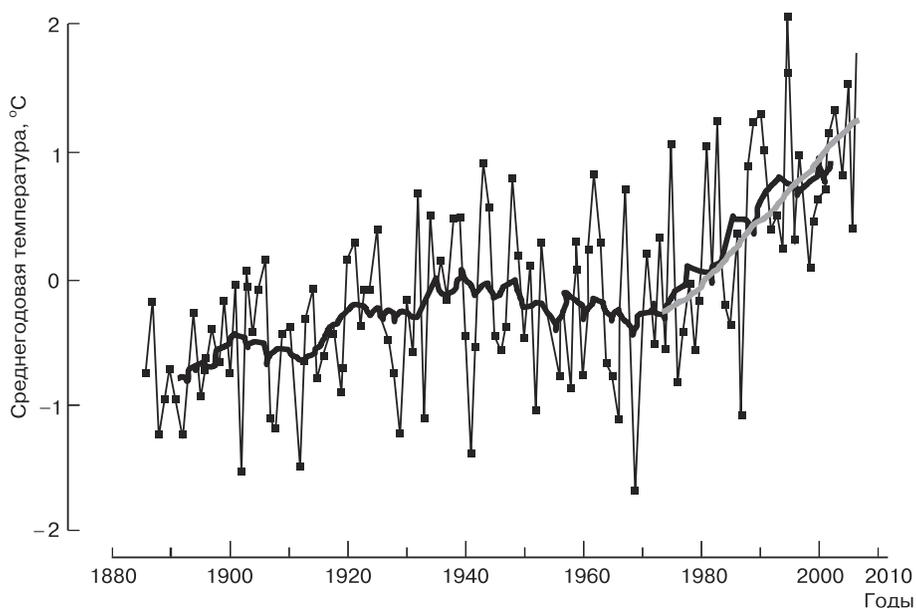


Рис. 15.17. Аномалия среднегодовой (январь–декабрь) температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$), усредненной по территории РФ за 1886–2007 гг.

Такие же изменения наблюдаются и в других регионах, что побудило мировое сообщество в 1992 г. принять «Рамочную Конвенцию об изменении климата», вступившую в силу в 1994 г. после ратификации большинством подписавших стран, включая и РФ.

На Третьей конференции об изменении климата в 1997 г. в г. Киото (древняя столица Японии) был принят заключительный протокол, который предусматривает общее сокращение выбросов «парниковых» газов в атмосферу на 5,2%. В соответствии с Киотским протоколом к 2008–2012 гг. страны Европейского союза сокращают выбросы «парниковых» газов на 8%, США на 7% (подписав соглашение, они отказались его ратифицировать) и Япония на 6% от уровня 1990 г. Установлены потолки и для других промышленно развитых государств. РФ разрешено к 2012 г. сохранить выбросы на уровне 1990 г. Россия ратифицировала конвенцию в 2004 г., и с этого времени она заработала. За превышение выбросов сверх разрешенных уровней установлены санкции. Неиспользованные квоты выбросов можно продать.

Особенность Киотского протокола и его значение в том, что он впервые предложил экономические механизмы по обеспечению энергоэффективности и энергосбережению и стимулировал разработку альтернативных методов получения энергии.

Для расчета эмиссии углекислого газа были обоснованы и приняты национальные коэффициенты эмиссии, для РФ они представлены в табл. 15.9.

Таблица 15.9

Коэффициенты эмиссии CO₂ для РФ

Вид топлива	Коэффициенты эмиссии	
	тонна CO ₂ /тонна усл.т.	тонна С/ТДж
Твердое топливо	2,76	25,68
Газообразное топливо	1,62	15,07
Мазут	2,28	21,22

Указанные в табл. 15.9 значения коэффициента эмиссии для твердого топлива получены с учетом структуры топливного баланса отрасли и средних характеристик наиболее значимых видов топлива. Кроме того, учтены данные по неполному сгоранию для различных видов угля при сжигании в котельных установках различной мощности, в том числе и в котлах малой производительности. Эти данные охватывают весь диапазон используемого в России котельного оборудования, поэтому приведенные коэффициенты должны быть рекомендованы для использования во всех отраслях промышленности для расчета эмиссии от установок, сжигающих органическое топливо.

Вопрос о решающем влиянии «парниковых газов» на изменение климата является спорным. На чем, собственно, базируется Киотский протокол? Анализ данных изменения концентрации CO₂ и CH₄, а также и температуры за последние 400–650 тыс. лет (рис. 15.18–15.19) показал, что они периодически изменялись в широ-

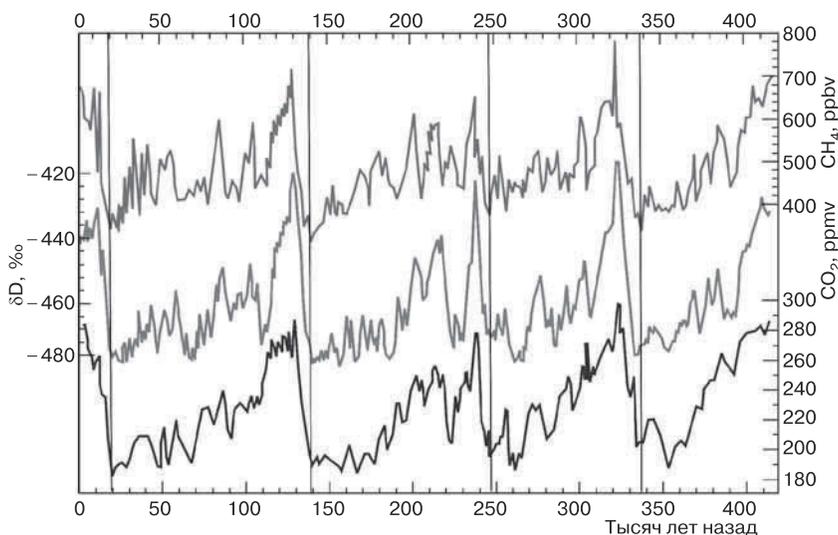


Рис. 15.18. Динамика изменения содержания CO₂ и CH₄ за последние 400 тыс. лет: D — концентрация дейтерия, промилле

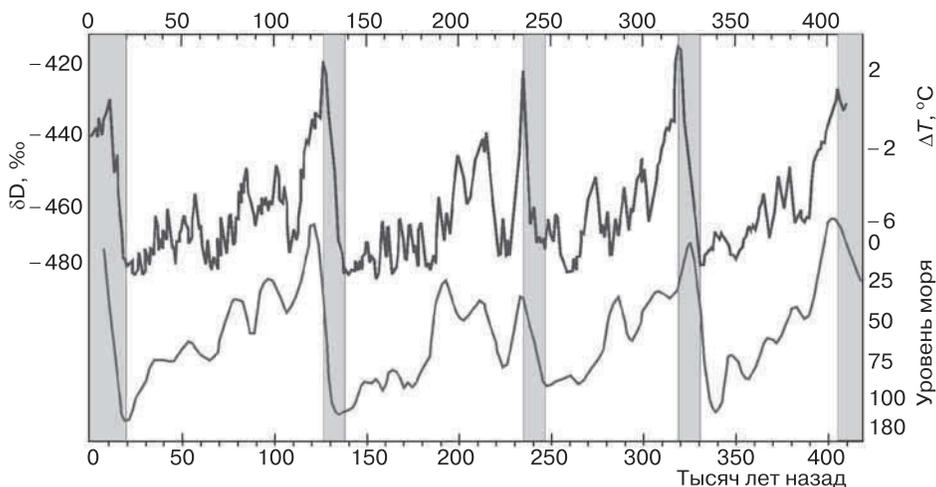


Рис. 15.19. Динамика изменения температуры и уровня Мирового океана за последние 400 тыс. лет: последние пять тепловых межледниковых периодов показаны серыми полосами

ких пределах под влиянием природных (космических) причин, поскольку менялась орбита Земли и наклон ее оси вращения, а следовательно, и количество энергии, поступающей на Землю от Солнца. К тому же было отмечено, что повышению концентрации «парниковых газов» часто предшествовало повышение температуры, а не наоборот. И это находит логичное объяснение в выделении газов при повышении температуры Мирового океана — главного резерва этих газов. Значительное изменение температуры происходило при извержении вулканов (рис. 15.20). Каждое извержение сопровождалось выбросом большого количества аэрозольных частиц в стратосферу, что приводило к охлаждению Земли на один–три года, но потом следовало потепление.

Поэтому, основная причина изменения климата — природная (космическая). Антропогенное влияние на климат составляет примерно 4–10%.

А какова основная польза от Киотского протокола? Прежде всего он стимулирует энергосбережение, а уменьшение выбросов «парниковых газов» сокращает выбросы и других, токсичных загрязнителей атмосферы, что, безусловно, идет на пользу людям и сохраняет их здоровье.

В декабре 2009 г. в Копенгагене состоялась 15-я конференция участниц Рамочной конвенции ООН об изменении климата, на которой планировалось выработать новое международное соглашение о сокращении выбросов парниковых газов на пост-Киотский период (2012–2020 гг.).

Конференция закончилась провалом в связи с непримиримой позицией между развивающимися странами (Китай, Индия, ЮАР и Брази-

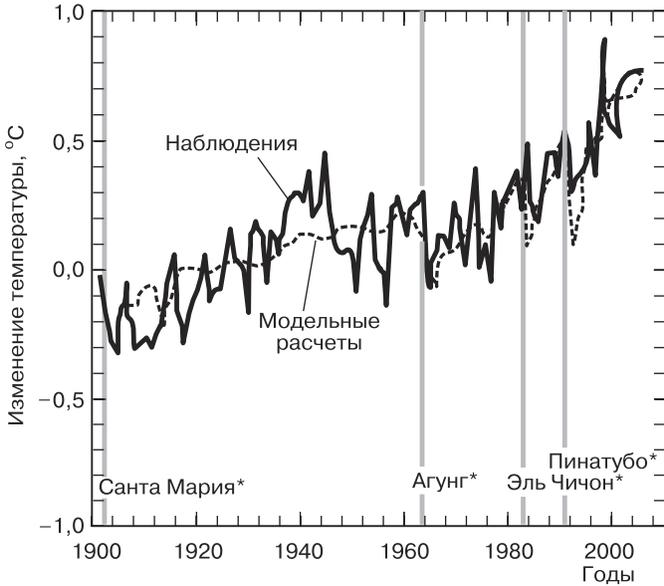


Рис. 15.20. Рост температуры приземного слоя атмосферы Земли за период 1900–2005 гг.: 0,7 °C за XX в.; * — извержение вулканов

лия) и развитыми странами (США, Евросоюз, Канада и др.), которые навязывали развивающимся непосильное для них бремя борьбы с выбросами парниковых газов, что значительно замедлило бы их экономический рост. Позиция развивающихся стран следующая: поскольку современная ситуация сложилась по вине развитых стран, они и должны брать основное бремя расходов на себя.

По мнению академика Н. П. Лаверова, «лицами, которые выступают с негативными прогнозами (катастрофических последствий глобального потепления от выбросов парниковых газов), движут коммерческие и политические интересы».

На конец 2009 г. мировые выбросы CO_2 распределялись следующим образом: Китай — 24%, США — 21%, ЕС — 12%, Индия и Россия — по 6%.

В ходе дискуссий на конференции страны высказали свои намерения снизить выбросы CO_2 , по сравнению с 1990 г.: Евросоюз — на 20%, Япония — на 17%, Австралия — на 5%. Следует отметить, что к этому времени Евросоюз планирует снизить потребление углеводородов на 20% за счет энергосбережения и на 20% — за счет перехода на альтернативные источники энергии. Выбросы CO_2 при осуществлении этих планов снизятся автоматически на величину до 40%. США брали обязательство снизить выбросы на 17% по отношению к 2005 г. (по отношению к 1990 г. это снижение составляет всего 2–3%). А вот к 2050 г. они обе-

щают снизить выбросы парниковых газов более чем на 80% (!) (к этому времени администрация в США сменится несколько раз). Китай также предложил снизить выбросы на 40–45%, но тоже по сравнению с 2005 г.

Россия предложила снизить выбросы CO_2 на 25%, но в связи с развалом экономики они и так уменьшились по сравнению с 1990 г. на 38% (т. е. фактически мы предложили не уменьшение выбросов, а их увеличение на 13%).

Провалу Копенгагенского саммита способствовало и опубликование в СМИ секретной переписки климатологов США и Великобритании, из которой становится ясно, что *температура на Земле не возрастает, а, наоборот, понижается*, как это видно из рис. 15.21. Эти данные сознательно искажались в пользу концепции всеобщего потепления по причине парниковых газов, в то время как нас ожидает похолодание.

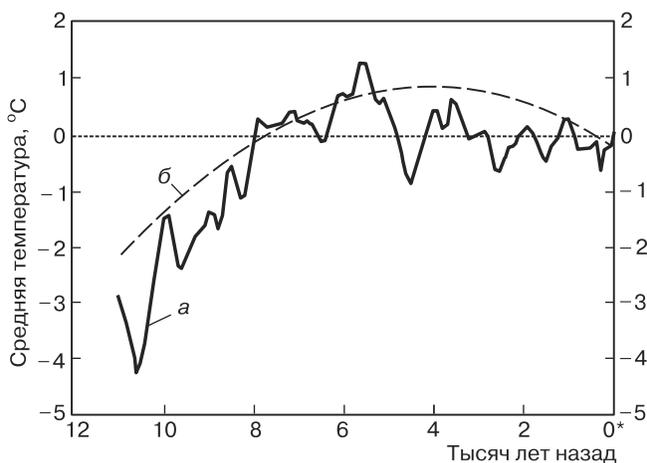


Рис. 15.21. Средняя температура Северного полушария в позднеледниковье — в голоцене (а) на фоне соответствующего отрезка аппроксимирующей кривой (б): 0* — 2000 г.

Серьезным фактором является также мнение наших и многих зарубежных климатологов, что доля влияния человека на климатические изменения остается трудноопределяемой и неясной. Значительная часть климатических изменений связана с глобальными долгосрочными трендами, и, что бы мы ни делали, скорее всего, изменения будут продолжаться в силу естественных причин.

15.7. ПРОБЛЕМА ТЕПЛООВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Локальное тепловое загрязнение окружающей среды. Основное количество тепловой энергии, поступающей в окружающую среду с ТЭС и ТЭЦ, выделяется на стадии конденсации пара и составляет

около 50–55% тепловой энергии, выделяемой при сгорании топлива. На АЭС эта величина еще больше и составляет для ВВЭР (водо-водяных реакторов) 65–68% от общей тепловой энергии, вырабатываемой в реакторе. В настоящее время наиболее распространенным хладагентом при конденсации пара на ТЭС и АЭС является вода системы технического водоснабжения (СТВС). При прямоточной СТВС теплота конденсации передается проточной воде рек или озер. При организации замкнутых СТВС тепло передается циркуляционной воде, охлаждаемой в замкнутых прудах-охладителях или градирнях.

При организации прямоточных СТВС во избежание необратимых экологических изменений в водоемах и в соответствии с санитарными нормами повышение температуры водоемов не должно превышать 5 °С в зимнее время и 3 °С летом. Эти нормы могут быть выдержаны, если удельная нагрузка на водоем не будет превышать 12–17 кДж/м³ сбрасываемой тепловой энергии. Это накладывает серьезные ограничения на возможности использования прямоточных СТВС, которые с экономической точки зрения являются самыми дешевыми. Анализ водного баланса Европейской части РФ показывает, что в данном районе возможности применения прямоточной СТВС практически исчерпаны.

При организации оборотной СТВС с охлаждением воды в градирнях практически все тепло, забираемое водой при конденсации пара, передается атмосферному воздуху. Однако в связи со значительным испарением воды в градирнях эти системы нуждаются в постоянной подпитке свежей водой. На АЭС, имеющих оборотные СТВС с градирнями, на каждые 1000 МВт мощности станции требуется 0,8–1,2 м³ воды каждую секунду. Помимо этого, недостаточно изучено влияние градирен на микроклимат и атмосферные явления.

Организация оборотных СТВС возможна и при естественном охлаждении воды в прудах-охладителях. В последнее время для этих целей на новых электростанциях широко используются акватории существующих водохранилищ комплексного назначения. При этом, в целях экономии земельных и водных ресурсов и предотвращения влияния сбросного тепла на гидробиологический режим водохранилища, используемая для охлаждения акватория отделяется от остального водохранилища ограждающей дамбой. В настоящее время в РФ около 80% действующих ТЭС и АЭС имеют оборотные СТВС, причем около 56% всех электростанций оборудованы системами с водохранилищами-охладителями, 22% оборудованы градирнями и только 22% электростанций имеют прямоточные СТВС.

Проводятся также работы по применению и совершенствованию воздушно-конденсационных установок охлаждения (ВКУ). Подобные установки используются, например, на Билибинской АЭС. При низких температурах окружающего воздуха ВКУ работает очень надежно, однако в летнее время при температуре воздуха выше 25–27 °С работа энерго-

блока с номинальной мощностью оказывается невозможной; именно это и высокая стоимость ВКУ сдерживают их широкое распространение.

Глобальное тепловое загрязнение, вызывающее нарушение устойчивости биосферы Земли. Особую роль в нарушении устойчивости биосферы играет непрерывный рост производства и потребления энергии, а любое ее использование в конечном итоге приводит к рассеиванию и появлению на поверхности Земли дополнительных источников тепла.

Загрязнение атмосферы, водной среды и поверхности суши различными токсичными веществами, безусловно, оказывает пагубное влияние на биосферу, но эти процессы более управляемы. Уже существующие технические средства позволяют решать большинство этих проблем. Вопрос состоит лишь в цене и времени. *Потерю же тепла и его рассеивание можно уменьшить, но избежать невозможно*, так как этому препятствуют законы природы.

Многолетние метеорологические наблюдения достоверно показывают, что на территориях, испытывающих большую антропогенную нагрузку, и в прилегающих к ним районах климатические и погодные условия за последние 100 лет изменились значительно. К тому же наблюдается рост опасных гидрометеорологических явлений (рис. 15.22).

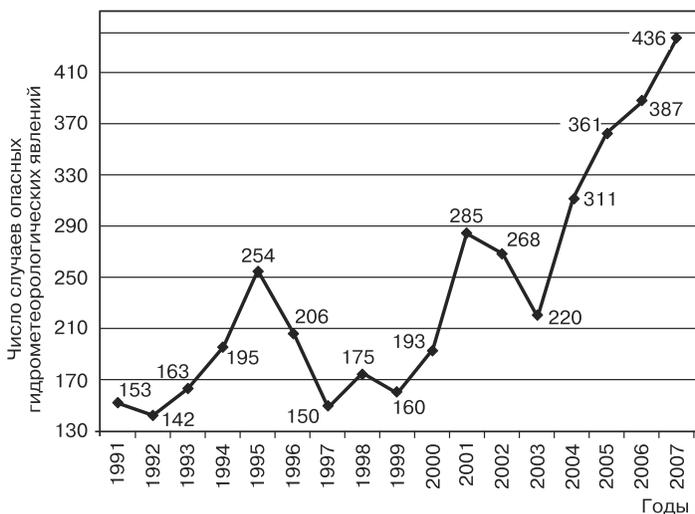


Рис. 15.22. Рост суммарного числа случаев опасных гидрометеорологических явлений за 1991–2007 гг.

Если рассмотрение глобального потепления только в качестве последствий антропогенной деятельности вызывает справедливые возражения, например, по геоклиматическим причинам, то *локальные изменения климата и погоды, безусловно, в большинстве случаев являются результатом техногенной нагрузки.*

Суммарная мощность всех антропогенных источников энергии в настоящее время составляет около 10^{10} кВт. Эта величина составляет ничтожную часть энергии, излучаемой Солнцем, и энергии движения и вращения Земли. Однако она уже сопоставима (0,1%) с энергией процессов, протекающих на планете, в атмосфере и океане, которые обуславливают разнообразие климата и погоды на земном шаре. Мощность потока солнечной энергии, достигающей земной поверхности, составляет около 10^{13} кВт.

Суммарная энергия всех крупномасштабных явлений на поверхности Земли (мощных циклонов, извергающихся вулканов, процессов глобального фотосинтеза), как правило, не превышает 1% от энергии солнечного излучения, попадающего на поверхность планеты. Выход энергии за это значение может привести к существенным аномалиям — резким климатическим отклонениям, переменам в характере растительности (и биоты в целом), крупным лесным и степным пожарам и т. д.

Прогноз развития мирового энергопотребления показывает, что уже к 2040 г. суммарная мощность антропогенных источников составит 1% от энергии Солнца, достигающей поверхности Земли, а *это уже чрезвычайно серьезным нарушением глобального экологического равновесия.*

Проблема усугубляется еще тем, что большая часть энергии производится путем сжигания ископаемого органического топлива (угля, нефти, газа) с образованием значительного количества «парниковых» газов (в основном CO_2), которые сами оказывают влияние на потепление.

Известно также, что мощности тепловых потоков, выделяемых промышленными и городскими агломерациями, уже влияют на локальное изменение циркуляции атмосферы, изменяя, в том числе, температуру воздуха и количество осадков.

В основном подобные явления со временем и расстоянием от источника затухают, а их энергия рассеивается. Но может вступить в действие и обратная связь. В этом случае возникает самоподдерживающаяся цепная реакция, и незначительное событие может послужить толчком, который, обладая **триггерным** эффектом, приведет в действие явления значительно большего, по сравнению с ним, масштаба. Так, многие климатологи считают, что потепление может приводить к учащению ураганов или, по крайней мере, к возрастанию их интенсивности. Таким образом, может создаться положительная обратная связь: возникновение урагана будет способствовать формированию новых ураганов. Имеются серьезные наблюдения в поддержку этого утверждения.

15.8. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РОССИЙСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Основная проблема российской энергетики на сегодняшний день — это *недопустимо высокий физический износ основных фондов.* В электроэнергетике доля физически изношенного оборудования превысила 50%, а в нефтепереработке — 80%. Продление срока службы агрегатов элек-

тростанций с расчетных 30 до сверхнормативных 50 лет за счет «латания дыр», без ввода новых компенсирующих мощностей приводит лишь к дорогостоящим ремонтным затратам и угрозе массового выхода оборудования из строя (печальный пример — Саяно-Шушенская ГРЭС).

Даже в сравнительно благополучной газовой промышленности через 5–10 лет наступит период одновременного истощения физического ресурса газопроводов страны, введенных в эксплуатацию еще в начале 60-х гг. прошлого века.

Другая серьезнейшая проблема — *необходимость структурной перестройки всего топливно-энергетического комплекса (ТЭК) страны*. Доля ТЭК в общем объеме продукции возросла с 24% в 1990 г. до 40% в 1998 г. и продолжает увеличиваться. Доля энергоносителей в экспортной части баланса достигла 46,5%, а в доходной части бюджета — примерно 40%. Можно и нужно говорить *о возросшей зависимости экономики России от состояния этой отрасли*.

В структуре потребления энергоресурсов России удельный вес газа вырос до 50%, а в котельно-печном топливе — до 68,3%. В таких промышленно развитых регионах России, как в Поволжском, Центральном, Северо-Кавказском и Северо-Западном, за счет сокращения использования мазута и угля в 2 раза доля газа в котельно-печном топливе достигла 77–83%. В Москве этот показатель уже превышает 95%.

По соображениям устойчивости снабжения топливом и энергетической безопасности дальнейшая ориентация на опережающий рост газопотребления является рискованной мерой. Любой сбой в работе газовой отрасли может привести в конечном итоге к энергетическому кризису и нарушению безопасности страны. Покрыть все потребности России в топливе только за счет поставок газа невозможно. Необходимо привлекать к широкому использованию и другие виды топливно-энергетических ресурсов.

В США, Италии, Канаде и Англии доля газа в потреблении первичных топливно-энергетических ресурсов не превышает 30%, а во Франции и Германии — даже ниже 20%. В этих странах имеются возможности практического увеличения газопотребления, но они сдерживаются на государственном уровне с целью обеспечения надежности энергопотребления и снижения риска возникновения энергетического кризиса.

Все это сложилось потому, что соотношение цен на газ, мазут и уголь в России не соответствует реальной стоимости энергоресурсов и действующему соотношению таких цен за рубежом. Цены на газ на внутреннем рынке (в расчете на 1 условную тонну¹⁾) ниже цен на мазут в 3 раза, угля — в 1,6 раза, и в 8–12 раз ниже, чем в странах Европы и Америки.

¹⁾ За единицу условного топлива (у.т.) принята теплотворная способность 1 кг каменного угля, равная 7000 ккал или 29,3 МДж.

Немаловажной причиной перехода энергетики на газ в европейской части страны (особенно в Москве) послужили и экологические соображения. Как уже отмечалось, загрязнение атмосферы при использовании газа составляет 1%, а мазута — 10% от выброса токсичных веществ в атмосферу при сжигании угля. В ближайшие десятилетия наша энергетика, кроме очевидной структурной перестройки и ускоренного ввода новых мощностей, должна уделить особое внимание повышению эффективности использования первичных энергетических ресурсов и экологическим последствиям, прежде всего, при использовании угля.

Освоение новых эффективных технологий сжигания топлива является основной стратегической задачей, от решения которой в значительной мере зависит экономичность, экологическая чистота и надежность функционирования ТЭК.

Уже сейчас в России имеются энергоблоки сверхкритических параметров пара (24 МПа и 540 °С), достаточно надежно работающие и обеспечивающие КПД порядка 37–38% при сжигании угля и 39–40% при использовании газа.

Разрабатываются блоки мощностью 300 МВт и более с эффективностью 43–45%. Повышение давления пара с 24–25 до 30–32 МПа и температуры его перегрева с 540 до 580–620 °С дает снижение расхода топлива на 4–6%. В настоящее время на получение 1 кВт·ч электрической энергии расходуется около 490 г у.т.

Сейчас на ТЭС в промышленно развитых странах мира КПД современных энергоблоков на угле достигает 43%, планируется его дальнейшее повышение до 47–48%, в том числе за счет дальнейшего повышения параметров пара.

Весьма перспективны газотурбинные когенерационные технологии, позволяющие повысить эффективность использования газа до 80% при расходе 200 г у.т./кВт·ч).

Для удовлетворения экологических требований должны применяться технологические методы, снижающие образование оксидов азота до 200–250 мг/м³ при сжигании бурых углей, до 300–400 мг/м³ — каменных, до 500–600 мг/м³ — тощих, с жидким шлакоудалением. Эти блоки должны быть оснащены высокоэффективными электрофильтрами с КПД = 99,5%, а при необходимости — системой удаления оксидов серы и азота.

В связи с тем что ТЭС, расположенные в европейской части России, потребляют от 77 до 79,5% природного газа, поставляемого в энергетику, при замещении газа твердым топливом в этом регионе особенно остро встанут экологические, экономические и технические вопросы.

Анализ коэффициентов эмиссии CO₂ показывает, что при переходе ТЭС на сжигание твердого топлива вместо природного газа эмиссия углекислого газа увеличивается в 1,7 раза. Таким образом, при

замещении 15 млн м³ (около 18,5 млн тонн у.т.) природного газа углем эмиссия CO₂ увеличивается приблизительно на 30 млн тонн CO₂ в год. При стоимости предотвращения выброса одной тонны CO₂ на уровне 20 долл., стоимость такого выброса составит порядка 600 млн долл./год.

Переход российской энергетики на устойчивый путь развития (в соответствии с велением времени) особенно усложняется необходимостью одновременно решать далеко не простые задачи по разработке и внедрению новых ресурсосберегающих технологий с переориентацией энергетики на более широкое использование возобновляемых природных ресурсов.

Энергетический кризис (нехватка первичных энергоресурсов) миру не грозит, тем более России. «На Земле нет недостатка в энергии. Высокоэффективное использование менее загрязняющих и не исчерпывающих своей базы источников не только возможно, но и выгодно для удовлетворения нужд человека» [40]. И как писал академик Е. К. Федоров, «в ходе технического прогресса человечество в целом не только никогда не испытывало недостатка в энергетических ресурсах, но всегда находило новые, часто принципиально новые способы получения энергии, задолго до того, когда могли возникнуть ограничения, связанные с истощением известных ресурсов. . . И вместе с тем проблема энергии может, с нашей точки зрения, создать серьезные трудности, а может быть, и поставить границы для развития человечества на Земле. *Не нехватка, а избыток энергии*, расходуемой на планете, может привести к такой ситуации» [41].

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите основные экологические проблемы энергетики, использующей органическое топливо.
2. Какие особо перспективные альтернативные виды энергии вы знаете?
3. Назовите достоинства и недостатки водородной энергетики.
4. В чем заключаются достоинства и недостатки солнечной энергетики?
5. Каковы экологические проблемы гидроэнергетики?
6. Перечислите достоинства и недостатки атомной энергетики.
7. Что опаснее: недостаток или избыток энергии и почему?
8. Каковы пути уменьшения образования «парниковых» газов в энергетике?
9. Как влияет на загрязнение окружающей среды переход от газа на уголь, и наоборот?
10. В чем суть и опасность «теплового загрязнения»?
11. Как энергетика влияет на изменение климата?
12. Каковы основные причины изменения климата?

13. Перечислите плюсы и минусы потепления на планете для России.
14. В чем суть Киотского протокола?
15. Назовите плюсы и минусы Киотского протокола для России.
16. Каковы перспективы обеспечения населения Земли энергоресурсами?
17. Каковы пути совершенствования энергетики России?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главной проблемой современного общества в начале XXI в., и в предыдущем, являются масштаб и характер использования природных ресурсов и деградация окружающей среды, оказывающие пагубное влияние на здоровье людей и на биосферу в целом. Современное общество слишком расточительно использует природные ресурсы, производя массу потребительских товаров с коротким сроком службы и большим количеством отходов, существенно загрязняющих окружающую среду. Только путем решения сложнейших эколого-экономических, социальных, морально-этических, а также технических и технологических проблем человечество достигнет *устойчивого развития*.

Человечество выстрадало путь к устойчивому развитию. В последние десятилетия люди начали осознавать, что в мире, где так много нужды и где природная среда стремительно ухудшается, невозможны здоровое общество и разумное развитие. Мировое хозяйство не может выйти на безопасный путь развития, не сократив социальный диспаритет и не прекратив активно и бездумно разрушать окружающую среду. Задача ближайших лет состоит в том, чтобы перевести это понимание в конкретные дела и совершить, наконец, переход к устойчивым формам развития производства и рациональному образу жизни.

Весьма популярный лозунг среди *инвайронменталистов* (лиц, занимающихся вопросами охраны природы и рационального использования природных ресурсов) «*думай глобально, а действуй локально*» хорош, но очень и очень труден в реализации. Человек всегда находит множество причин, оправдывающих его поведение и его точку зрения на то, что сиюминутные нужды важнее будущих неприятностей. (Наглядным тому примером является катастрофа на Саяно-Шушенской ГЭС.) К тому же он всегда допускает возможность их устранения само собой. К сожалению, это не так. Решить проблему устойчивого развития можно только сообща и только при активном участии каждого из нас. А самыми сложными из всех проблем есть и будут этические проблемы выбора приоритетов в соответствии со своими сугубо личными представлениями о добре и зле, полезном и вредном, допустимом и недопустимом ни при каких обстоятельствах.

Особая сложность технических проблем заключается в том, что еще длительное время будут функционировать, а в ряде случаев и увеличивать производственные мощности предприятия, построенные без учета экологических требований или с недостаточным их учетом. Прекратить

деятельность этих предприятий не представляется возможным, а их перевод на работу по замкнутому циклу сопряжен со значительными трудностями и необходимостью вложения больших средств на реконструкцию. Для выхода из такого положения необходимо доводить отходы, образующиеся на предприятиях, до уровня товарной продукции или использовать в качестве сырья в своем производстве либо в других отраслях.

Одной из проблем является ситуация с цветными металлами. Сроки исчерпания их запасов (без рецикла) оцениваются десятками лет, кроме алюминия и титана. *По суммарному общетоксическому воздействию на окружающую среду они занимают первое место.* Первое место они имеют и по удельному энергопотреблению, и по тепловому загрязнению. Рекордсменами здесь являются титан ($130,18 \cdot 10^9$ Дж/т) и алюминий ($93,27 \cdot 10^9$ Дж/т). К великому сожалению, *тепловому загрязнению до сих пор не уделяется должного внимания.*

Таким образом, генеральным направлением развития промышленного производства в настоящее время являются: коренная реконструкция старых предприятий и строительство новых, работающих по принципу безотходного (чистого) производства, создание управляемого техногенного кругооборота веществ в рамках регионов и территориально-производственных комплексов, а в перспективе — переход всего промышленного производства на безотходный (чистый) способ производства с целью организации (или точнее поддержания) устойчивого функционирования биосферы.

СПОРНЫЕ И НЕРЕШЕННЫЕ ВОПРОСЫ

В настоящее время имеются технические и технологические возможности для решения большинства экологических и ресурсных проблем, дело за экономическими возможностями и приоритетами общества. Однако имеется и целый ряд спорных и нерешенных вопросов, к решению которых приглашаются студенты, инженеры, магистры, аспиранты и все, кто интересуется этими проблемами.

1. Концепция устойчивого развития, социально приемлемая для всех категорий граждан.
2. Морально-этические методы стимулирования природоохранной деятельности и деятельности по устойчивому развитию.
3. Количественная оценка изменений в окружающей среде (желательно суммарная) и их взаимосвязь с хозяйственной деятельностью.
4. Количественная оценка влияния загрязнения окружающей среды на здоровье населения.
5. Определение допустимых экологических нагрузок и соответствующего ограничения антропогенного воздействия на окружающую среду региона с учетом совокупности вредного влияния различных факторов, а также возможных экологических, экономических и социальных последствий.
6. Экономичные и социально приемлемые методы уменьшения антропогенного вклада в биогеохимический круговорот веществ.
7. Создание эффективных механизмов совмещения техногенного и биогеохимического круговоротов веществ на разных уровнях (регион, страна, планета Земля).
8. Принципы эколого-экономической оценки различных форм природопользования и критерии определения их эффективности.
9. Концепция, альтернативная концепции безотходного, или чистого, производства
10. Количественная оценка степени безотходности производств с учетом использования энергии.
11. Эффективные методы переработки концентрированных растворов солей (рассолов, рапы).
12. Эффективные методы переработки и обезвреживания бытовых и токсичных отходов.
13. Эффективные и социально приемлемые решения экологических проблем, возникающих при работе автотранспорта.

14. Эффективные и социально приемлемые методы стимулирования рационального использования воды и энергии в быту.
15. Пути организации широкомасштабного использования отходов горно-добывающих и перерабатывающих отраслей в производстве строительных материалов.
16. Использование различных золошлаковых отходов ТЭС и МСЗ в производстве строительных материалов.
17. Регенерация строительных материалов (цементов, железобетонных изделий и т. д.) при реконструкции или разрушении зданий.
18. Бескислотная физико-химическая обработка фосфоритов для использования их в качестве удобрений.
19. Эффективные методы получения бесфторных удобрений и кормовых фосфатов.
20. Производство серной кислоты или серы из газов, разбавленных по SO_2 .
21. Разработка экономически и экологически эффективной технологии получения бесхлорных калийных соединений, в том числе удобрений.
22. Разработка промышленных биохимических методов получения соединений азота.
23. Разработка безотходной технологической схемы получения кальцинированной соды из хлористого натрия.
24. Эффективные методы глубокой переработки нефтяного сырья и нефтеотходов.
25. Реконструкция действующих и строительство новых мало- и безотходных (чистых) нефтеперерабатывающих заводов.
26. Разработка высококачественных и экономичных методов очистки сточных вод нефтепереработки.
27. Безотходное коксохимическое производство.
28. Повышение эффективности работы коксовых установок.
29. Сероочистка коксового газа.
30. Разработка высококачественных и экономичных методов очистки сточных вод и пылегазовых выбросов в коксохимическом производстве.
31. Разработка и внедрение новых технологических процессов в черной металлургии, в первую очередь бескоксовых методов получения железа.
32. Рациональное и комплексное использование отходов черной металлургии, главным образом, за счет комбинирования и кооперации производств.
33. Повышение степени полезного использования топлива в черной металлургии за счет утилизации вторичных энергетических ресурсов или другими путями.
34. Совершенствование методов испарительного охлаждения в черной металлургии и использования образующегося при этом пара.

35. Эффективное обогащение руд цветных металлов.
36. Дальнейшее совершенствование автогенных процессов.
37. Разработка бесфторных методов получения алюминия.
38. Разработка и внедрение новых экстракционно-сорбционных процессов в цветной металлургии.
39. Утилизация шламов и шлаков цветной металлургии.
40. Разработка и внедрение экономичных замкнутых систем водоснабжения.
41. Создание безотходного гальванического производства.
42. Составление энергетических балансов различных эколого-экономических систем.
43. Совершенствование систем подготовки и сжигания топлива с целью повышения эффективности его использования и уменьшения выделения оксидов серы и азота в атмосферу.
44. Разработка способов уменьшения теплового загрязнения.
45. Повышение эффективности солнечных батарей.
46. Эффективные методы получения энергии из биомассы.
47. Получение и хранение водорода.
48. Развитие атомно-водородной энергетики.
49. Разработка и внедрение МГД генераторов.
50. Эффективные методы переработки ТВЭЛов и надежное, безопасное захоронение радиоактивных отходов.
51. Принципиально новые источники энергии.
52. Роль антропогенного фактора в изменении климата.

Приложение 2

ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ

Примеры так называемых «двоечных» вопросов, незнание ответов на которые не позволяет получить положительную оценку по курсу «Промышленная экология»

1. Что такое экология?
2. Что такое промышленная экология?
3. Что такое биосфера по Вернадскому? Какую роль сыграли биолог Ламарк и геолог Зюсс в учении о биосфере?
4. Что такое ноосфера по Вернадскому? Какую роль сыграли Ле Руа и Тейяр де Шарден в учении о ноосфере?
5. Что такое ПДК, БПК, ХПК, LD₅₀, ПДВ, ПДС, ВСВ, ПДЭК, ПДЭН?
6. Какова величина БПК питьевой воды по СанПиН?
7. Какова суммарная концентрация солей в питьевой воде по СанПиН?
8. Каковы источники и в чем опасность «парниковых» газов?
9. Какой наиболее распространенный метод очистки отходящих газов от SO₂?
10. Какой наиболее распространенный метод борьбы с загрязнением атмосферы оксидами азота?
11. Какой наиболее распространенный метод очистки отходящих газов от органических веществ?
12. Какой наиболее распространенный метод обезвреживания токсичных отходов?
13. Как можно бороться с «тепловым» загрязнением?
14. Грозит ли людям дефицит энергоресурсов?

Примеры задач по газоочистке

Разработать технологическую схему очистки отходящих газов для различных производств.

1. Дымовые газы ТЭС: объем — 913 000 м³/ч, температура — 150–170 °С; содержание пыли, состоящей на 60% из частиц размером (10–20)·10⁻⁶ м, на 25% — из частиц размером (5–10)·10⁻⁶ м, на 10% — из частиц размером (20–40)·10⁻⁶ м, — 35 г/м³; SO₂ — 2500 мг/м³, NO_x — 1000 мг/м³ (степень окисленности NO_x — 10%).

2. Отходящие газы: объем — 70 м³/ч; температура — 50 °С; содержание пыли — 10 мг/м³, NO_x — 20 г/м³ (степень окисленности — 65%).

3. Дымовые газы: объем — 2000 м³/ч; температура — 150 °С; содержание NO_x — 360 мг/м³ (степень окисленности NO_x — 15%); SO₂ — 20 мг/м³; пыли — 15 мг/м³.

4. Вентиляционные газы мукомольного производства: объем — 10 000 м³/ч, температура — 30 °С; запыленность — 350 мг/м³.

5. Вентиляционные газы асбестового цеха: объем — 20 000 м³/ч, температура — 30 °С; запыленность — 40 мг/м³.

6. Отходящие газы производства фосфорных удобрений: объем — 10 000 м³/ч; температура — 30 °С; содержание фтористых соединений (HF+SiF₄) — 1500 мг/м³; пыли — 200 мг/м³; SO₂ — 80 мг/м³; NH₃ — 25 мг/м³; NO_x — 30 мг/м³.

7. Отходящие газы цементного производства: объем — 350 000 м³/ч; температура — 50 °С; содержание пыли, состоящей на 65% из частиц размером (5–10)·10⁻⁶ м и на 30% из частиц размером (10–20)·10⁻⁶ м, — 2200 мг/м³; SO₂ — 650 мг/м³; NO_x — 250 мг/м³ (степень окисленности NO_x — 10%), фтористых соединений — 15 мг/м³.

8. Дымовые газы печей обжига кирпича: объем — 100 000 м³/ч; температура — 110 °С; содержание SO₂ — 550 мг/м³; NO_x — 150 мг/м³ (степень окисленности NO_x — 5%); запыленность — 25 мг/м³.

9. Отходящие газы: объем — 60 м³/час; температура — 70 °С; содержание NO_x — 250 мг/м³ (окисленность NO_x — 70%).

10. Дымовые газы ТЭС: объем — 10 млн м³/ч; температура — 170 °С; содержание пыли — 32 г/м³; SO₂ — 3500 мг/м³; NO_x — 700 мг/м³ (окисленность NO_x — 5%). Схема очистки с получением строительного гипса.

11. Дымовые газы ТЭС: объем — 6 млн м³/ч; температура — 165 °С, содержание пыли — 20 г/м³, SO₂ — 4000 мг/м³, NO_x — 550 мг/м³ (окисленность NO_x — 10%). Схема очистки с получением концентрированного SO₂.

12. Отходящие газы доменного производства: объем — 5 млн м³/ч; температура — 300 °С; содержание пыли — 1300 мг/м³; CO — 6500 мг/м³; SO₂ — 1500 мг/м³; NO_x — 1300 мг/м³ (окисленность NO_x — 15%); фтористых соединений — 300 мг/м³.

13. Отходящие газы органических производств: объем — 100 000 м³/ч, температура — 30 °С; содержание углеводородов (в том числе 10% циклических) — 30 г/м³; CO — 10 г/м³; H₂ — 2 г/м³.

14. Отходящие газы мусоросжигательного завода, содержащие: пыли, — 10 г/м³; SO₂ — 300 мг/м³; NO_x — 250 мг/м³ (окисленность NO_x — 15%); HCl — 100 мг/м³; фтористых соединений — 80 мг/м³; аэрозолей тяжелых металлов — 150 мг/м³; углеводородов — 650 мг/м³ (в том числе дифинила, диоксида и дифурана — 5 мг/м³); температура — 200 °С; объем — 800 тыс. м³/ч.

15. Отходящие газы производства керамзита: объем — 850 тыс. м³/ч, температура — 250 °С; содержание пыли, состоящей на 65% из частиц размером (20–44)·10⁻⁶ м, на 20% из частиц размером (10–20)·10⁻⁶ м и на 10% из частиц размером (5–10)·10⁻⁶ м, — 20 г/м³; SO₂ — 300 мг/м³; NO_x — 350 мг/м³ (окисленность NO_x — 10%); углеводородов — 80 мг/м³ (в том числе циклических соединений — 10 мг/м³).

16. Дымовые газы ТЭС: объем — 10 млн м³/ч; температура — 170 °С; содержание пыли, состоящей на 65% из частиц размером (10–20)·10⁻⁶ м, на 15% из частиц размером (20–40)·10⁻⁶ м и на 20%

из частиц размером $(5-10) \cdot 10^{-6}$ м, — 25 г/м³; SO₂ — 4000 мг/м³; NO_x — 850 мг/м³ (окисленность NO_x — 8%); аэрозолей тяжелых металлов — 120 мг/м³. Схема очистки с получением строительного гипса.

17. Отходящие газы: объем — 5000 м³/ч; температура — 50 °С; содержание HCl — 200 мг/м³; Cl₂ — 150 мг/м³; SO₂ — 130 мг/м³; NO_x — 200 мг/м³; пыли — 180 мг/м³.

18. Отходящие газы: объем — 5 млн м³/ч; температура — 140 °С; содержание пыли — 36 г/м³; SO₂ — 350 мг/м³; NO_x — 450 мг/м³; фтористых соединений — 35 мг/м³.

19. Отходящие газы от сжигания органических отходов: объем — 60 000 м³/ч; температура — 500 °С, содержание углеводородов — 1300 мг/м³ (в том числе 50 мг/м³ — циклические соединения); HCl — 200 мг/м³, SO₂ — 250 мг/м³; NO_x — 100 мг/м³; фтористых соединений — 30 мг/м³.

20. Отходящие газы: объем — 20 м³/ч; температура — 150 °С; содержание HCl — 100 мг/м³; HF — 50 мг/м³; SO₂ — 130 мг/м³; NO_x — 200 мг/м³; пыли — 180 мг/м³.

Примеры решения задач

1. Разработать простейшую технологическую схему очистки отходящих газов:

NO_x — 20 г/м³; окисленность $\frac{NO_2}{NO+NO_2} = 65\%$; $V_{\text{отх.газов}} = 70 \text{ м}^3/\text{ч}$; $t = 50 \text{ °С}$; запыленность — 10 мг/м³.

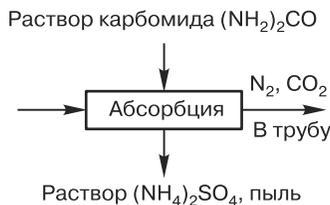
Решение:



2. Разработать простейшую технологическую схему очистки отходящих газов:

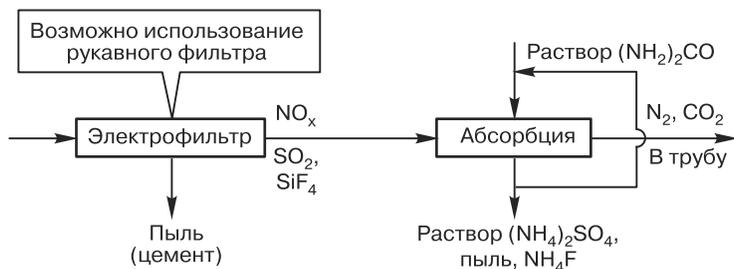
NO_x — 650 мг/м³; окисленность $\frac{NO_2}{NO + NO_2} = 15\%$; SO₂ — 20 мг/м³; $V_{\text{отх.газов}} = 200\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$; $t = 150 \text{ °С}$; запыленность — 15 мг/м³.

Решение:

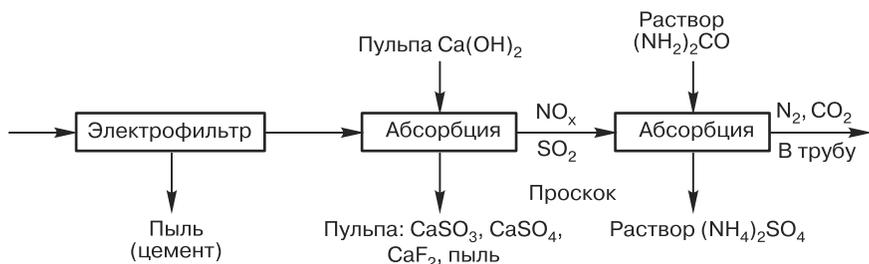


3. Разработать простейшую технологическую схему очистки отходящих газов цементного производства: пыль — $2,2 \text{ г/м}^3$ [65% — размер частиц $(5-10) \cdot 10^{-6} \text{ м}$, 30% — $(10-20) \cdot 10^{-6} \text{ м}$]; SO_2 — 620 мг/м^3 ; NO_x — 350 мг/м^3 ; окисленность $\frac{\text{NO}_2}{\text{NO} + \text{NO}_2}$ — 15%; SiF_4 — 15 мг/м^3 ; $V_{\text{отх.газов}} = 350\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$; $t = 150^\circ\text{C}$.

Решение А:



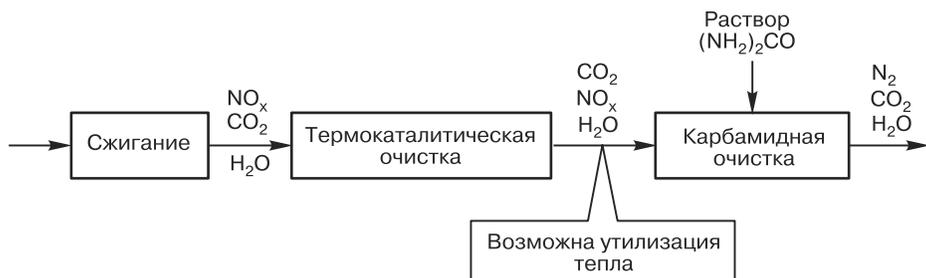
Решение Б:



Решение Б дешевле за счет меньшего количества применяемого карбамида.

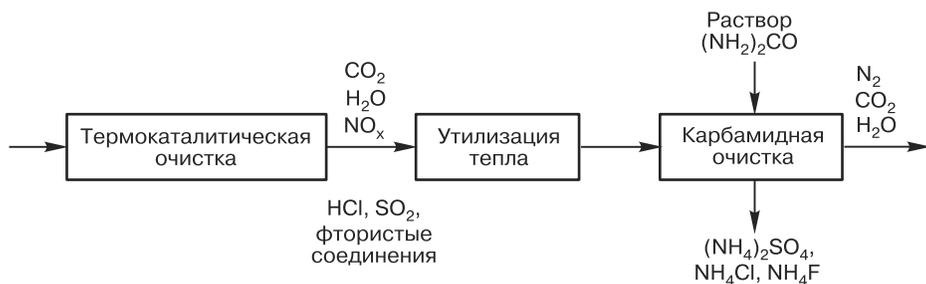
4. Разработать простейшую технологическую схему очистки отходящих газов органических производств, имеющих состав: 30 г/м^3 углеводородов (в том числе 10% циклических); $10 \text{ г/м}^3 \text{ CO}$; $2 \text{ г/м}^3 \text{ H}_2$; $t = 30^\circ\text{C}$; $V = 10\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Решение:



5. Разработать простейшую технологическую схему очистки отходящих газов от сжигания органических отходов: углеводороды — 1300 мг/м^3 , в том числе 50 мг/м^3 циклические соединения; 150 мг/м^3 HCl ; 200 мг/м^3 SO_2 ; 450 мг/м^3 NO_x ; 100 мг/м^3 фтористых соединений; $t = 500^\circ\text{C}$; $V = 60\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Решение:



Примеры вопросов компьютерного тестирования по курсу «Промышленная экология»

- Выберите ответ, содержащий только методы обессоливания воды:
 - ионный обмен, обратный осмос, выпаривание, экстракция;
 - ионный обмен, обратный осмос, выпаривание, электрокоагуляция;
 - ионный обмен, обратный осмос, выпаривание, электродиализ;
 - ионный обмен, обратный осмос, электрокоагуляция, электролиз;
 - ни один из указанных методов.
- Укажите величину БПК питьевой воды по СанПиН:
 - $0 \text{ O}_2/\text{л}$;
 - $3 \text{ мг O}_2/\text{л}$;
 - $5 \text{ мг O}_2/\text{л}$;
 - $7 \text{ мг O}_2/\text{л}$;
 - $9 \text{ мг O}_2/\text{л}$.
- Укажите единицы измерения ПДК и ПДВ:
 - мг/м^3 ; мг/л ; т/год ;
 - мг/м^3 ; т/год ; г/с ;
 - мг/л ; т/год ; г/с ;
 - мг/л ; г/с ; мл/м^3 ;
 - мг/м^3 ; мг/л ; кг/ч .
- Как изменяется энтропия при фотосинтезе?
- Электростанции, работающие на угле, загрязняют ли атмосферу радиоактивными веществами, и если загрязняют, то почему?

6. Какой наиболее распространенный метод очистки отходящих газов от SO_2 ?
7. Какой наиболее распространенный метод очистки отходящих газов от органических веществ?
8. Какой метод очистки воды от солей в природе имеет наибольшее значение?
9. Какой из методов наиболее часто используется при обезвреживании токсичных отходов?
10. Назовите наиболее сложную проблему переработки и обезвреживания бытовых отходов.
11. Является ли экологически чистой солнечная энергетика?
12. Укажите основные недостатки адсорбционных методов очистки.
13. С чего начинается разработка замкнутой водооборотной системы на предприятии?
14. При получении чего образуется фосфогипс?
15. Что больше: БПК₁₅ или ХПК₅ для одной и той же сточной воды?
16. При сжигании угля (нефти, газа) изменяется ли энтропия биосферы?
17. Назовите основной источник загрязнения атмосферы Москвы и Санкт-Петербурга.
18. Какой наиболее распространенный метод очистки отходящих газов от NO_x ?
19. В чем преимущество использования известкового молока в качестве нейтрализующего агента?
20. В чем основной недостаток абсорбционных методов очистки?
21. Какой процесс имеет наибольшее значение при обезвреживании органических веществ сточных вод в аэротенках?
22. Назовите приоритетную проблему получения кальцинированной соды по методу Сольве?
23. В чем сложность получения хлористого калия?
24. Какова должна быть суммарная концентрация солей в питьевой воде по СанПиН?

Приложение 3

ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ И РЕФЕРАТОВ

Примерные темы курсовых проектов

1. Разработать технологическую схему водообеспечения и водоотведения промышленного узла с повторным использованием очищенных сточных вод в системе технического водоснабжения. (Состав и объем сточных вод задаются руководителем.)
2. Разработать технологическую схему очистки сточных вод гальванического производства. (Состав, объем и назначение очищенной воды задаются руководителем.)
3. Разработать комплексную схему очистки общезаводских сточных вод и жилого массива с повторным использованием очищенных сточных вод в техническом водоснабжении промышленного узла. (Состав и объем сточных вод задаются руководителем.)
4. Разработать систему очистки сточных вод (с последующим использованием) автозаправочной станции с цехом ремонта и мойки автомашин. (Состав и объем сточных вод задаются руководителем.)
5. Разработать систему очистки отходящих газов районной тепловой станции. (Место, мощность и состав отходящих газов задаются руководителем.)
6. Разработать технологическую схему очистки отходящих газов установки по сжиганию органических отходов. (Район, объем и состав газов задаются руководителем.)
7. Оценить состав, количество и разработать систему предварительной обработки твердых бытовых отходов района или города (по заданию руководителя).
8. Разработать технологическую схему сортировки бытовых отходов города. (Район и число жителей указывает руководитель.)
9. Свободная тема по согласованию с руководителем проекта.

Примерные темы рефератов

1. Методы стимулирования развития безотходных, или чистых, производств.
2. Методы стимулирования природоохранной деятельности.
3. Экологическая этика.
4. Предпосылки устойчивого развития общества.
5. Пути решения проблем устойчивого развития общества.
6. Ноосфера по Вернадскому и устойчивое развитие.
7. Пути создания техногенного кругооборота веществ.

8. Биогеохимический и техногенный круговорот веществ.
9. Пути решения экологических проблем больших городов.
10. Безотходное производство — красивая идея или суровая необходимость?
11. Пути решения проблемы твердых бытовых отходов.
12. Обезвреживание и использование токсичных промышленных отходов при производстве керамических материалов.
13. Обезвреживание и использование токсичных промышленных отходов при производстве цемента.
14. Безотходные территориально-производственные комплексы.
15. Эко-промышленные парки.
16. Основные экологические проблемы энергетики.
17. Экологические проблемы черной металлургии.
18. Экологические проблемы цветной металлургии.
19. Основные экологические проблемы нефтеперерабатывающей промышленности.
20. Химическое загрязнение окружающей среды.
21. «Тепловое загрязнение» окружающей среды.
22. Свободная тема по согласованию с преподавателем.

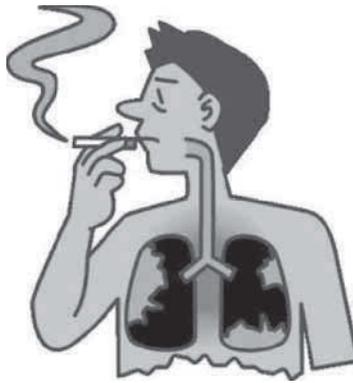
РЕФЕРАТ
ПО КУРСУ «ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ»¹⁾
НА ТЕМУ «ВСЯ ПРАВДА О КУРЕНИИ»²⁾

Подготовил студент гр. Э-41

Константин Мячин

Руководитель

доктор техн. наук, проф. В. А. Зайцев



Содержание

1. Введение	3
2. Из истории табака	3
3. О вреде курения	7
3.1. Главные компоненты табачного дыма	7
3.2. Влияние курения на здоровье	9
3.3. Пассивное курение.....	16
4. Проблемы ограничения и запрещения курения	20
4.1. Где взять деньги на борьбу с табакокурением?.....	20
4.2. Десять причин запретить табачную рекламу и спонсорство	21
4.3. Как воздействует реклама табака на общее потребление табачных изделий?	23
4.4. Является ли запрет на курение нарушением прав человека?	24
5. Заключение	25
Список литературы	26

¹⁾Негативные последствия курения для отдельно взятого человека и общества в целом настолько велики, что в ежегодных докладах ЮНЕП о состоянии окружающей среды в мире имеется специальный раздел о влиянии курения на организм курильщика и загрязнение окружающей среды (пассивное «курение» всех граждан).

²⁾Реферат печатается с небольшой редакторской правкой руководителя.

Человек часто сам себе злейший враг

Цицерон

1. ВВЕДЕНИЕ

Подготовленный мною реферат является выражением моей гражданской позиции в отношении проблемы курения. Я надеюсь, что он поможет лучше понять историю, суть и специфику данной проблемы, предложить некоторые методы ее решения. Не являясь долгое время проблемой как таковой, при растущем качестве жизни в развитых странах мира она удостоилась пристального внимания с осознанием всей мощи и комплексности негативных последствий для отдельно взятого человека и общества в целом. **Анализ ситуации показывает, что наша страна, Российская Федерация, под грузом других проблем не дошла еще в своем развитии до стадии принятия тотальных и эффективных мер по всемерному ограничению и постепенному запрету курения. Однако несомненно, что сложнейшая демографическая ситуация и падающий уровень здоровья нации вынудят в недалеком будущем жестко поставить табак вне закона.**

Лично я никогда не курил и, естественно, будучи в здравом уме, не собираюсь делать этого в будущем. Это убеждение я имел с детства, и с годами, несмотря на многочисленные заразные примеры, оно только укреплялось. Ведь не иметь вредных привычек — это не только не вредить здоровью, это значит быть свободным.

Главный упор в реферате сделан на максимально полное информирование читающего о вредном влиянии курения на здоровье курящего и тех, кто его окружает, и, что немаловажно, на и без того слабое здоровье будущих поколений.

2. ИЗ ИСТОРИИ ТАБАКА

Колумб Америку открыл!

Великий был моряк!

Но заодно он научил

Весь мир курить табак.

От трубки мира у костра, раскуренной с вождем,

Привычка вредная пошла в масштабе мировом. . .

*Из песенки «О вреде курения»
в мультфильме «Остров сокровищ»*

До конца XV в. это растение не было известно никому, кроме коренных жителей американского континента. Археологические раскопки показали, что 4000 лет назад, а возможно, и раньше, североамериканские индейцы уже употребляли табак. В древних цивилизациях табачному дыму приписывались магические, целебные свойства. Но курение или вдыхание дыма было связано в основном с религиозными ритуалами. Это подтверждают археологические открытия в скифских гробницах, на юге Европы, в Африке и в местах расселения племен американских индейцев. Во время некоторых ритуальных церемоний жрецы племени майя должны были выдувать табачный дым на четыре стороны света. Этот дым считался наделенным магической мощью, исцеляющим и дающим победу над врагами.

В качестве первых приспособлений для вдыхания дыма, прообразов современных трубок, служили самые простые предметы: кусочки тростника, полые кости и рога животных. Позже появились глиняные и деревянные, реже металлические трубки цилиндрической формы. Часто трубки изготовлялись внутри боевых топоров — томагавков. Некоторые племена делали «земляные трубки», что-то наподобие маленькой печки, и дым вдыхали, прислоняя лицо к земле. На территории Индии и африканских стран практиковалось вдыхание через трубочки дыма от тлеющих листьев, засыпанных землей. В Центральной Америке и в долине Миссисипи были обнаружены трубки, относящиеся к доколумбовой эпохе, сделанные из минералов стеатита или катлинита и украшенные резьбой или изображениями голов птиц, зверей и рептилий.

Слово «табак», вероятно, происходит от названия острова Тобаго. Согласно свидетельствам испанских матросов, прибывших 15 октября 1492 г. с экспедицией Колумба к берегам теперешней Центральной Америки, словом «tobaco» у местных жителей назывались большие скрученные листья, предназначенные для ритуального курения. Впоследствии испанцы и португальцы завезли листья и семена табака в Европу, и, несмотря на запреты Инквизиции, европейцы тоже начали культивировать табак. Первыми распространителями табака кроме матросов были торговцы, монахи и политические деятели. Посол Франции при португальском дворе Жан Нико (Jean Nicot) в 1560-м г. отправил немного табака королеве Екатерине Медичи, рекомендовав его как средство от мигрени. Вскоре после этого мода на нюхательный табак распространилась по всей Франции. В честь Нико растение впоследствии получило латинское название *Nicotiana*, а выделенный из него в начале XIX в. алкалоид соответственно «никотин».

Со второй половины XVI в. табак стал быстро набирать популярность как лекарственное растение. Табак нюхали, курили через трубки, жевали, смешивали с различными веществами и употребляли для лечения простуды, головной и зубной боли, кожных и инфекционных заболеваний. В 1580 г. английский аристократ сэр Вальтер Рейли создал табачную плантацию в Ирландии, а позднее — еще несколько, на колониальных американских территориях. Одну из них он назвал «Вирджиния», что впоследствии дало имя самому распространенному сорту табака. В 1618 г. Рейли был приговорен к смертной казни за создание дипломатического инцидента между Англией и Испанией. Он взмолился на эшафот, покуривая свою любимую трубку.

В начале XVII в. на территории современной Америки, в основном в английских колониях, возникли и другие табачные плантации. В 1611 г. такую плантацию создал в Вирджинии англичанин Джон Рольф. Семена табака он ввозил из Тринидада и Венесуэлы, а технологию позаимствовал у Рейли и усовершенствовал ее. Уже через восемь лет начался экспорт табака из Вирджинии в Англию, а сам Джон Рольф навсегда поселился в Новом Свете и женился на дочери индейского вождя, давшего ему совет попытаться счастья в табаководстве.

Среди аристократов были и другие страстные поклонники табака. В начале XVIII в. король Пруссии Фредерик I устраивал при дворе курительные торжества, а его сын, Фредерик-Вильям I, основал «Табак-коллегию». На заседаниях коллегии сочетались такие вещи, как рассуждения о государственных делах, светская беседа и непринужденное застолье, сопровождающееся неумеренным курением трубок. Из российских царственных любителей табака в первую очередь вспоминается, конечно, Петр I.

У табака всегда были противники. И не только в лице Инквизиции. Король Англии Джеймс I (James I, годы правления 1603–1625) в начале XVII в. неоднократно выступал против курения, считая эту привычку вредной для здоровья, играющей на руку испанской торговле и вводящей людей в умиротворенное состояние и тем самым ослабляющей военную мощь страны. Он ввел пошлину на ввоз табака в Англию, а во Франции примерно в то же время и то же самое предпринял кардинал Ришелье. Эти относительно мягкие антитабачные меры не остановили распространение табака, а лишь способствовали процветанию контрабандного ввоза.

В 1625 году умер враг табака король Джеймс, и английский престол занял его сын Чарльз (Charles I, годы правления 1625–1649). Новый король лично был против курения, но не столь фанатично, как его отец. В своем правлении он следовал отцу за исключением того, что уделял больше внимания финансовым вопросам. Его целью было уклониться от парламентского управления и создать обширные монополии. Чарльз I поддерживал последние декреты своего отца и усилил королевскую монополию на торговлю табаком. Годом позже он разрешил импорт иностранного, особенно испанского, табака. Пошлины от импорта вместе с огромными суммами, выплачиваемыми дилерами и импортерами табака, шли в карман короля и формировали значительную часть королевского дохода. В 1634 г. Чарльз издал подобный декрет и для Шотландии. В нем он выражает заботу о моральном и физическом здоровье его подданных и, в конце концов, предоставляет за значительную сумму монополию на торговлю табаком сэру Джеймсу Лесли (James Leslie) и Томасу Далмахоу (Thomas Dalmahoy).

Англии становилось ясно, что курение преодолет все запреты. Правительство сдалось, оценив повышение доходности от торговли табаком. В 1643 г. парламент наложил умеренную пошлину на колониальный табак. В марте 1644 г. за табак из испанских колоний пошлина составила один шиллинг на каждый фунт.

Постепенное изменение общественного мнения относительно курения нашло отражение в литературе. В 1637 г. доктор Тобиас Веннер (Tobias Venner) издал свой труд — краткий и точный трактат о курении, в котором он относится к этой привычке более беспристрастно и осуждает лишь неумеренное использование табака. Он признает популярность курения, однако рисует ужасную картину последствий чрезмерного употребления табака. В 1640 г. появилась поэма «Триумф табака над пивом», в которой достоинства табака описывались самыми высокими и восторженными словами.

В России долгое время употребление табака не поощрялось. Впервые табак появляется в России при Иване Грозном. Его завозят английские купцы, он проникает в багаже наемных офицеров, интервентов и казаков во времена Смуты. Курение на короткое время приобретает временную популярность в среде знати. При царе Михаиле Федоровиче Романове отношение к табаку резко меняется. Табак подвергается официальному запрету, контрабандный товар сжигают, его потребители и торговцы подвергаются штрафам и телесным наказаниям. Еще жестче стали относиться к табаку после Московского пожара в 1634 г., причиной которого посчитали курение. Вышедший вскоре царский указ гласил: *«Чтоб нигде русские люди и иноземцы всякие табаку у себя не держали и не пили и табаком не торговали»*. Заслушание полагалась смертная казнь, на практике заменявшаяся «урезанием» носа.

В 1646 г. правительство Алексея Михайловича пыталось изменить прежний порядок и взяло продажу табака в монополию. Однако под влиянием могущественного патриарха Никона вскоре восстанавливаются жестокие меры против «богомерзкого

зелья». В Соборном Уложении (1649) существовала 30-я глава, предусматривавшая для любого курившего тяжелое наказание: «... а которые стрельцы и гулящие всякие люди с табаком будут в приводе дважды и трижды, и тех людей пытать и не одинаво бить кнутом на козле или по торгам (т. е. в застенке или публично на площади) ... Кто русские люди или иноземцы табак учнут держать или табаком учнут торговать, и тем... чинить наказание без пощады, под смертною казною...».

В феврале—апреле 1697 г. серией указов царь Петр Алексеевич (Петр I), государь-реформатор, для которого нарушение веками устоявшегося устоя жизни было неперенным условием правления, легализовал продажу табака и установил правила его распространения. Примечательно, что по петровскому указу 1697 г. табачный дым сначала разрешалось вдыхать и выдыхать только через курительные трубки.

В начале XIX в. в Испании и странах Средиземноморья возникла практика курения сигарет, однако первые их подобиия появились еще в индейских племенах. Слово «сигарета» французского происхождения и означает «маленькая сигара». Сильное распространение курение сигарет получило во время Крымской войны в 1854–1856 гг. Британские солдаты переняли эту привычку у русских и турецких солдат. Они заворачивали табак в бумажные трубки от пороха, что позволяло им быстро перекуривать между боевыми действиями.

Отцом английских сигарет считается Роберт Пикок Глоад (Robert Peacock Gloag), который взял за основу идею, родившуюся на Крымской войне, и открыл первую сигаретную фабрику. Это произошло в 1857 г. в Уалворте в Лондоне. Он создал и продавал первую марку сигарет «пять на пенни» (five-a-penny brand). В США распространению сигарет способствовало появление некоторых новых сортов светлого табака и изобретение первой машины для изготовления сигарет в конце 80-х гг. XIX в. Внедрение этой машины финансировал табачный магнат Джеймс Бьюкэнен. В 1901 г. было продано 3,5 млрд сигарет и 6 млрд сигар. Это свидетельствовало о том, что сигареты чрезвычайно быстро набирают популярность. Немалым «подспорьем» послужило изобретение и распространение спичек, сделавшее курение более комфортным и доступным в любом месте. В последующее десятилетие сигареты значительно обогнали сигары по объему продаж. А во время Первой мировой войны курение сигарет окончательно вошло в моду. Солдаты, зачастую не имевшие времени выкурить сигару или трубку, стали курить сигареты. После войны начался настоящий «сигаретный бум», особенно в Европе и Америке.

В 1847 г. основана знаменитая компания Phillip Morris, продающая турецкие сигареты ручной скрутки. Вскоре, в 1849-м, в Сент-Луисе основана компания J. E. Liggett and Brother. В 1875 г. была основана R. J. Reynolds Tobacco Company. Сигареты в США делались в основном из отходов производства других табачных изделий, в особенности жевательного табака, популярного в те дни на американском Западе. В 1902 г. британская компания Phillip Morris открывает представительство в Нью-Йорке, где занимается активным маркетингом сигарет, включая знаменитую ныне марку Marlboro.

Спрос на сигареты продолжает расти, и в 1913 г. компания R. J. Reynolds выпускает на рынок сигареты марки Camel. К 1923 г. Camel контролирует 45% рынка США. В 20-е гг. прошлого века большую роль в развитии табачной индустрии стало распространение привычки к курению сигарет среди женщин. Начавшись как демонстрация независимости, курение среди женщин вскоре стало обычным делом. Эмили Пост в 1922 г. в первом издании своей знаменитой книги по этикету писала, что курить женщине никоим образом не возбраняется. В 1924 г. Phillip

Morris начинает рекламировать марку Marlboro как дамские сигареты, «мягкие, как май». Чтобы противостоять конкурентам, American Tobacco Company, производитель марки Lucky Strike, начинает подобным образом рекламировать и свои сигареты и завоевывает 38% рынка. За период 1925–1935 гг. количество курящих молодых женщин увеличивается втрое.

В 1939 г. American Tobacco Company выпускает новую марку Pall Mall, благодаря чему становится самой крупной табачной компанией в США. Во время Второй мировой войны (1939–1945) продажи сигарет держатся на высоком уровне. Сигареты включены в солдатский рацион как пища. Табачные компании посылают солдатам бесплатно миллионы сигарет и после войны приобретают огромное количество постоянных покупателей. «Золотым веком» табачной промышленности считается конец 40-х — начало 50-х гг., когда знаменитые актеры кино делают курение сигарет и сигар неотъемлемой частью своего имиджа, роскошного и таинственного.

В 50-е гг., в связи с многочисленными публикациями о вреде табака, крупнейшие компании начинают выводить на рынок более «безопасные» сигареты — с фильтром, с низким содержанием смол и никотина. В 1954 г. R. J. Reynolds вводит марку сигарет Winston, а в 1956 г. — марку Salem, первые ментоловые сигареты с фильтром. Случаются и неприятные «сюрпризы» — в 1952 г. P. Lorillard выпускает марку Kent с «микронитовым» фильтром, содержащим... асбест! К счастью, выпуск этой марки был через четыре года прекращен. В 1968 г. была даже сделана попытка, правда, неудачная, заставить курильщиков перейти на сигареты марки Bravo, не содержащие табака. Эти сигареты, изготовленные преимущественно из листьев салата, славы не снискали.

Из-за нападок в прессе табачные компании расширяют ассортимент своей продукции за счет других товаров. Phillip Morris начинает сотрудничать с Miller Brewing Company, производителем пива. R. J. Reynolds Tobacco Company меняет название и становится R. J. Reynolds Industries, выпускает другую продукцию, в частности алюминиевую фольгу. American Tobacco Company также убирает из своего названия слово «табак» и становится American Brands, Inc. Тем временем Phillip Morris продолжает разнообразить свою продукцию, вступая в General Foods Corporation и Kraft Inc. В 1985 г. R. J. Reynolds покупает компанию Nabisco и становится RJR/Nabisco.

В 80-е–90-е гг. табачные компании США интенсивно внедряют свою продукцию в других странах, особенно в развивающихся странах Азии. Marlboro считается маркой № 1 в мире по доходности. Среди всех категорий товаров она превзошла даже Coca-Cola! Ее доходность превышает 30 млрд долл.

В 80-е гг. курение считается «политически некорректным», запрещается во многих общественных местах, особенно на рабочем месте. Реклама табачных изделий изымается из телевизионных программ и ограничивается в других видах. В последние годы борьба с курением ознаменована некоторыми громкими судебными процессами бывших курильщиков и их родственников с табачными компаниями. Однако они, являясь доходными источниками пополнения государственного бюджета, чувствуют себя в относительной безопасности. Извечный государственный вопрос: что лучше — сиюминутное пополнение казны или долговременная экономия на медицинском обслуживании, укрепление здоровья нации? Однако самое важное и окончательное решение **остается за человеком**, курить ему или нет. Насколько это вредно для его собственного здоровья, здоровья семьи, детей и еще не родившихся его потомков, да и просто окружающих, мы поговорим в следующей главе.

3. О ВРЕДЕ КУРЕНИЯ

Колумб, который Христофор,
 Не ведал, что творил.
 Не мало утекло с тех пор,
 Дым сизый наших сил.
 Нам слаще аромата роз
 Табачный перегар.
 А в дыме том инфаркт, склероз,
 Рак легких и катар. . .

*Из песенки «О вреде курения»
 в мультфильме «Остров сокровищ»*

3.1. Главные компоненты табачного дыма

Никотин является наркотическим веществом в табаке. Усилия по замедлению табачной эпидемии часто сводятся на нет из-за того, что потребители табака очень сильно зависят от своего наркотика. **Некоторые эксперты в области зависимости считают табак наиболее сильным наркотиком, вызывающим зависимость, который хуже, чем героин или кокаин.** Отчет Главного врача США, озаглавленный «Никотиновая зависимость», содержит следующий вывод: «Фармакологические и поведенческие процессы, определяющие зависимость от табака, подобны тем, которые определяют зависимость от таких наркотиков, как героин и кокаин».

Никотин встречается естественным образом в табачных растениях и в больших количествах является весьма токсичным. Доза никотина, получаемая при курении, является слишком низкой, чтобы вызвать острое отравление, хотя существует серьезный риск острого отравления для детей, которые заглаживают сигареты. Начинающие курильщики могут испытывать неприятные токсичные эффекты никотина, но вскоре развивается толерантность как результат хронического потребления табака.

Поглощение никотина в организме зависит от уровней pH при его поступлении. Поглощение никотина из кислотного дыма сигарет происходит в легких. Щелочной дым от табака из трубок и сигар позволяет никотину абсорбироваться через слизистую оболочку во рту. Бездымные табачные продукты и никотиновая жевательная резинка (средство для прекращения курения) приготовлены особым образом, чтобы облегчить оральную абсорбцию. Абсорбция через легкие является более быстрой. Из легких никотин быстро поступает в кровь и в мозг. Никотин действует через специальные клеточные образования, или рецепторы, расположенные в местах соединения нервных клеток, или синапсах, в мозгу и мышечной ткани. Эти рецепторы обладают способностью распознавать никотин и реагировать на него, когда он присутствует в организме. В результате изменяется работа синапса, т. е. искажается передача нервного импульса, который управляет состоянием сосудов, мышечной ткани, желез внешней или внутренней секреции. Когда рецепторы сигнализируют о присутствии никотина, кровяное давление возрастает, а периферическое кровообращение замедляется. Волны в мозгу изменяются, и дается толчок целому ряду эндокринных и метаболических эффектов.

Психическое и физическое состояние курильщика, а также ситуация, в которой происходит курение, могут влиять на то, каким образом отдельная сигарета будет

воздействовать на психологическое восприятие и физиологическую реакцию. Например, оно может вызвать ощущения как расслабленности, так и бодрости.

Табачный дым содержит более 4000 компонентов, многие из которых являются фармакологически активными, токсичными, мутагенными и канцерогенными. При курении они попадают в воздух в виде частичек или газов. Фаза частичек состоит из смолы (которая, в свою очередь, состоит из многих химических веществ), никотина и бенз(а)пирена. Газовая фаза состоит из оксида углерода, аммония, диметилнитрозамина, формальдегида, цианистого водорода и акролеина. Некоторые из этих веществ имеют явно выраженные раздражающие свойства, а около 60 из них являются известными или предполагаемыми канцерогенами (веществами, вызывающими рак).

Смола является наиболее опасной из химических веществ сигарет. Люди в основном курят из-за воздействия никотина на мозг, но умирают главным образом из-за воздействия смолы. Когда дым попадает в рот в виде концентрированного аэрозоля, он приносит с собой миллионы частичек на кубический сантиметр. По мере охлаждения они конденсируются и образуют смолу, которая оседает в дыхательных путях легких (рис. 1). Смола вызывает рак и заболевания легких, вызывает паралич очистительного процесса в легких и повреждает альвеолярные мешочки. Она также снижает эффективность иммунной системы.

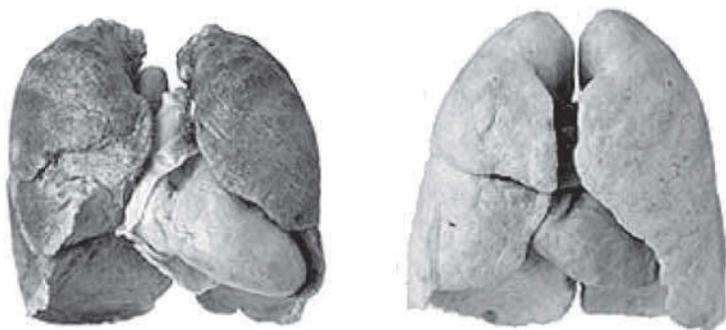


Рис. 1. Вид легких курильщика (а) и некурящего человека (б)

Оксид углерода — это бесцветный газ, присутствующий в высоких концентрациях в сигаретном дыме. Его способность соединяться с гемоглобином в 200 раз выше, чем у кислорода, и поэтому он замещает кислород. В результате повышенный уровень оксида углерода уменьшает способность крови курильщика переносить кислород, что сказывается на функционировании всех тканей организма. Мозг и мышцы (включая сердечную) не могут действовать в свою полную силу без достаточного поступления кислорода, и для того, чтобы компенсировать снижение поступления кислорода телу, сердце и легкие вынуждены работать с большей нагрузкой, что вызывает проблемы с кровообращением. Монооксид углерода также повреждает стенки артерий и увеличивает риск сужения коронарных сосудов, что приводит к сердечным приступам.

Цианистый водород оказывает прямое пагубное воздействие на реснички бронхиального дерева, часть природного очистительного механизма легких. Повреждение этой очищающей системы может привести к накоплению токсичных агентов в легких и увеличению вероятности развития болезни. К другим токсичным агентам табач-

ного дыма, которые прямо воздействуют на реснички в легких, относятся акролеин, аммоний, диоксид азота и формальдегид.

К радиоактивным компонентам, найденным в очень высокой концентрации в табачном дыму, относятся полоний-210 и калий-40. Помимо этого, присутствуют такие радиоактивные компоненты, как радий-226, радий-228 и торий-228. Четко установлено, что радиоактивные компоненты являются канцерогенами.

3.2. ВЛИЯНИЕ КУРЕНИЯ НА ЗДОРОВЬЕ

Курение является, по-видимому, самой важной отдельно взятой предотвратимой причиной заболеваемости в мире.

Х. Малер, Генеральный директор ВОЗ

В настоящее время каждые 10 с еще один человек в мире умирает в результате потребления табака, в год это составляет около 3 млн человек. Если нынешние тенденции курения сохранятся, то через 30-40 лет эта цифра вырастет до 10 млн.

При сохранении нынешних тенденций, около 500 млн из ныне живущих людей — приблизительно 9% населения мира — будут в конце концов убиты табаком. Начиная с 1950 г. табак убил 62 млн человек, т. е. больше, чем погибло во Второй мировой войне. В настоящее время табачная пандемия наиболее остра в Центральной и Восточной Европе, а также в Западном Тихоокеанском регионе. Согласно оценке ВОЗ, в 1995 г. на долю Центральной и Восточной Европы приходилась четвертая часть общемирового количества смертей, обусловленных табаком, — 700 000. Более того, в отличие от стран Западной Европы и Северной Америки, где лишь половина или менее таких смертей происходят с людьми младше 70 лет, в Центральной и Восточной Европе от двух третей до четырех пятых таких смертей случаются с людьми среднего возраста. И ситуация не улучшается, а ухудшается. Тенденции и прогнозы потребления табака на одного взрослого показывают, что в этих странах показатели потребления относятся к самым высоким в мире, в некоторых случаях приблизительно вдвое выше среднемировых, и все еще продолжают расти.

Согласно измерениям по показателю DALY (disability adjusted life years — годы нетрудоспособности, пересчитанные на годы утраченной жизни), который принимает во внимание как заболеваемость, так и смертность, табак вызывает 6% всех смертей в мире и примерно 3% глобального бремени болезней. Более того, число смертей от табака продолжает расти. **К 2020 г. при сохранении нынешних тенденций табак будет вызывать 12% смертей в мире.** В странах Центральной и Восточной Европы табак виновен в 13% DALY и является возрастающей причиной DALY. Ожидается примерно через 10 лет, что DALY, обусловленные ВИЧ-инфекцией, начнут снижаться, но табачные будут продолжать расти. Вся эта информация заставила комитет экспертов ВОЗ прийти к выводу: «**Табак быстро становится большей причиной смерти и заболеваемости, чем любое отдельное заболевание.**»

Женщина, курение и материнство

Хотите выглядеть старше своих лет?
Мечтаете затруднить роды
и произвести
на свет хилого наследника?
Тогда курите, дорогие женщины
и девушки!

*Доктор-гинеколог Джон Стад,
Королевский колледж Лондона*

Способность к деторождению падает пропорционально количеству сигарет, выкуриваемых женщиной. С каждой очередной выкуриваемой сигаретой падают шансы на счастливое материнство. Это и понятно, ибо токсические вещества табака отрицательно сказываются на органах, несущих прямую или косвенную ответственность за воспроизводство потомства.

Многие исследователи отмечают, что почти треть женщин, выкуривающих в день десять и более сигарет, имеют ту или иную неполноценность в половой сфере. В 37% случаев беременность не наступала в первые пять лет замужества, 15% имели ранние выкидыши. Сперматозоиды способны к обновлению практически каждые три месяца, а вот яйцеклетки формируются в яичниках еще в раннем детстве (примерно к 2,5 годам) и позже уже не претерпевают существенных изменений. Таким образом, яйцеклетки живут 12–58 лет и являются своего рода долгожителями. А это значит, что они могут быть «банком» для многих токсичных веществ, в том числе и табачного происхождения. К счастью, природа, оберегая человечество от вырождения, позаботилась о том, чтобы отравленные половые клетки не участвовали в процессе оплодотворения, однако, если отравлены почти все, риск задерживания в продолжении жизни нездоровой яйцеклетки многократно возрастает. Многосторонние и комплексные исследования убедительно доказали: табачный дым чрезвычайно опасен для женского организма, но он **во много крат опасней для беременной и ее плода.**

Внутриутробное развитие ребенка

Твердый зарок на девять месяцев...

Предупреждение ученых-гинекологов

Внутриутробное развитие ребенка складывается из двух периодов: эмбрионального, длящегося два с небольшим месяца, и плодного. Первый период проходит в три стадии и имеет два критических момента: 1) имплантация зародыша во внутреннюю стенку матки и 2) закладка и начальные этапы формирования жизненно важных органов. В эти периоды будущее потомство особо ранимо к чужеродным влияниям внешней среды и особенно к табаку и алкоголю. Поэтому эмбрионы чаще гибнут на ранних стадиях развития. Если зародыш выживает, то курение матери может привести к рождению неполноценного в психофизическом отношении потомства.

Ученые из Мичиганского университета К. Чанг и С. Вучман опубликовали в 2000 г. статью, в которой убедительно доказали: женщины, курящие во время беременности, на 50–70% увеличивают вероятность рождения детей с дефектами лица — такими как расщепленная («заячья») губа и расщепленное небо («волчья пасть») (рис. 2). Риск, естественно, тем больше, чем больше выкурено сигарет.

Так, например, сравнение здоровых и больных этим врожденным дефектом детей показало, что курение во время беременности увеличило риск в среднем на 55%, причем у мальчиков такие уродства были чаще, чем у девочек. Если будущая мама выкуривала в день не более полупачки сигарет, риск возрастал наполовину, а если опустошала пачку и более, подскакивал до 78%. Это особенно относится к молодым (до 27 лет) матерям. Диабет и повышенное давление в сочетании с курением еще больше увеличивают риск.



Рис. 2. Последствия курения беременной женщины

Никотин и другие табачные продукты весьма легко проникают через плаценту и направляются в сосудистое русло плода, откуда разносятся по всему организму, накапливаясь в самых различных органах.

В крови плода концентрация СО в два раза выше, чем в крови самой женщины. По мнению ряда специалистов, кислородное голодание, возникшее по вине угарного газа может впоследствии отрицательно сказаться на интеллектуальном развитии ребенка. Здесь следуют подчеркнуть весьма важный факт: если женщина бросает курить, уже через несколько дней плод может очиститься от ядов и в дальнейшем растет вполне здоровым. Бросить не поздно, но каждые день курения убавляет здоровья вашему отпрыску и увеличивает вашу ответственность, об этом никак нельзя забывать. Даже у женщин, ведущих здоровый образ жизни, не так уж редки такие неприятные осложнения беременности, как токсикозы. При курении частота токсикозов намного возрастает как в первой, так и во второй половине беременности. В ряде случаев токсикозы принимают особо тяжелые формы, что приводит к вынужденному прерыванию вынашивания ребенка.

Изменяются и наследственные свойства будущего ребенка курящей матери, при этом на его генетические структуры действуют не только радиоактивные изотопы табака, но и никотин, канцерогенные смолистые продукты. Генетический же вред может дать о себе знать как сразу после рождения, так и спустя годы, даже у потомства будущего ребенка. Курение, как известно, частая причина развития хронических заболеваний. Дети, рожденные курящими матерями, чаще предрасположены к раннему развитию атеросклеротических процессов, ведь в крови курящих нередко отмечают высокое содержание холестерина и других компонентов.

Одной из актуальных проблем мирового здравоохранения стала проблема невынашивания беременности. И главными причинами считаются гипертония, инфекции, *курение* (действующее самостоятельно и многократно усиливающее остальные

причины), злоупотребление алкоголем. Кроме преждевременных родов по этой причине, из-за развития токсикоза у женщин, выкуривающих даже не более **пяти** сигарет в день, риск внутриутробной гибели плода незадолго до родов встречается в три раза чаще, чем у некурящих с такими же осложнениями. Кроме того, в последние недели беременности по причине курения часты случаи разрыва околоплодных оболочек, а также отслойки плаценты, сопровождаемой обильным кровотечением. Эти осложнения являются главной причиной появления на свет мертворожденных, нежизнеспособных детей, которые умирают в первые же дни или недели либо становятся инвалидами с детства.

И все же, несмотря на то что многие будущие родители курят, подавляющее большинство их детей рождается и живет. Но их психическое и физическое здоровье в той или иной степени все равно отличается от здоровья сверстников, родившихся у родителей, ведущих в целом здоровый образ жизни. Это неудивительно: у детей, подвергавшихся в период внутриутробной жизни табачной агрессии, функции всех органов и систем ослаблены. У определенной части потомства «никотинового зачатия» врожденные пороки сердца, почек, печени диагностируются, по крайней мере, в два-три раза чаще, чем у детей некурящих родителей.

Еще больше детей рождается с симптомами нервно-психической неполноценности, которые сначала могут и не проявить себя, но обязательно дадут о себе знать в школьные годы, когда детский организм подвергается значительным стрессовым нагрузкам. В арсенале детских психиатров недавно появился новый термин — «синдром врожденной нервозности». Ставится он детям, родившимся в семьях курильщиков и склонных к алкоголизму, тем более что в 95% случаев второе совмещается с первым. Серьезно страдают у малышей и обменные процессы. Замедляется формирование костей из-за снижения темпов отложения кальция. Ухудшается синтез веществ, необходимых для активно делящихся клеток развивающегося организма, разрушается ряд витаминов, страдает белковый обмен.

В целом потомство курящих родителей растет и развивается замедленными темпами. К году дети не набирают достаточного веса, а их рост отстает на один сантиметр. Главной причиной такого отставания считается хроническое кислородное голодание тканей во время внутриутробного развития, вызванного, как уже отмечалось выше, угарным газом, а также отравлением никотином.

Многолетние наблюдения педиатров за состоянием здоровья детей курящих матерей показывают, что кроме отставания в весе и задержки роста малыши позже делают первые шаги, позже произносят первые слова, позже плачут от прорезающихся зубов. У некоторых детишек особо увлекающихся табаком матерей даже диагностируются стертые и легкие формы олигофрении. В некоторых случаях отмечается малокровие, в связи с чем с первых лет жизни дети выглядят бледными и утомленными.

Как ни грустно это отмечать, молодое поколение начинает задыхаться от табачного дыма еще с самых первых клеток и минут своей жизни. Подвергаясь вредному воздействию этого яда, дети все больше и больше привыкают к нему и в большинстве случаев продолжают дело родителей — закуривают, становясь взрослыми и все повторяется опять¹⁾.

¹⁾К великому сожалению, по данным Комиссии по здравоохранению и охране общественного здоровья Мосгордумы, среди московских школьников среднего и старшего возраста курят 80% мальчиков и почти все девочки.

Поверьте, если мать курит в присутствии своего ребенка (а во время беременности вместе с ним), — это самое убедительное доказательство, как она его «любит».

Дым, уносящий здоровье

То, что трудно перестать курить, есть ложное представление, внушение, которому нельзя поддаваться. Бросив курить, я с этого времени стал совершенно другим человеком. Просиживаю до пяти часов сразу за работой, встаю совершенно свежим, а прежде, когда курил, чувствовал усталость, головокружение, тошноту, туман в голове.

Лев Николаевич Толстой

Выкуривание даже одной сигареты вызывает широкий спектр физиологических реакций. Для большинства новых курильщиков вкус выкуриваемой сигареты ужасен. Частота сердечных сокращений возрастает в течение одной минуты с начала курения и может вырасти на 30% в первые 10 мин. Кровяное давление возрастает, а периферическое кровообращение замедляется, что приводит к понижению температуры кожи. При воздержании от регулярного курения на 24 ч пульс замедляется во время отдыха на примерно 10 ударов в минуту, но первая же сигарета, выкуренная после этого перерыва, вызывает немедленное увеличение частоты сердечных сокращений.

Курение усиливает физические проявления стресса в организме и не позволяет, как обычно считается, курильщику расслабиться. Исследования, при которых психологическими стрессами служили видеоигры, показали, что такой стресс вызывает учащение пульса на 12 ударов в минуту и рост систолического артериального давления на 15 мм рт. ст. Курение во время такой деятельности вызывает дальнейшее повышение этих параметров: увеличивается пульс примерно на 30 ударов в минуту, а систолическое артериальное давление — примерно на 20 мм рт. ст.

Моноксид углерода уменьшает насыщение кислородом крови, циркулирующей по органам и тканям тела. Это ухудшает функционирование мускулатуры и может плохо влиять на зрение, особенно на высоте.

Курение воздействует на мужскую репродуктивность следующими путями:

- 1) курение приводит к ухудшению сексуальных способностей мужчин. Возможными причинами служат ухудшение состояния кровеносных сосудов, пониженное среднее кровяное давление у курильщиков, а также ухудшение гормональной активности;
- 2) у курящих мужчин, по-видимому, изменяются выработка спермы, ее морфология и подвижность, а также секреция андрогенов;
- 3) исследования указывают на пониженную плотность спермы и увеличение абнормальной ее морфологии.

Сердечные болезни и инсульты более распространены среди курильщиков, чем среди некурящих. Курение сигарет является главным фактором коронарной болезни сердца. Никотин в табачном дыме вызывает существенное увеличение частоты сер-

дечных сокращений и кровяного давления. В результате курения сердце вынуждено работать с большей нагрузкой, и ему нужно больше кислорода. При этом монооксид углерода из табачного дыма снижает количество кислорода, которое переносится кровью к сердцу. Никотин и монооксид углерода повреждают стенки имеющих нормальный просвет артерий, и жироподобные вещества, циркулирующие в крови, просачиваются в эти стенки. В результате стенки артерий покрываются рубцами и утолщаются, их просвет суживается и почти перекрывается. Сердечная мышца остается здоровой, только если имеется хороший ток крови к ней через коронарные артерии.

С течением лет эти сосуды постепенно сужаются из-за дегенеративных процессов в их стенках, что является частью нормального процесса старения. У курильщиков этот процесс происходит быстрее обычного. Часто кровь, протекая через такие суженные сосуды, внезапно сворачивается с образованием тромбов (коронарный тромбоз) и вызывает серьезные повреждения сердечной мышцы. Коронарный тромбоз является распространенной причиной смерти мужчин и женщин в возрасте от 35 до 65 лет. Развитие и течение коронарной болезни сердца зависит от количества выкуренных сигарет, степени вдыхания и возраста начала курения.

Повышенный риск коронарной болезни сердца среди курильщиков резко снижается, как только привычка к табаку оставлена. После примерно трех лет некурения риск умереть от этой болезни становится примерно таким же, как и у некурящих. Продолжая курить после инфаркта, курильщик увеличивает свои шансы на второй инфаркт.

Помимо инсульта, внезапного сердечного приступа и коронарной болезни сердца, курение может иметь другие серьезные медицинские последствия. Симптомами периферической сосудистой болезни являются холодные кисти и стопы, что обусловлено сужением сосудов, несущих кровь к рукам и ногам. Если сгусток крови блокирует уже суженную артерию, это может привести к гангрене. Гангрена часто требует ампутации пальцев, рук или ног. Большинство людей, страдающих периферической сосудистой болезнью, являются курильщиками.

Курение в сочетании с воздействием химических или физических факторов или биологической пыли является исключительно опасным. Совокупное воздействие табачного дыма и токсических веществ из окружающей среды, в особенности на рабочем месте, намного увеличивает тяжесть негативных последствий, которые можно было бы ожидать от курения и токсической опасности, взятых в отдельности.

Курение еще больше увеличивает риск развития онкологических заболеваний при сочетании с воздействием таких веществ, как асбест, мышьяк, никель, красящие вещества, летучие смолы, алкоголь, радиация, а также с некоторыми патогенными микроорганизмами. Курение также увеличивает риск возникновения хронических заболеваний легких и астмы, связанных с воздействием пыли в горнодобывающей промышленности, с воздействием пыли животного и растительного происхождения, а также некоторых химических веществ.

Курильщики, которые на рабочем месте подвергаются действию асбеста, в 10–40 раз больше рискуют заболеть по сравнению с некурящими работниками асбестовой промышленности и в 90 раз больше по сравнению с теми, кто не курит и не подвергается действию асбеста на производстве.

С потреблением алкогольных напитков связано увеличение риска развития рака пищеварительного тракта. Употребление алкогольных напитков и курение табака еще больше увеличивают риск рака некоторых органов: полости рта, глотки и пищевода. Если курильщики проходили курс радиотерапии рентгеновскими лучами

при лечении рака молочной железы, риск рака легких у них возростал примерно в 10 раз.

Среди шахтеров-угольщиков распространение бронхитов у курильщиков гораздо выше, чем у некурящих. Различия между курильщиками, работающими в угольном забое, и некурящими показало, что курение оказывает в пять раз более сильное воздействие, чем угольная пыль.

Курящие шахтеры подвергаются большему риску развития хронического бронхита и эмфиземы. Возможным объяснением этого может служить то, что курение затрудняет вентиляцию легких, изменяя физические и химические свойства слизистых оболочек.

Систематическое изучение совокупного воздействия табачного дыма и других токсичных агентов производилось лишь в отношении ограниченного числа сочетаний. Весьма высока вероятность того, что опасность для здоровья возрастает, когда люди подвержены действию иных сочетаний табачного дыма и токсичных агентов.

Кожа, испытывающая недостаток кислорода из-за курения, становится сухой и серой. В нескольких исследованиях было показано, что на качество кожи влияет подверженность табачному дыму, вне зависимости от возраста и воздействия солнца. Курильщики имеют более раннюю и более выраженную морщинистость лица, особенно вокруг глаз и рта, в зависимости от количества выкуриваемых сигарет и длительности курения. У многих курящих людей развивается «лицо курильщика»: лицевые морщины расходятся под правильными углами от верхней и нижней губ или же неглубокие морщины появляются на щеках и нижней челюсти. К другим постоянно отмечаемым чертам лица относятся серый цвет кожи, изможденность, жесткий, изнуренный, грубый вид, а также оранжевые, пурпурные или красные тона кожи. Дым может воздействовать на кожу несколькими путями. Внешнее воздействие раздражающих химических веществ дыма может способствовать косоглазию, сухости или раздражению кожи или же обуславливать повреждение соединительной ткани.

Было также показано, что курение наносит ущерб коллагену и эластину, т. е. веществам, которые также важны для сохранения упругости кожи. Поэтому просветительные кампании, информирующие о воздействии курения на лицо, могут оказать большее влияние на молодежь, поскольку угроза развития других заболеваний может казаться слишком отдаленной, чтобы оказывать сдерживающее воздействие. В течение нескольких недель после прекращения курения цвет и строение кожи лица, как правило, улучшаются, потому что в организм поступает больше кислорода.

3.3. ПАССИВНОЕ КУРЕНИЕ

Всякий курильщик должен знать и помнить, что отравляет не только себя, но и других.

Н. А. Семашко

Чрезвычайно распространено заблуждение, что проблемы курильщика — исключительно его проблемы. Может быть, если курильщик курит один или в компании своих «единомышленников» на открытом воздухе, в отдалении от некурящих. Однако в большинстве случаев окружающие подвергаются воздействию табачного дыма, особенно члены семьи курящих дома на кухне, в туалете, а то и в жилых комнатах.

Факты и последствия пассивного курения. Мнение о том, что привычки, отрицательно влияющие на здоровье человека, являются его личным делом, глубоко порочно. Вот почему превентивная медицина, отчаявшись в результатах воспитательной работы в борьбе с нездоровыми привычками, все чаще обращается к мерам административного характера. В последние годы появляется все больше сведений о том, что так называемое пассивное, или принудительное, курение (вдыхание воздуха, загрязненного табачным дымом) способствует развитию у некурящих заболеваний, свойственных курильщикам (Рис. 3).

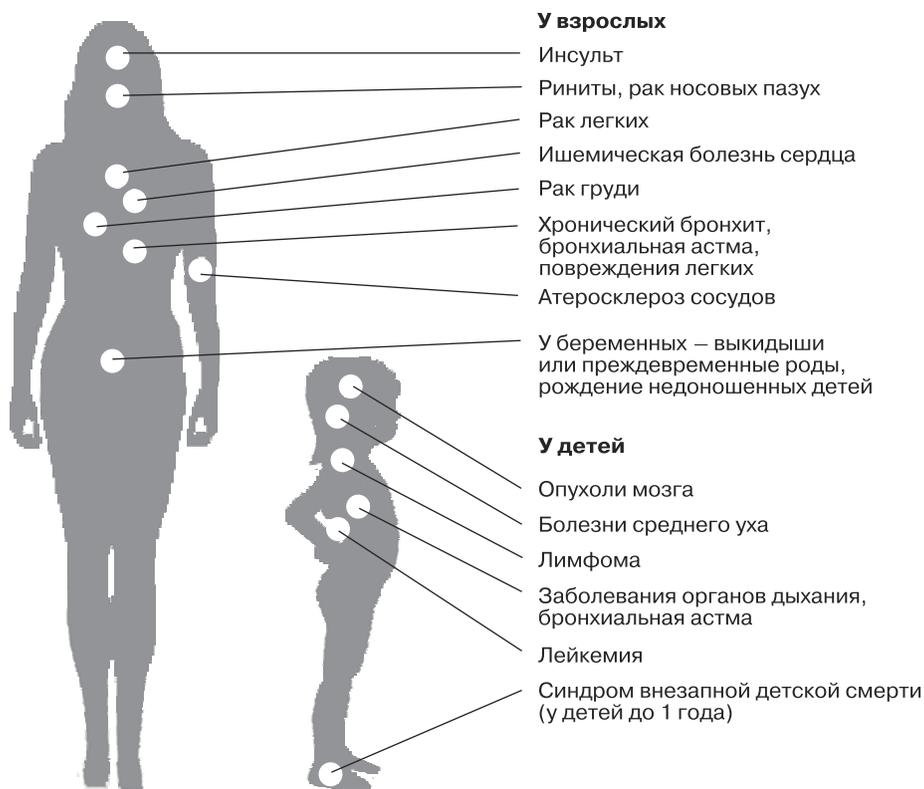


Рис. 3. Болезни пассивного курильщика

Риск, связанный с принудительным курением и пребыванием в табачном дыму, содержащем тысячи химических веществ, несомненно, высок. Зажженная сигарета в течение своей «короткой жизни» является источником бокового дымового потока (помимо главного потока, которым наслаждаются курильщики). Этот поток действует на окружающих, принужденных к пассивному курению и вдыханию вредоносных веществ. Представляет интерес определение дозы составных частей дыма, вдыхаемых при пассивном курении (табл. 1).

Вдыхаемая доза различных ингредиентов табачного дыма при активном и пассивном курении

Составные части	Вдыхаемая доза, мг	
	Активный курильщик (1 сигарета)	Пассивный курильщик (1 ч)
Угарный газ	18,4	9,2
Оксид азота	0,3	0,2
Альдегиды	0,8	0,2
Цианид	0,2	0,005
Акролеин	0,1	0,01
Твердые и жидкие вещества	25,3	2,3
Никотин	2,1	0,04

Приведенные данные свидетельствуют о том, что пассивный курильщик, находясь в помещении с активными курильщиками в течение одного часа, вдыхает такую дозу некоторых газообразных составных частей табачного дыма, которая равносильна выкуриванию половины сигареты. Доза вдыхаемых твердых частиц, в том числе смолы, несколько меньше и соответствует выкуриванию десятой части сигареты.

Ядовитые вещества, содержащиеся в табачном дыме, ингалируются курящими. Большая же часть попадает в воздух при паузах в курении, которые обычно длиннее, чем момент затяжки. Эти вещества ингалируются при принудительном курении. Так, например, *в боковом потоке дыма содержится в 3,4 раза больше бенз(а)пирена*, чем в основном потоке. Канцерогенные вещества отличаются от других ядов тем, что отдельные частичные дозы суммируются практически без потерь до достижения критических пороговых значений.

Особого внимания в этом отношении заслуживают *канцерогенные нитрозамины*. В побочной струе табачного дыма количество летучих нитрозаминов в 50–100 раз выше, чем в основной струе. Наиболее опасным из этих соединений является диметилнитрозамин. Животные ни одного вида не могут противостоять его канцерогенному действию. В основном он поражает печень и легкие. Если в жилых помещениях, где не курят, нитроамины не обнаружены, то на рабочих местах и в учреждениях, где в воздухе много табачного дыма, нитроамины обнаружены.

Если бы какой-либо прибор или механизм при своей работе высвобождал такое же количество канцерогенов, какое ингалируют миллионы пассивных курильщиков, его работа была бы немедленно запрещена.

Исследование феномена пассивного курения проведено во Франции, США и в других странах. В результате установлено отрицательное воздействие компонентов табачного дыма (оксида углерода, никотина, альдегидов, акролеина и др.) на состав крови, мочи и нервную систему пассивного курильщика. Особенно большой вред приносит оксид углерода, который, как ранее отмечалось, проникая через легкие в кровь, прочно соединяется с гемоглобином и препятствует доставке кислорода тканям. Обычно содержание образуемого при этом карбоксигемоглобина в крови человека колеблется от 0,4 до 1%. По данным ВОЗ, допустимое его содержание составляет 4%. Повышение концентрации карбоксигемоглобина до 16–20%

может вызвать летальный исход у лиц с сердечно-сосудистыми заболеваниями, а до 67–70% — у практически здоровых.

В настоящее время доказано, что пассивное курение является важным фактором риска развития рака легкого. Установлена статистически достоверная зависимость от времени пребывания в накуренных помещениях, поскольку побочный поток дыма содержит более высокую концентрацию канцерогена диметилнитрозамина, чем главный поток, вдыхаемый активным курильщиком.

В Японии проблема пассивного курения обострилась двадцать лет назад, когда были представлены данные о 14-летнем исследовании 91 540 некурящих японок в отношении показателей смертности от рака легкого в зависимости от курения их мужей. Женщины, мужья которых курили меньше пачки сигарет в день или более пачки, демонстрировали риск развития рака легкого соответственно в 1,5 и 2 раза больше, чем женщины, мужья которых не курили. Примерно аналогичные результаты были получены в 5-летнем ретроспективном исследовании более чем 300 гречанок, заказанном Министерством здравоохранения Греции. Оказалось, что у некурящих женщин, мужья которых выкуривали до 20 сигарет в день, риск развития рака легкого в 2,4 раза больше по сравнению с женами некурящих мужей, а при выкуривании более 20 сигарет в день — в 3,4 раза.

В ФРГ обследования больных бронхокарциномой показали, что 61,5% заболевших женщин сами не курили, но находились в атмосфере табачного дыма в домашних условиях. Характерно, что вероятность заболевания раком легкого у женщин резко увеличивается, если они сами курят хотя бы по 2–3 сигареты в день.

Риск развития рака легкого у детей зависит от курения их родителей, причем большее влияние при этом оказывает курение матери. Курение родителей является важным фактором при синдроме внезапной смерти младенца и связано с более высокими уровнями респираторных заболеваний, включая бронхиты, простуды и пневмонию у детей. Исследования, проводившиеся с 1970 г., неизменно показывают, что дети и новорожденные младенцы, подверженные действию окружающего табачного дыма у себя дома, имеют значительно повышенные уровни респираторных симптомов и инфекций респираторного тракта.

Среди главных результатов можно назвать следующие:

- 1) младенцы курящих родителей вдвое чаще страдают от серьезных респираторных заболеваний;
- 2) симптомы астмы наблюдаются вдвое чаще у детей курильщиков;
- 3) треть случаев экссудативного отита, наиболее распространенной причины глухоты у детей, может быть отнесена на счет курения родителей;
- 4) пассивное курение в детском возрасте предрасполагает детей к развитию хронических обструктивных заболеваний дыхательных путей, а также рака во взрослом возрасте.

В США синдром внезапной смерти младенца является главной причиной смерти детей первого года жизни и связан он с материнским курением. Исследователи обнаружили, что ежегодно в США по меньшей мере 6200 детей умирает в результате курения родителей: 2800 смертей связаны с низким весом новорожденных, обусловленным курением во время беременности; 2000 смертей относятся на счет синдрома внезапной смерти младенца, вызванной вторичным дымом; 1100 смертей обусловлены респираторными инфекциями; 250 младенцев погибли при пожарах из-за сигарет, спичек и зажигалок; 14 смертей — в результате астмы. Кроме того, ежегодно 5,4 млн детей страдает от несмертельной астмы и инфекционных заболеваний

уха, являющихся результатом курения родителей, что требует затрат на лечение в размере 4,6 млрд долл. в год.

Установлено, что состояние возбуждения и раздражительности у пассивно курящих в значительной степени связано с нахождением в табачном дыму. Очень чувствительна к раздражению слизистая оболочка носа и глаз, в частности, при нарастающем загрязнении помещения токсическими продуктами табачного дыма. Отмечены изменения психомоторных функций, особенно внимания и способности к усвоению знаний.

Всемирная организация здравоохранения призывает приложить большие усилия для запрещения курения в общественных местах, а также включить разработку вопросов пассивного курения в эпидемиологические исследования, посвященные проблемам курения. Попутно заметим, что табачное лобби во всех странах отрицает наличие веских доказательств того, что пассивное курение наносит значительный вред здоровью.

Таким образом, пассивное курение наносит существенный ущерб здоровью населения, приводя по сути к тем же самым патологическим проявлениям, что и активное табакокурение.

Статистические данные

Если бы я не курил, я прожил бы без страданий еще лет 10–15. . .

С. П. Боткин, великий русский доктор

Сорок лет эпидемиологических исследований в нескольких странах показали, что курение убивает примерно половину стойких курильщиков, которые пристрастились к этой привычке в подростковом возрасте, причем половину из них — до достижения ими возраста 70 лет. Большинство людей знает, что табак опасен, но лишь немногие, даже среди профессионалов здравоохранения, осознают, насколько он опасен в реальности.

Недавние исследования в США показали, что в группе американских мальчиков 15-летнего возраста табак, согласно прогнозам, убьет, прежде чем они достигнут 70 лет, в три раза больше из них, чем наркотики, убийства, самоубийства, СПИД, дорожно-транспортные происшествия и алкоголь вместе взятые.

В Российской Федерации в группе из тысячи 20-летних курильщиков, которые будут курить в течение всей своей жизни, мы можем ожидать, что до достижения возраста 70 лет один из них будет убит, девять погибнут в дорожно-транспортных происшествиях, а 250 будут убиты курением. Эти 250 умерших от курения людей потеряют около 22 лет ожидаемой продолжительности своей жизни. И еще 250 людей умрут после семидесяти лет от болезней, связанных с табаком.

Не думаю, что сами курильщики хотят попасть в эту статистику, **но для того, чтобы там не оказаться, нужно раз и навсегда отказаться от табака.** А тем, кто еще не привык к этой гадости и тем более не начал курить, стбит задуматься над тем, сколько они собираются прожить на этом свете.

4. ПРОБЛЕМЫ ОГРАНИЧЕНИЯ И ЗАПРЕЩЕНИЯ КУРЕНИЯ

Свобода — это осознанная
необходимость.

Г. В. Ф. Гегель

4.1. Где взять деньги на борьбу с табакокурением?

Государство провозглашает борьбу с незаконно полученными доходами, но само также получает такие доходы. Речь идет о части дохода от акцизных и иных налогов на табачные изделия. Согласно законодательству, продажа алкогольных напитков и табачных изделий лицам младше 18 лет запрещена. К сожалению, эта норма закона практически не выполняется, и несовершеннолетние легко могут приобрести эти опасные для здоровья товары. Налоги же выплачиваются независимо от того, кто именно приобрел эти изделия. Если государство не способно обеспечить выполнение собственного законодательства, то оно должно направить полученные деньги на обеспечение выполнения законодательства в отношении подростков и профилактику табакокурения среди них.

Такое использование средств уже давно практикуется в мире. В некоторых странах предусмотрено, что часть доходов государства от налогов на табачные изделия идет на цели укрепления здоровья. Так, в Финляндии на это выделяется 0,45% налогов, в Греции — 0,87%, в Португалии — 1%, в Катаре — 2%, в австралийском штате Виктория — 8%.

В Польше в 1999 г. принят закон, согласно которому на выполнение мероприятий Государственной программы снижения потребления табака из государственного бюджета ежегодно выделяется 0,5% доходов от акцизных налогов на табак. В Таиланде в августе 2001 г. сенат одобрил закон о создании Фонда укрепления здоровья, на работу которого выделяется 2% государственных доходов от акцизных налогов на алкоголь и табак. Управляет деятельностью фонда комитет во главе с премьер-министром страны.

В 1994 г. правительство Непала ввело налог на табак в размере 1 пайс (копейка) на сигарету (увеличенный до 2 пайсов в 1998 г.), чтобы создать фонд помощи больным раком. В то время не было никаких средств для лечения рака, и медицинские организации убедили правительство найти способ получить деньги. Было решено, что налог на табак предоставит необходимое финансирование, и законодательно установлено, что 75% дохода идет в онкологическую больницу, а оставшиеся 25% распределяются между другими больницами и службой пропаганды здоровья. Для управления фондом был создан комитет, в который вошли представители министерств, больниц и неправительственных организаций. Средства также использовались для пропаганды здоровья, в особенности по радио и ТВ. Эти коммерческие радиопередачи, которые транслируются с 1999 г., компенсируют потерю дохода радио, которая произошла в результате запрета рекламы табака. Сейчас этот налог составляет около 10% цены сигарет, и хотя она все еще остается низкой, в данное время, когда налог находится в сфере внимания общественности, он может действовать как способ предотвращения курения, в особенности среди молодежи.

Поэтому целесообразно включить в законодательство следующее положение: «На мероприятия по сокращению потребления табачных изделий ежегодно направ-

ляется 1% доходов Государственного бюджета от акцизов и ввозной таможенной пошлины на табачные изделия».

4.2. Десять причин запретить табачную рекламу и спонсорство

1. Табак убивает. Реклама табака создает позитивный климат социальной приемлемости и желательности курения. При этом табачные изделия являются единственными свободно доступными изделиями, которые убивают половину из всех тех, кто использует их в точном соответствии с намерениями производителей. В мире ежегодно погибает 4 млн мужчин и женщин из-за потребления этих изделий.

2. Табачная индустрия обманывает людей с помощью рекламы. Недавно раскрытые документы индустрии показывают, что в течение многих лет табачные компании сознавали, что в их изделиях содержатся компоненты, вызывающие зависимость и разрушающие здоровье. Но они не делали ничего, чтобы предупредить своих потребителей. Вместо этого они стремились рекламировать сигареты всеми мыслимыми способами, включая радио, телевидение, журналы, газеты, рекламные щиты и с недавних пор Интернет. Подавляющая часть рекламы является имиджевой, и поэтому через рекламу потребитель не получает никакой рациональной информации для выбора марки сигарет. Табачная индустрия знает, что так называемые «легкие» сигареты почти столь же опасны, как и обычные, но продолжает рекламировать их как более здоровую альтернативу.

3. Табачная индустрия лжет по поводу целей рекламы. Табачная индустрия утверждает, что цель рекламирования табака состоит в том, чтобы поощрить нынешних взрослых курильщиков сменить одну марку на другую. Но если это так, то стоимость переключения потребителя на другую марку огромна. С коммерческой точки зрения это неоправданно. Цель же является простой и ясной: вовлечь больше курильщиков и при этом как можно более молодого возраста. Подавляющее большинство проведенных в мире независимых научных исследований показывает, что реклама табака не только ведет к увеличению его потребления. Молодые люди, источник замены тех курильщиков, которые умирают, находятся под сильным воздействием этой рекламы.

4. Табачная индустрия не гнушается ничем, чтобы привлечь молодежь к табаку. Методы «косвенной рекламы» включают поддержку спортивных мероприятий и команд, поощрение рок-концертов и дискотек, размещение фирменных знаков на футболках, рюкзаках и других товарах, нравящихся молодежи и детям. Особую угрозу представляет раздача бесплатных сигарет и товаров с торговой маркой в тех местах, где собирается молодежь. Эта тактика напоминает тактику, используемую дилерами нелегальных наркотиков. Документ, обнаруженный Федеральной торговой комиссией США, предоставляет редкую возможность взглянуть на рекомендации по привлечению юных курильщиков, которые табачная индустрия получает из своих научных учреждений:

- представляйте сигарету как один из немногих пропусков во внешний мир;
- представляйте сигарету как часть запрещенного удовольствия от какой-либо продукции или действия;
- в вашей рекламе, создавая ситуацию из повседневной жизни юного курящего, в элегантном стиле делайте эту ситуацию на основе символов процесса взросления и зрелости;
- насколько возможно связывайте сигарету с большим количеством денег, сексом, пивом, вином и т. д.;

– не касайтесь вопросов здоровья и тем, связанных с этим.

Нетрудно увидеть, что существующие образцы как прямой табачной рекламы, так и рекламы, якобы направленной против подросткового курения (типа «курение — на это нет времени»), основаны именно на этих принципах.

5. Реклама табака требует цензуры информации на эту тему.

6. Доход от рекламы табака может иметь значение как для изданий, так и рекламных агентств, и поэтому вполне вероятно, что он влияет на позицию редакции в сообщениях о табачной индустрии, ее изделиях и ущербе для здоровья. Это является одной из причин, почему множество американских газет объявили, что они больше не будут принимать рекламные объявления от табачных компаний. Редакционная свобода будет обеспечена всесторонним запретом рекламы табака, что поставит все издания на равный уровень и предоставит возможность свободного обсуждения тематики здоровья.

7. Спонсорство просто является одним из видов рекламы табака.

8. Реклама путем спонсорства спортивных и культурных мероприятий обладает тремя основными преимуществами для табачной индустрии. Во-первых, такая реклама обычно не классифицируется как таковая и может обходить запрет рекламы. Таким путем рекламы табака попадет на телевизионный экран больше, чем было бы в обратном случае. Во-вторых, спонсирование обычно создает благодарных и финансово зависимых клиентов, на которых часто можно положиться в плане поддержки табачной индустрии. Наконец, и возможно, наиболее очевидное, спонсирование ассоциирует сигареты со спортивной доблестью и величием искусства. Табачные компании тратят сотни миллионов долларов на поддержку состязаний и команд, чтобы помочь сделать наглядными фирменные знаки, создавая в умах молодых людей связь между сигаретами и здоровьем, спортивным мастерством или сексом. Многие спортивные события, такие как автогонки «Формула-1», транслируются в международном масштабе, охватывая многомиллионную аудиторию и одновременно подрывая национальные запреты рекламы табака.

9. Табачная индустрия спонсирует спорт и культуру не ради благотворительности, а для рекламы своих марок среди молодежи или для покупки политического влияния. Те, кого спорт и культура интересуют сами по себе, занимаются благотворительностью без лишнего шума. Табачные фирмы вполне могли бы оказывать финансовую помощь с условием не упоминать их название и торговые марки во время спонсируемых мероприятий, но при этом прозрачно для общества. Они же свое спонсорство в одних случаях всячески подчеркивают (например, эксперты подсчитали, что в репортаже о соревновании Marlboro Гран-при эмблема или название компании за время передачи появились на экране 5933 раза), или тщательно скрывают (например, отремонтировав больницу в избирательном округе председателя комиссии парламента). Исследования показывают сильное воздействие такого спонсирования на молодежь, что и объясняет нацеленность табачных компаний на такие состязания, как автогонки. Те политики, которые прямо или косвенно выигрывают от спонсорства табачных компаний, обычно обслуживают их политические запросы в ущерб здоровью граждан.

10. Запрет рекламы облегчит выбор потребителей табачных изделий.

11. Немногие виды рекламы предоставляют настолько небольшое количество информации покупателям, как реклама сигарет. Какую информацию предоставляет суровый мужчина Camel с его кострами и каноэ или ковбой Malboro (в конце концов заболевший раком легких и за свой счет создавший ролик антирекламы табака и покаяния за рекламу курения)? В отсутствие имиджевой

рекламы потребители смогут делать свой выбор по собственным ощущениям, а не из желания быть похожим на ковбоя или выиграть рекламный приз. Те потребители, которых интересует объективная информация о табачных изделиях, смогут получить ее в специализированных табачных магазинах.

12. Население поддерживает запрет рекламы табака. Опросы населения в различных странах неизменно демонстрируют, что большинство населения выступает против рекламы табака.

13. Реклама табака уже запрещена во многих странах.

Многие страны мира уже ввели законодательный запрет рекламы табака. Примерами служат Италия (1962 г.), Исландия (1970 г.), Норвегия (1975 г.), Финляндия (1978 г.), Португалия (1982 г.), Новая Зеландия (1990 г.), Австралия (1992 г.), Таиланд (1992 г.), Франция (1993 г.), Швеция (1994 г.), Турция (1996 г.), Бельгия (1997 г.), Польша (1999 г.), Ирландия и Венгрия (2000 г.), Дания (2001 г.). Российская Федерация ввела запрет на рекламу табака на телевидении в 1996 г., а вот в метро она процветает до сих пор.

Опыт показывает: чтобы быстро и эффективно снизить потребление табака, необходимо ввести полный запрет на рекламу табака и на спонсорство, осуществляемое табачными компаниями. Запрет должен быть основан на следующих принципах:

- охватывать прямую и непрямую рекламу;
- распространяться на все средства массовой информации (радио, телевидение, прессу, рекламные щиты и т. д.);
- включать в себя запрет на спонсорство национальных и международных мероприятий.

4.3. Как воздействует реклама табака на общее потребление табачных изделий?

Относительно воздействия рекламы сигарет на потребителей ведутся энергичные дебаты. С одной стороны, сторонники здравоохранения доказывают, что такая реклама увеличивает потребление. Табачная индустрия, напротив, утверждает, что ее реклама не привлекает новых курильщиков, а просто поощряет устоявшихся курильщиков сохранять верность особой марке или сменить ее. Прямые механизмы, благодаря которым реклама и пропаганда могут увеличивать потребление табака, заключаются в следующем:

- стимулирование детей и молодых взрослых начать экспериментировать с табачными изделиями и таким образом инициировать регулярное курение;
- поощрение взрослых начать курить;
- поощрение нынешних курильщиков начать курить больше;
- подрыв побуждений курящих бросить курить;
- поощрение бросивших курение возобновить привычку.

Опросы детей о том, насколько они помнят рекламные сообщения, приводят к выводу, что реклама и пропаганда действительно воздействуют на спрос на сигареты и привлекают новых курильщиков.

В результате нескольких экономических исследований получен вывод, что реклама либо не оказывает никакого воздействия на общее потребление, либо лишь незначительно повышает его. Однако эти исследования могут вводить в заблуждение по следующим причинам. Экономическая теория гласит, что по мере увеличения рекламы изделия потребители постепенно все меньше и меньше реагируют на дополнительную рекламу, и в конечном счете расширение рекламы вообще

прекращает оказывать на них любое воздействие. Реклама в табачной индустрии находится на относительно высоком уровне — порядка 6% от коммерческих доходов, что приблизительно на 50% выше, чем в среднем по промышленности.

Интересные результаты получаются при запрете табачной рекламы и спонсорства. Когда правительства запрещают рекламу в одном из средств информации, например на телевидении, индустрия может заменить ее рекламой в других средствах информации. При этом воздействие на общие расходы маркетинга будет небольшим или нулевым. Соответственно, научные работы по исследованию эффекта частичного запрета рекламы сигарет обнаружили, что воздействие этой меры на курение было небольшим или отсутствовало вообще.

Однако там, где введены всесторонние ограничения на рекламу во всех средствах информации, а также на все пропагандистские действия, табачная индустрия имеет относительно немного альтернативных выходов. Начиная с 1972 года, большинство развитых стран ввело более строгие ограничения, охватывающие большее число средств информации, а также различные формы спонсорства. Недавнее исследование 22 стран с высоким уровнем доходов показало, что всесторонние запреты на рекламу и пропаганду сигарет могут уменьшить курение, а частичные запреты имеют слабый эффект или вовсе не имеют его. В исследовании делается вывод, что при введении всесторонних ограничений на рекламу потребление табака упало бы более чем на 6% в странах с высоким уровнем доходов. Моделирование, основанное на этих оценках, показывает, что запрет рекламы в Евросоюзе уменьшил потребление сигарет почти на 7%. В другом исследовании было задействовано 100 стран. Сравнились временные тенденции потребления сигарет в тех странах, где введен относительно полный запрет рекламы и пропаганды, и тех, где таких запретов нет. В странах с почти полным запретом нисходящая тенденция в потреблении была намного более крутой.

Было проведено международное исследование, посвященное влиянию рекламы табака на общий спрос на табачные изделия. Для исследований были отобраны четыре страны: Финляндия, Новая Зеландия, Франция и Норвегия. В каждой из этих стран был введен запрет на рекламу, который эффективно реализовывался. Во всех четырех странах в наличии имелось достаточно данных, чтобы оценить последствия запрета на научной основе. В каждом случае за запретом рекламы следовало снижение потребления сигарет на душу населения в возрасте 15 лет и старше на 14–37%. Такое снижение не могло объясняться влиянием других факторов.

Таким образом, для сокращения потребления табака частичные ограничения рекламы, например запрет ее только на радио и телевидении, почти не имеют смысла. Только практически полный запрет прямой и косвенной рекламы и спонсорства способен снизить уровень курения. При этом политически целесообразно оставить такие формы рекламы, как публикации в специализированных журналах для тех, кто торгует табаком, и в закрытых специализированных табачных магазинах. Это позволит получить поддержку тех, кому не нравятся слова «полный запрет», или тех, кто считает полный запрет неконституционным.

4.4. Является ли запрет на курение нарушением прав человека?

Одним из наиболее распространенных возражений против введения ограничений курения в общественных местах является утверждение о том, что они нарушают права курящих. Но ни одна страна не позволяет одной личности вредить другой в погоне за удовольствием или при удовлетворении вредной привычки. Существует

базовый принцип прав человека, который часто выражается таким образом: «Ваша свобода махать руками заканчивается там, где начинается мой нос». Именно так, а не «свобода моего носа кончается там, где другой человек размахивает руками», ибо рука делает больно носу, а не наоборот. В применении к табачному дыму это утверждение можно перефразировать как «Ваша свобода курить заканчивается там, где начинается воздух, которым я дышу». В случае с курением некурящий не наносит курящему вреда своими действиями. Он просто вынужден находиться с курящим в одном пространстве. Курящий же, зажигая сигарету и испуская табачный дым, наносит вред не только себе самому, но и окружающим.

Любой человек имеет право на защиту от действий, которые наносят ему вред. Ограничение возможностей производить действия, которые наносят или могут нанести ущерб, не являются нарушением прав человека. Данные ограничения не покушаются на свободу отравлять свой организм табачным дымом, они только защищают от отравления организмы других людей. Отсутствие запрета на курение является нарушением прав людей, особенно больных астмой и аллергией, поскольку фактически оно означает для них запрет заходить в рестораны и другие места с воздухом, отравленным табачным дымом.

Во всем мире табачной индустрией была запущена кампания, пропагандирующая «вежливость выбора» в качестве альтернативы запрету курения в общественных местах. Это подразумевает, что серьезная проблема табачного дыма может быть просто решена курильщиками, если они просят о разрешении прежде, чем закурить, или при наличии отдельных зон для курения и для некурящих. Табачный дым тут изображается как простое раздражение для некурящих, а не проблема для здоровья. Рассуждения, лежащие в основе кампании «вежливость выбора», исходят из предположения, что канцерогенные вещества становятся менее вредными, если их выделение происходит в вежливой обстановке.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Я лично бросил, не курю,
Я бодр и полон сил.
Родной Минздрав благодарю,
Что он предупредил.

Из той же песенки

Какими бы ни были устрашающими для здоровья и жизни человека последствия курения и как бы ни был научно обоснован вред табака, люди не бросят курить, пока ясно не почувствуют эти последствия на самом себе. Человеческая психология ориентирована на принцип «моя хата с краю». Но, к сожалению, «когда гром грянет», силы воли и возможностей организма на отказ от курения может уже не хватить. Впрочем, каждый решает для себя, как ему жить на этом свете, — с сигаретой в зубах или нет, но с одним условием — его решение не должно влиять на остальных. А это, как мы уже показали выше, практически невозможно. Воздействие табачного дыма на окружающих слишком велико, чтобы его игнорировать, слишком ощутимы материальные и моральные потери семей курильщиков, а самое главное — курильщик, а тем более курильщица отдаст в заложники табаку здоровье своих детей. Вот почему так необходимо всемерное ограничение и запрещение курения именно среди детей и молодежи.

Это общегосударственная задача в тех странах, которые думают о будущем. А наиболее эффективно она решается, если в основной ячейке общества — семье не курят и крайне отрицательно относятся к табаку. Я думаю, не меньше 50–60% гарантии в том, что молодежь не будет курить, заложена в здоровом образе жизни семьи и высоких моральных ценностях, в которых воспитывался молодой человек или девушка. От воспитания зависит, будет ли неизбежный дурной пример курения сверстников заразителен. Остальное зависит от средств массовой информации и идеологии массовой культуры в обществе. Если курить модно, значит, курить будут. А что модно, эта самая массовая культура и решает. Стоит задуматься, не заняться ли перевоспитанием молодого поколения журналистов и редакторов, в конечном счете они передают информацию в общество. А пока культура в обществе далека от идеала, приходится жить собственным умом. И те, кто научился им жить, мы, молодое и прогрессивное поколение, ясно заявим: **«Курению — нет!!!»**. Надеюсь, прочитанный реферат помог убедить вас в обоснованности этого заявления.

Федеральный закон Российской Федерации № 87-ФЗ «Об ограничении табакокурения» был подписан президентом В. В. Путиным 10 июля 2001 г. Если точно следовать прописанному в законе, кажется, что наша страна сделала серьезный шаг на пути к реальному сокращению количества дымящих сигарет. Однако по прошествии значительного времени со дня вступления его в силу никакой «силы» в нем не чувствуется. Положения закона явно недостаточны для эффективной борьбы с табачным злом, а не ее имитации. По-прежнему сигареты поштучно продают в любом кафе, в том числе и в высших учебных заведениях. Никто не видел и не знает толком, что включает в себя «место, специально отведенное для курения». Как правило, это ближайшая дверь на улицу или лестничная клетка. Дымят во всех сериалах, даже самых новейших, наши герои, не говоря уже об общественных и политических деятелях. Не слышно и серьезной антитабачной пропаганды в СМИ. Вывод в целом можно сделать такой: закон есть, закон действует, но исполнять его никто не собирается. Пока ждем перемен.

ЛИТЕРАТУРА

В подготовке данного реферата использовались материалы, размещенные в Интернете на сайтах www.sigarets.ru; www.nosmoking.ru; www.adic.org.ua; www.mv.ru, а также личный архив профессора В. А. Зайцева.

Р. С. В 2008 г. Российская Федерация ратифицировала Рамочную конвенцию ВОЗ по борьбе против табака. Глава Роспотребнадзора, Главный санитарный врач РФ Геннадий Онищенко уверен: «Необходимо ужесточить законодательство, сделать его «драконовским». По его убеждению, такие меры совершенно оправданны, так как курение наносит слишком огромный ущерб, в том числе экономический. Ежегодно от болезней, связанных с курением, в России умирает около 400 тыс. человек. Однако разработанный новый закон по борьбе с курением (в соответствии с Конвенцией ВОЗ) до сих пор торпедирует мощное табачное лобби.

МОРАЛЬНО-ЭТИЧЕСКИЙ КОДЕКС СТУДЕНТОВ ИПУР РХТУ ИМЕНИ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА



Настоящий кодекс определяет основные морально-этические принципы учебы и поведения студентов ИПУР РХТУ имени Д. И. Менделеева.

В процессе получения своей будущей специальности студент должен ответственно относиться к усвоению профессиональных знаний и умений, придерживаться этических норм и ценностей, мировоззренческих взглядов и убеждений, которые требуются для обеспечения устойчивого развития общества.

Для этого студент обязуется соблюдать и выполнять все нижеперечисленные положения Кодекса.

I. Быть ответственным за свою учебу:

- добросовестно и творчески овладевать знаниями, навыками, умениями и основами будущей специальности;
- учиться планировать и организовывать свое время, строго соблюдать учебную дисциплину и Устав РХТУ им. Д. И. Менделеева;
- развивать аналитическое и системное мышление, учиться критически сопоставлять, анализировать и сравнивать различные факты и информацию; помнить о том, что системное мышление служит проявлением целостного синергетического подхода к восприятию окружающего мира;
- учиться работать с литературой, анализировать поступающую информацию, творчески подходить к написанию рефератов, обзоров, статей;
- принимать активное участие в научной работе, проводимой сотрудниками и студентами ИПУР;
- совершенствовать навыки устной и письменной коммуникации: выступать с докладами и сообщениями, участвовать в конференциях и диспутах;

- учиться работать в команде и выстраивать гармоничные межличностные отношения: помогать своим коллегам в решении возникающих проблем, уважать сокурсников, студентов других факультетов, преподавателей и сотрудников;
- в конфликтных ситуациях стараться находить то, что нас объединяет с другими людьми, обществом, природой, прошлыми и будущими поколениями;
- развивать лидерские качества и проявлять инициативу и активность в общественной жизни университета;
- формировать умение самостоятельно выбирать решение из множества вариантов и нести за него ответственность;
- учиться прогнозировать и предвидеть возможные результаты своей деятельности, не допускать последствий, вредных для окружающей среды, здоровья и безопасности человека и общества; всегда помнить, что **устойчивому развитию нет альтернативы**;
- изучать и руководствоваться в своей деятельности основными положениями Хартии Земли.

II. Формировать новую духовно-нравственную культуру:

- формировать новое (коэволюционное) мировоззрение, основанное на том, что человек, являющийся гармоничной частью природы, умеет согласовывать потребности свои и общества с возможностями биосферы;
- распространять идею устойчивого развития среди коллег, сверстников и населения в целом;
- стремиться всесторонне и гармонично развивать свои способности, развивать свой духовный мир, изучая классическую и современную литературу, музыку, живопись и т. д.;
- стараться следовать нравственному принципу **«Не навреди!»** — себе, ближнему, природе, обществу и будущим поколениям;
- развивать здоровый оптимизм и уверенность в собственных силах путем постановки благородных целей и их реализации;
- всегда стремиться делать добро людям, обществу, природе;
- повышать свою гражданскую активность, быть в курсе всех событий в стране и мире;
- быть готовым нести ответственность за последствия своей будущей профессиональной деятельности, так как ответственность характеризует зрелую личность, осознающую свою связующую роль между прошлыми, настоящими и будущими поколениями.

III. Соблюдать этические нормы поведения:

- с уважением и благодарностью относиться к преподавателям и их благородному труду Учителя. Взаимоотношения между студентами и преподавателями должны основываться на взаимоуважении

и сотрудничестве, тактичности и корректности, вежливости и взаимопомощи;

- соблюдать культуру поведения в вузе: уважать традиции университета, беречь его имущество, следить за чистотой и порядком, на территории университета, не курить в стенах университета;
- вести здоровый образ жизни, адекватно воспринимать все жизненные ситуации, соблюдая нормы в речи, одежде, поведении;
- всегда помнить, что **«свобода — это осознанная необходимость»**.

Везде и всегда оберегать честь и достоинство студента-менделеевца, последователя великого ученого Дмитрия Ивановича Менделеева, внесшего значительный вклад в развитие химической науки, российского общества и образования!

Принят Ученым Советом ИПУР 24 октября 2007 г.

КАК СОЗДАВАЛИСЬ ПРИРОДООХРАННЫЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

После Стокгольмской конференции (1972 г.) по вопросам охраны окружающей природной среды во всех странах значительно активизировалась природоохранная деятельность. Потребовались специалисты. МХТИ им. Д. И. Менделеева стал одним из первых вузов, где была организована подготовка специалистов в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Споры по вопросу необходимости подготовки инженеров в этой области споров практически не было — споры были только вокруг сути специальности и ее названия. А вот организация ВАКовской специальности проходила крайне сложно и изобиловала драматическими ситуациями. По стечению обстоятельств я оказался в гуще всех этих событий.

В 1981 г. меня назначили председателем секции «Обезвреживание, переработка и утилизация отходов» Межведомственного научно-технического совета по комплексным проблемам охраны окружающей природной среды и рациональному использованию природных ресурсов (МНТС) при Государственном комитете СССР по науке и технике (ГКНТ СССР).

Заместителями председателя секции были: замечательный ученый и организатор, директор Всесоюзного научно-исследовательского, проектно-конструкторского и технологического института вторичных ресурсов Госнаба СССР (ВИВР), доктор техн. наук, профессор С. В. Дуденков; заместитель начальника Отдела природопользования и защиты окружающей природной среды ГКНТ СССР А. Ф. Ключнев; заместитель начальника Отдела по использованию вторичных ресурсов Госплана СССР, кандидат техн. наук А. П. Цыганков.

Секция состояла из 50 человек, в ее состав входили начальники (или их заместители) научно-технических управлений большинства министерств и высококвалифицированные специалисты и ученые, в том числе академик В. В. Кафаров.

В то время в нашей стране не было единого органа, руководившего охраной окружающей среды и рациональным использованием природных ресурсов, и эти вопросы решались в Госплане и Госнабе СССР, а координирующим был ГКНТ СССР.

В МНТС были секции: по безотходному производству (председатель — академик Б. Н. Ласкорин), по водным проблемам (председатель — академик С. В. Яковлев) и др.

Особенно тесным было взаимодействие с секцией по безотходному производству, с которой мы, как правило, проводили совместные заседания. Однако академик Ласкорин был всегда очень занят, поэтому подготавливать и проводить эти заседания приходилось в основном мне.

Когда встал вопрос об организации новой инженерной природоохранной специальности (речь идет о специальности «Экология и охрана окружающей среды»), при поддержке наших коллег мы получили одобрение в Госплане СССР на ее организацию и название — «Промышленная экология», по аналогии с названием кафедры в МХТИ им. Д. И. Менделеева. Назвать так кафедру предложил я, далеко не все с этим были согласны, но министр высшего и среднего специального образования СССР, бывший ректор МХТИ им. Д. И. Менделеева Г. А. Ягодин, поколебавшись, согласился, и вопрос с названием кафедры был решен. *Это первая в мире кафедра под таким названием!* Было очень приятно, когда это подчеркнули организаторы международного семинара по вопросам промышленного симбиоза (у нас это называется «территориально-промышленные комплексы») в Калундборге (Дания, 1996 г.), куда я был специально приглашен и где мне было предложено выступить с докладом. Возвратившись однажды из своих многочисленных заграничных командировок, проф. Н. П. Тарасова, член Исполкома Международного союза по теоретической и прикладной химии сказала, как показалось мне, с гордостью за нас, что американцы тоже организовали кафедру с таким же названием (Industrial Ekology). Сейчас кафедр с таким названием сотни (по моему мнению, больше чем надо, тем более что во многих из них очень слабый преподавательский состав).

Однако название специальности «Промышленная экология» не прошло в Минвузе СССР. Поэтому название приняли такое, которое подходило бы и для университетов. Так появилась специальность 0837 — «Экология и охрана окружающей среды».

Гораздо труднее оказалось организовать специальность высшей квалификации для научных работников 11.00.11 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» (в настоящее время — 03.02.08 «Экология»). Дело в том, что ряд уважаемых академиков (мне бы не хотелось называть их имена) высказывались против введения этой природоохранной специальности. Не менее уважаемые академики (и, я бы сказал, более компетентные в природоохранных вопросах), такие как И. В. Петрянов-Соколов, Б. Н. Ласкорин, С. В. Яковлев, и многие другие ученые эту идею поддержали. Основное возражение оппонентов сводилось к такому, с первого взгляда, весьма важному аргументу, что природоохранные вопросы должны присутствовать во всех специальностях. Абсолютно верно! Но я хотел бы проиллюстрировать суть проблемы на конкретном примере.

В 1981 г. в МХТИ им. Д. И. Менделеева, как и во все вузы страны, поступило Инструктивное письмо Минвуза СССР о необходимости введения специального раздела «Охрана окружающей среды» во всех дипломных работах и проектах. Мне было поручено проректором по учебной работе Б. И. Степановым организовать эту работу в институте. При первом же обсуждении этого вопроса с заведующими специальных

кафедры они резонно заявили, что все «за», но необходимо специальное методическое руководство и консультации специалистов. Методичка срочно была мной подготовлена и, что особенно хотелось бы отметить, немедленно напечатана. В ней было подчеркнуто, что ответственность за раздел возлагается на специальные кафедры, а контроль за разделом и консультации студентов (и преподавателей, руководивших дипломниками) на кафедру «Промышленная экология» (на которой я работал в то время), т. е. на специалистов, много лет работающих в этой области. И дело пошло! В настоящее время этот раздел консультируют преподаватели кафедры проблем устойчивого развития и я в том числе.

Специалисты всех областей должны обладать определенными знаниями в такой жизненно важной области, как охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Однако для разработки соответствующих программ и организации всей работы нужны высококвалифицированные специалисты в этой области — профессионалы, тем более что это одна из сложнейших отраслей человеческих знаний. По этому пути, собственно, идет и весь цивилизованный (как принято сейчас говорить) мир.

Номенклатура ВАКовских специальностей находилась в ведении ГКНТ СССР по науке и технике и пересматривалась раз в пять лет. В связи с тем что я оказался в нужное время и в нужном месте, с самой активной помощью Отдела природопользования и защиты окружающей природной среды ГКНТ СССР были подготовлены, согласованы с другими отделами комитета и переданы все необходимые материалы в Комиссию по пересмотру номенклатуры специальностей, возглавляемую председателем ГКНТ СССР по науке и технике, академиком Н. П. Лаверовым. Поскольку Н. П. Лаверов находился под большим «академическим» давлением оппонентов введения природоохранной специальности (мне так было сказано), необходимы были дополнительные аргументы. И здесь существенную помощь оказала пресса.

На очередном чаепитии (действительно чаепитии с прекрасным чаем и интереснейшей дискуссией) в редакции газеты «Вечерняя Москва», в которой принимали участие и корреспонденты других газет, я пожаловался на сложившуюся ситуацию и возможность отрицательного решения подготовительной Комиссии. Мне было предложено немедленно написать статью в газету «Вечерняя Москва» о крайней необходимости введения такой специальности, которая сразу же была должным образом отредактирована, опубликована в следующем же номере и перепечатана другими газетами. Кроме этого, журналисты посоветовали мне «организовать» письма научной общественности, горячо поддерживающей эту идею. Поддерживающих было действительно много, а вот писать эти письма во многих случаях пришлось сотрудникам нашей кафедры: С. В. Макарову, В. А. Кузнецову, Е. Н. Будрейко и другим. Были, естественно, и инициативные письма. Однако ни одного письма

против не было получено. Все эти публикации с соответствующими письмами редакторов газет направлялись Н. П. Лаверову, а некоторые из них дополнительно звонили ему «по вертушке» и ... дело было сделано. Не обошлось и без компромисса.

Мне, естественно, хотелось, чтобы эта специальность была в разд. 05 — технические науки, но геологи и географы заявили, а их поддержал Н. П. Лаверов: «Вы получили технические, химические и экономические науки, дайте возможность и нам решить наши проблемы, т. е. ввести географические, геологические и ряд других». В результате этого специальность «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» оказалась под номером 11.00.11 в разделе географических наук. Было опасение неприятностей при рассмотрении диссертационных работ в ВАКе, что, собственно, и наблюдалось в начале работы советов, но потом все отрегулировалось.

Однако время идет, проблемы усложняются, и для их решения нужны новые подходы. Развитием идеи мало- и безотходных технологий (в настоящее время их чаще называют «чистыми» и «зелеными» технологиями, но суть одна и та же) стала *промышленная экология*. Ее методы и средства позволяют решать многие стоящие перед человечеством проблемы, прежде всего технического и технологического плана, но этого становится мало.

В 1987 г. Комиссия ООН опубликовала доклад «Наше общее будущее», где впервые появился термин «устойчивое развитие» (Sustainable Development) и его обоснование. Идее устойчивого развития было уделено большое внимание на Всемирной конференции ООН по окружающей среде и развитию (1992 г., Рио-де-Жанейро), а ее итоги подвел Всемирный саммит по проблемам устойчивого развития (2002 г., Йоханнесбург).

В понятии «устойчивое развитие» получили дальнейшее развитие экологические, социальные, моральные и другие проблемы современного мира.

В 1995 г. член-корр. РАН, профессор Н. П. Тарасова организовала в РХТУ им. Д. И. Менделеева кафедру «Проблемы устойчивого развития» (ПУР), а в 2000 г. — Институт химии и проблем устойчивого развития (ИПУР) для решения этих сложнейших проблем современного общества и подготовки специалистов.

Безусловно, что в скором времени будет создана и новая специальность — «*Проблемы устойчивого развития*» или что-то в этом роде.

В заключение я хотел бы еще раз подчеркнуть, как важно для решения любого вопроса оказаться в нужном месте и в нужное время и иметь хороших соратников.

В. А. Зайцев,
профессор кафедры проблем устойчивого развития
РХТУ им. Д. И. Менделеева

ЛИТЕРАТУРА

1. *Коптюг В. А.* Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992). Новосибирск, СО РАН, 1992. — 31 с. (обзор информ.).
2. *Зайцев В. А.* Промышленная экология. — М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 1998. — 140 с.
3. Allenby Braden Industrial Ecology: The Materials Scientist in Invironmentally Constrained Word. The Materials Research Society Bulletin, 1992, March, Pittsburgh, PA. — p. 45.
4. *Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рандерс Й.* За пределами роста: Учеб. пособие. — М.: Издательская группа «Прогресс», «Пангея», 1994. — 302 с.
5. *Сидоренко Г. И., Крутько В. Н.* Сохранить здоровье нации // книга «Экологическая альтернатива». — М.: «Прогресс», 1990. — С. 760–795.
6. Декларация о малоотходной и безотходной технологии и использовании отходов // Химия и жизнью. — 1980. — № 4. — С. 85–86.
7. Report of the Seminar. Senior Advisers to ECE Governments on Environmental Problems. ENV/Sem. 15/2. November, 1984.
8. Report of the Workshop on Country-Specific Activities to Promote Cleaner Production. Industry and Environment Program Activity. Center UNEP, Paris, France. 17–19 September, 1991.
9. *Anastas P. T., Warner J. C.* Green Chemistry. Theory and Practice. — N. Y.: Oxford University Press, 1998. — P. 30.
10. *Зайцев В. А., Кузнецов В. А., Тарасова Н. П.* «Зеленая химия» и безотходное производство: Тезисы докладов XVIII Менделеевского съезда по общей и прикладной химии: в 5 т. — Т. 5. — М.: Граница, 2007. — С. 368.
11. *Стефан Шмидхейни и члены Совета предпринимателей.* Смена курса / пер. с англ. — М.: Геликон, 1994. — 356 с.
12. The Environmental Management of Industrial Istates, 1997. UNEP IE Technical Report № 39. — P. 137.
13. *Зайцев В. А.* Безотходные и малоотходные процессы сегодня и завтра // Химия. — № 3. — М.: Знание, 1987. — 32 с.
14. *Вернадский В. И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1987. — 339 с.
15. *Дуглас У. О.* Трехсотлетняя война. Хроника экологического бедствия: пер. с англ. — М.: Прогресс, 1975. — 238 с.
16. *Tarasova N. P., Zaitsev V. A.* Sustainable Education in Russia: The Experience of the Mendeleev University of Chemical Technology, Education for Sustainable Development in Action, Good Practices № 3. — 2007, UNESCO Education Sector. — P. 151–156.

17. *Зайцев В. А., Кучеров А. А.* и др. Очистка дымовых газов тепловых электростанций // Хим. пром-сть. — 1993. — № 3–4. — С. 119–127.
18. *Зайцев В. А., Новиков А. А., Родин В. И.* Производство фтористых соединений при переработке фосфатного сырья. — М.: Химия, 1982. — 248 с.
19. *Кучеров А. А., Сулейманов А. Ю., Зайцев В. А.* Термокаталитический реактор для очистки отходящих газов от органических веществ // Хим. пром-сть. — 1997. — № 11. — С. 754–758.
20. *Арянин А. Г., Ахромеев К. А., Зайцев В. А.* и др. Термокаталитическое обезвреживание полициклических и полихлорированных ароматических соединений // Хим. пром-сть. — 1994. — № 6. — С. 372–376.
21. International Directory of Solid Waste Management 1997/8. The ISWA Yearbook. — 564 p.
22. *Шубов Л. Я., Ставровский М. Е., Шехурев Д. В.* Технология отходов. — М.: ГОУВПО «МГУС», 2006. — 410 с.
23. *Шубов Л. Я., Ройзман И. Я., Дуденков С. В.* Обогащение твердых бытовых отходов. — М.: Недра, 1987. — 238 с.
24. *Федоров Л. Г.* Оптимизация системы транспортировки твердых бытовых отходов в г. Москве. М.: Экотехпром, 1997. — 51 с.
25. *Вербавичус Э. Б.* Обезвреживание и использование токсичных промышленных отходов при производстве керамических материалов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1989. — 27 с.
26. Новые территориальные комплексы СССР. — М.: Мысль, 1977. — 268 с.
27. The Source of Value. An Executive Briefing and Sourcebook on Industrial Ecology. February 1996. Battelle, Pacific Northwest National Laboratory.
28. *Cote R. P., Ellison R., Grant J.* Designing and Operating Industrial. — Canada: Dalhousie University, 1994. — 112 p.
29. *Бутт Ю. М.* Технология цемента и других вяжущих материалов. М.: Стройиздат, 1976. — 407 с.
30. Химическая технология керамики и огнеупоров / под ред. П. П. Будникова. — М.: Стройиздат, 1962. — 707 с.
31. *Павлушкин Н. М., Сентюрин Г. Г., Ходаковская Р. Я.* Практикум по технологии стекла и ситаллов. — М.: Стройиздат, 1970. — 512 с.
32. *Позин М. Е.* Технология минеральных солей: в 2 т. — Л.: Химия, 1974. — 1556 с.
33. *Ахметов С. А.* Технология глубокой переработки нефти и газа: Учеб. пособие для вузов. — Уфа: Гилем, 2002. — 672 с.

34. Харлампович Г. Д., Кауфман А. А. Технология коксохимического производства. М.: Металлургия, 1995. — 496 с.
35. Шицкова А. П. Охрана окружающей среды от загрязнения предприятиями черной металлургии / Ю. В. Новиков, Н. В. Клишкина и др. — М.: Металлургия, 1982. — 208 с.
36. Снурников А. П. Комплексное использование сырья в цветной металлургии. — М.: Металлургия, 1972. — 272 с.
37. Легасов В. А., Кузин Н. Н. Проблемы энергетики // Природа. — 1981. — № 2. — С. 8–23.
38. Экологические аспекты устойчивого развития теплоэнергетики России / под ред. Вяхирева Р. Н. — М.: Издательский дом «Ноосфера», 2000. 187 с.
39. Медоуз Д. Х., Рандерс Й., Медоуз Д. Л. Пределы роста. 30 лет спустя. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. — 342 с.
40. Федоров Е. К. Экологический кризис и социальный прогресс. — М.: Гидрометиздат, 1977. — 175 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Часть I. Предпосылки и теоретические основы промышленной экологии.	7
Глава 1. Основа промышленной экологии— безотходные или чистые производства.	7
1.1. Рост производства, потребления сырья и образования отходов	7
1.2. Загрязнение окружающей среды	10
1.3. Состояние здоровья и продолжительность жизни	11
1.4. Безотходное, или чистое, производство	15
Контрольные вопросы	18
Глава 2. Методы и средства промышленной экологии.	19
2.1. Основные принципы организации малоотходных и безотходных (чистых) производств	19
2.2. Требования к технологическому процессу	20
2.3. Требования к аппаратурному оформлению, сырью, энергоресурсам и готовой продукции	21
2.4. Требования к организации производства	22
Контрольные вопросы	26
Глава 3. Морально-этические проблемы промышленной экологии. Методы стимулирования.	27
3.1. Общественность и окружающая среда	28
3.2. Экологическая этика	31
3.3. Методы стимулирования	35
Контрольные вопросы	38
Часть II. Защита атмосферы и гидросферы. Переработка и обезвреживание отходов.	39
Глава 4. Рациональное использование воздуха.	39
4.1. Основные направления работ по снижению загрязнения воздушного бассейна	40
4.2. Основные принципы выбора метода очистки газовых выбросов от твердых частиц и аэрозолей. Выбор аппаратуры	41
4.3. Очистка топочных газов от диоксида серы	46
4.4. Очистка отходящих газов от оксидов азота	51

4.5. Очистка отходящих газов от фтор- и хлорсодержащих соединений	63
4.6. Очистка отходящих газов от оксида углерода и углеводородов	63
4.7. Рециркуляция газов	65
Контрольные вопросы	66
Глава 5. Рациональное использование воды	68
5.1. Создание замкнутых водооборотных систем	70
5.2. Основные принципы создания замкнутых водооборотных систем	71
5.3. Основные методы переработки (очистки) сточных вод	74
5.4. Очистка от взвешенных веществ (суспензий и эмульсий)	75
5.5. Очистка от органических веществ	75
5.6. Очистка от неорганических веществ	79
5.7. Переработка рассолов и рапы	81
Контрольные вопросы	82
Глава 6. Переработка и обезвреживание бытовых и промышленных отходов	83
6.1. Определение и классификация отходов	84
6.2. Основные тенденции решения проблемы отходов	87
6.3. Твердые бытовые отходы	88
6.4. Вывоз на свалки (полигоны)	97
6.5. Сжигание с использованием и без использования тепла	100
6.6. Компостирование твердых бытовых отходов	108
Контрольные вопросы	109
Глава 7. Переработка, обезвреживание и захоронение опасных отходов	110
7.1. Высокотемпературное обезвреживание токсичных веществ	115
7.2. Обезвреживание токсичных отходов при производстве цемента	117
7.3. Обезвреживание токсичных отходов при производстве строительной керамики	118
7.4. Обезвреживание ртутисодержащих отходов	123
Контрольные вопросы	127
Глава 8. Территориально-производственные комплексы и эколого-промышленные парки	128
8.1. ТПК — наиболее эффективная форма организации производств	128
8.2. Промышленные экосистемы и эко-промышленные парки	130
8.3. Промышленные экосистемы	130
8.4. Эко-промышленные парки	133
Контрольные вопросы	134
Часть III. Экологические проблемы основных производств	135
Глава 9. Экологические проблемы производства стройматериалов	136
9.1. Классификация строительных материалов	137
9.2. Вяжущие материалы	137
9.3. Цемент	139
9.4. Шлакопортландцемент	145
9.5. Строительная керамика	145
9.6. Кирпич	146

9.7. Черепица	149
9.8. Керамзит и аглопорит	150
9.9. Стекло	152
9.10. Ситалл и шлакоситалл	154
9.11. Экологические проблемы производства строительных материалов	155
Контрольные вопросы	160
Глава 10. Экологические проблемы химической промышленности. Производство неорганических веществ	161
10.1. Комплексная переработка фосфатного сырья	161
10.2. Комплексная переработка калийного сырья	164
10.3. Пути совершенствования производств важнейших химических продуктов	166
10.4. Основные экологические проблемы химических производств	176
Контрольные вопросы	178
Глава 11. Экологические проблемы нефтеперерабатывающих заводов	179
11.1. Краткая характеристика и классификация НПЗ	180
11.2. Современное состояние и тенденции развития нефтеперерабатывающей промышленности в России и мире	186
11.3. Проблемы экологизации технологии в нефтепереработке	188
11.3.1. Мероприятия по снижению экологической нагрузки на воздушный бассейн	190
11.4. Основные методы очистки нефтесодержащих стоков	198
11.5. Загрязнение почвенного слоя	201
11.6. Необходимость глубокой переработки нефти	203
Контрольные вопросы	204
Глава 12. Экологические проблемы коксохимического производства	205
12.1. Для чего нужен кокс?	205
12.2. Сырье и технология производства кокса	207
12.3. Токсичные вещества коксохимических предприятий	213
12.4. Основные проблемы коксохимического производства и пути их решения	214
12.5. Утилизация отходов	227
12.6. Бессточное коксохимическое производство	228
Контрольные вопросы	228
Глава 13. Экологические проблемы производства черных металлов	229
13.1. Особенности металлургического производства	229
13.2. Пути совершенствования металлургического производства	234
13.3. Использование отходов черной металлургии	236
13.4. Использование вторичных топливно-энергетических ресурсов в черной металлургии	239
13.5. Бескоксый метод получения стали	241
Контрольные вопросы	243
Глава 14. Экологические проблемы производства цветных металлов	244
14.1. Экологические особенности цветной металлургии	244
14.2. Производство меди	245
14.3. Свинцово-цинковое производство	253

14.4. Получение никеля и кобальта.	260
14.5. Новые процессы комплексной переработки полиметаллических сульфидных руд в цветной металлургии	262
14.6. Алюминий.	267
14.7. Экологические проблемы производства и потребления цветных металлов	271
14.8. Регенерация и обезвреживание цветных металлов из отходов гальванических производств	273
Контрольные вопросы.	275
Глава 15. Экологические проблемы энергетики	276
15.1. Роль энергетики в экономике	278
15.2. Основные способы получения энергии.	279
15.3. Запасы энергетических ресурсов и их роль в современной энергетике	296
15.4. Энергоемкость экономики и энергосбережение	308
15.5. Экологические проблемы производства энергии	312
15.6. Изменение климата и Киотский протокол	317
15.7. Проблема теплового загрязнения.	322
15.8. Состояние и перспективы российской энергетики	325
Контрольные вопросы.	328
Заключение	330
Приложение 1. Спорные и нерешенные вопросы	332
Приложение 2. Вопросы и задачи	335
Приложение 3. Примерные темы курсовых проектов и рефератов	341
Приложение 4. Реферат по курсу «Промышленная экология» на тему «Вся правда о курении»	343
Приложение 5. Морально-этический кодекс студентов ИПУР РХТУ имени Д. И. Менделеева	369
Приложение 6. Как создавались природоохранные специальности	372
Литература	376

Минимальные системные требования определяются соответствующими требованиями программы Adobe Reader версии не ниже 11-й для платформ Windows, Mac OS, Android, iOS, Windows Phone и BlackBerry; экран 10"

Учебное электронное издание

Зайцев Валентин Алексеевич

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Учебное пособие

Ведущий редактор *И. Я. Иццоки*

Художник *Н. А. Новак*

Технический редактор *Е. В. Денюкова*

Корректор *Е. Н. Клитина*

Оригинал-макет подготовлен *Е. Г. Ивлевой* в пакете L^AT_EX 2_ε

Подписано к использованию 19.03.15. Формат 145×225 мм

Издательство «ВИНОМ. Лаборатория знаний»

125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3

Телефон: (499) 157-5272

e-mail: info@pilotLZ.ru, <http://www.pilotLZ.ru>



Зайцев Валентин Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры проблем устойчивого развития РХТУ им. Д.И. Менделеева, Лауреат премии Совета Министров СССР (1990 г.) «за разработку технологии и создание промышленности неорганических фторидов из фторфосфатного сырья». В 1957 г. окончил инженерный физико-химический факультет МХТИ им. Д.И. Менделеева по специальности инженер-технолог физико-химик.

Автор свыше 250 работ на русском и английском языках, в том числе 15 учебных пособий и 11 монографий. Подготовил 2 докторов и 46 кандидатов технических и химических наук.

В.А. Зайцев – один из организаторов мало- и безотходного производства в нашей стране; создатель первого в мире курса промышленной экологии, организатор инженерной природоохранной специальности 280201 – «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» и специальности высшей квалификации для научных работников 03.02.08 – «Экология».

Проблема рационального использования природных ресурсов, предотвращения загрязнения окружающей среды, а следовательно, и *проблема устойчивого развития современной цивилизации*, обеспечивающего удовлетворение потребностей общества, но не ставящего под угрозу будущие поколения, может быть решена только путем формирования нового подхода к организации и функционированию промышленных производств и экономической системы в целом. В основе этого подхода лежит *промышленная экология*.

Промышленная экология служит средством для достижения устойчивого, самоподдерживающегося функционирования эколого-экономических систем и общества в целом. Основой промышленной экологии является *концепция безотходного, или чистого, производства*. В последнее время эти же принципы излагаются под лозунгом «зеленой химии». Составной частью *промышленной экологии* являются также различные методы стимулирования бережного отношения к природным ресурсам и охране окружающей среды и морально-этические проблемы природопользования.