ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**»

Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Рекомендовано Сибирским региональным учебно-методическим центром высшего профессионального образования для межвузовского использования в качестве учебного пособия для студентов всех форм обучения по направлению подготовки 280200 «Защита окружающей среды»

Издательство
Томского политехнического университета
2008

УДК 504.064.48
ББК 28.081
Б

Бондалетова Л.И.
Б00 Промышленная экология: учеб. пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 247 с.

В пособии рассмотрены общие понятия о производственном процессе, дана характеристика химико-технологической системы, сырьевых и энергетических ресурсов, приводится краткое описание методов охраны окружающей среды, рассмотрено влияние важнейших отраслей народного хозяйства на состояние окружающей среды, выделены основные источники загрязнения биосферы, а также мероприятия по снижению воздействия деятельности человека и восстановлению экологического баланса.

Учебное пособие подготовлено на кафедре технологии основного органического синтеза и высокомолекулярных соединений ТПУ и предназначено для студентов специальности «Охрана окружающей среды и рациональное природопользование».

УДК 504.064.48
ББК 28.081

Рецензенты

Первый заместитель генерального директора
Томского нефтеперерабатывающего завода
А.Г. Постоев

Заместитель директора Института химии нефти СО РАН,
кандидат химических наук
А.В. Борило

© Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г., 2008
© Томский политехнический университет, 2008
© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2008

ВВЕДЕНИЕ

Биосфера (окружающая среда) представляет собой равновесную систему, в которой процессы обмена веществ и энергии происходят главным образом за счет жизнедеятельности организмов. Антропогенное загрязнение биосферы (загрязнение, обусловленное жизнедеятельностью человека) до определенного периода сглаживалось процессами, происходящими в биосфере, однако в последние десятилетия масштабы деятельности человека неизмеримо возросли и достигли глобального уровня. Биосфера постепенно разрушается - отравляются атмосфера и водоемы, уничтожаются фауна и флора. Проблема защиты окружающей среды - одна из важнейших задач современности.

Выбросы промышленных предприятий, энергетических систем и транспорта в атмосферу, водоемы и недра на современном этапе развития достигли таких размеров, что в ряде районов, особенно в крупных промышленных центрах, уровень загрязнения существенно превышают допустимые санитарные нормы.

Экологические исследования, проведенные в последние десятилетия во многих странах мира, показали, что все возрастающее разрушительное воздействие антропогенных факторов на окружающую среду привело ее на грань кризиса. Среди различных составляющих экологического кризиса (истощение сырьевых ресурсов, нехватка чистой пресной воды, возможные климатические катастрофы) наиболее угрожающий характер приняла проблема загрязнения незаменимых природных ресурсов - воздуха, воды и почвы отходами промышленности и транспорта.

В связи с этим в современном обществе резко возрастает роль промышленной экологии, призванной на основе изучения производственных процессов и оценки степени вреда, приносимого природе развитием производства, разрабатывать и совершенствовать инженерно-технические средства защиты окружающей среды, всемерно развивать основы создания замкнутых и безотходных технологических циклов и производств.

ГЛАВА 1
ПРОИЗВОДСТВО И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

1.1. Система «Химическое производство – окружающая природная среда»

1.1.1. Система и ее основные свойства

Термин «экология» (от греч. *oikos* - жилище, убежище; *1ogos* - наука) введен в науку немецким ученым Эрнстом Геккелем в 1869 г.

Экология изучает взаимодействие организмов с окружающей средой и между собой.

Окружающая среда - это среда обитания и производственной деятельности человека, которая характеризуется взаимодействием с неживой природой и живыми организмами.

Организм и окружающую его среду можно представить в виде некоторой системы (рис. 1).

Воздействие организма на окружающую среду и этой среды на организм имеет экологический характер, а следовательно, может быть описано в экологических терминах. Заменив организм другим объектом, можно в тех же экологических терминах описать его воздействие на окружающую среду и, соответственно, окружающей среды на этот объект. Если же в качестве объекта выбрать промышленное предприятие, например химическое производство, то в этом случае мы будем иметь дело с объектом промышленной экологии (рис. 2).

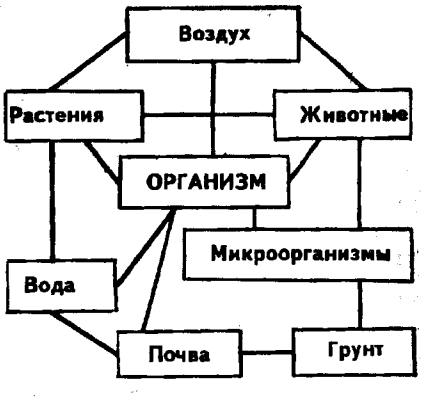

Рис. 1. Организм и окружающая его среда как система

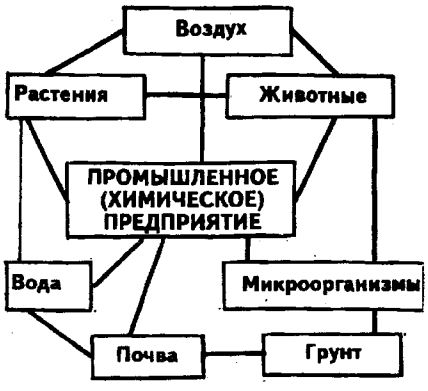

Рис. 2. Промышленное предприятие и окружающая его среда как система

Система представляет собой набор элементов, определенным образом связанных между собой. Выделим следующие свойства системы:

1. Наличие взаимодействия, взаимосвязи или взаимозависимости элементов системы. Каждое событие подвержено влиянию предыдущих событий и оказывает влияние на последующие. Это обстоятельство иногда называют историзмом (историчностью) систем. Применительно к промышленному предприятию воздействие его на окружающую природную среду начинается на стадии изыскательских и строительных работ и может быть значительным.

2. Организация. Системы сложны и разнообразны, заранее не определены их границы и иерархия. Иерархия - расположение системы (целостного объекта) в порядке от высшего к низшему.

3. Изменчивость. Ни одна реальная система не остается статичной в течение длительного времени. Элементы включаются или исключаются из нее в процессе эволюции, либо перемещаются за пределы системы. Как правило, существует тенденция к ухудшению характеристик системы во времени.

4. Наличие окружающей (внешней) среды. Каждая система является подсистемой некоторой более крупной системы. Независимо от своего уровня, состава или сложности системы функционируют во взаимосвязи с внешней средой.

5. Открытость. Системы, взаимодействующие со своим окружением, называются открытыми. Все реальные системы открыты.

Системы могут быть представлены по-разному. Возможно словесное описание систем, описание с помощью формул - аналитические системы; графическое представление систем, их макетирование и т. д. На рис. 3 система представлена графически, тип системы «вход – выход». Системой типа «вход – выход» является система «химическое производство - окружающая природная среда» (рис. 4).

Рис. 3. Система типа «вход-выход»

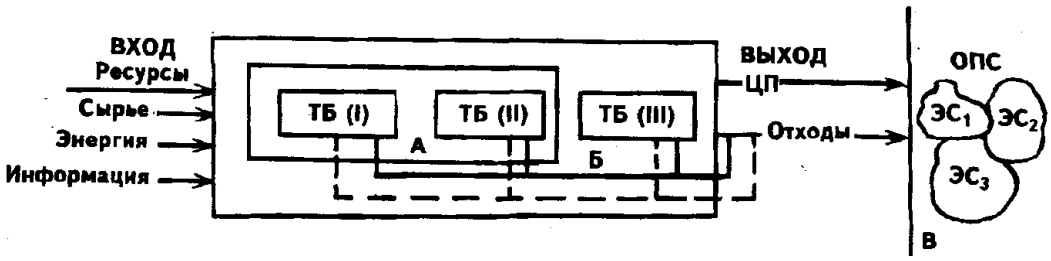

Рис. 4. Система «химическое производство - окружающая природная среда»: сплошная линия - организованные потоки; пунктир - неорганизованные потоки (выбросы, сбросы, потери); ТБ - технологический блок; ЦП - целевой продукт; ЭС - экологическая система; А - рабочее помещение (рабочая зона); Б -промышленная площадка, территория предприятия; зона В - окружающая природная среда (ОПС), природный территориальный комплекс, совокупность экологических систем различного уровня

1.1.2. Воздействие химического производства на окружающую природную среду

Химическое производство оказывает на окружающую среду многообразное воздействие. В общем случае могут быть выделены три типа воздействия:

- *Загрязнение окружающей природной среды химическими веществами.*

Загрязнение природной среды химическими веществами как следствие работы химического предприятия более правильно связывать с бесконтрольным поступлением загрязняющих веществ этого производства в природную среду.

Загрязняющее вещество - любой продукт (вещество), попадающий в окружающую среду или возникающий в ней в количествах, выходящих за рамки обычного содержания, предельных естественных колебаний или среднего природного фона в рассматриваемое время.

- *Истощение природных ресурсов.*

Истощение природных ресурсов - второй тип воздействия химического (химико-металлургического) производства на окружающую среду (рис. 5). Так, строительство химического комбината и эксплуатация им тех или иных конкретных сырьевых ресурсов сопровождается ухудшением качества природных ресурсов, их истощением и загрязнением среды.

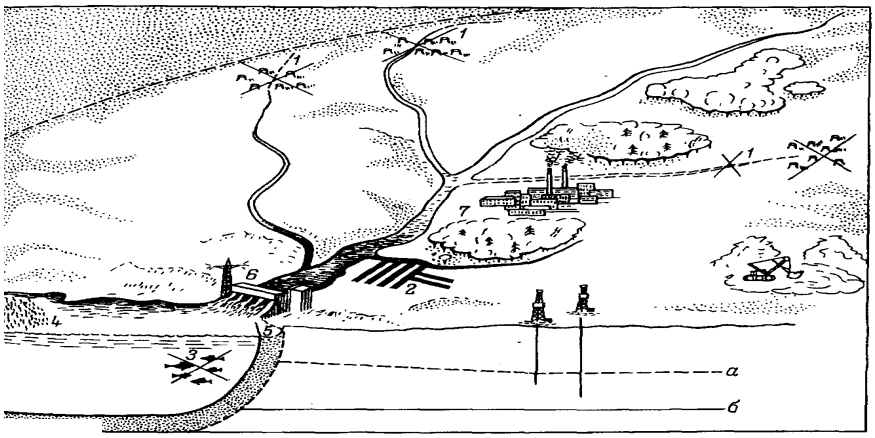

Рис. 5. Техногенное воздействие на качество природных ресурсов:
а - начальный уровень грунтовых вод; *б* - уровень грунтовых вод как результат хозяйственной деятельности; 1 - сведение лесов; 2 - разрушение рельефа; 3 - гибель рыбы; 4 - заиливание водоема; 5 - понижение речного уровня; 6 - уменьшение выработки электроэнергии на ГЭС как результат понижения уровня реки; 7 - сведение лесов в результате загрязнения атмосферы.

- *Изменение природных и возникновение антропогенных (техногенных) ландшафтов.*

Ухудшение ценности природных ресурсов (в частности, эстетических и рекреационных) обязательно сопровождает превращение природных ландшафтов в антропогенные (техногенные).

В действительности все эти три типа взаимодействия связаны между собой и могут быть разделены лишь в крайних случаях.

1.1.3. Основные факторы окружающей природной среды

Окружающая природная среда представляет собой совокупность экологических систем, или экосистем.

В основе взаимодействия организмов и окружающей их среды находятся причинно-следственные отношения. Организм получает из окружающей среды информацию в виде определенных сигналов, имеющих материальную природу, и реагирует на эти сигналы. В экологии поступающие к организму сигналы называют факторами.

Экологический фактор – это любой элемент окружающей среды, способный оказывать прямое или косвенное воздействие на живой организм хотя бы на одном из этапов его развития.

Экологические факторы, воздействующие на живые организмы, являются полезными или вредными, способствуют либо препятствуют выживанию и размножению. Существует несколько подходов к классификации экологических факторов.

Прежде всего, экологические факторы делятся на внешние (экзогенные) и внутренние (эндогенные) по отношению к анализируемой системе.

К *внешним* относятся факторы, действие которых в той или иной степени определяет изменения, происходящие в экосистеме, но сами они не испытывают ее обратного воздействия. Таковы, например, солнечная радиация, атмосферное давление, ветер и т. д.

В отличие от внешних факторов *внутренние* соотносятся со свойствами самой экосистемы (или отдельных ее компонентов) и в действительности формируют ее состав. Таковы, например, характеристики приземного слоя воздуха, концентрации веществ в водоемах, почве.

Другой классификационный принцип - деление факторов на *биотические и абиотические*.

Абиотические факторы - температура, свет, радиоактивные излучения, давление, влажность воздуха, солевой состав воды, ветер, течения, рельеф местности. Эти свойства неживой природы прямо или косвенно влияют на живые организмы.

Биотические факторы - различные проявления воздействия живых существ друг на друга. Взаимные связи организмов представляют собой основу существования популяций и биоценозов (совокупность растений, животных и микроорганизмов, населяющих данный участок суши или водоема - биоценоз леса, озера и т. д.).

Но по своему происхождению абиотические и биотические факторы могут быть как *природными, так и антропогенными*.

Антропогенные факторы - результат деятельности человека, приводящий к изменению природы как среды обитания других видов или влияющих непосредственно на их жизнь. В процессе эволюции человек осваивал охоту, сельское хозяйство, промышленность, транспорт и тем самым постепенно изменял природные условия на планете. Масштабы и формы связей человека с природой неуклонно росли от использования отдельных видов растений и животных до практически полного вовлечения природных ресурсов в жизнеобеспечение современного индустриального общества. В настоящее время состояние покрова Земли и всех видов организмов определяется антропогенным воздействием на природу.

Число всевозможных экологических факторов считается потенциально неограниченным. Однако в рамках промышленной экологии наиболее значительными являются абиотические факторы эндогенного характера, обусловленные действием промышленного производства.

К таким факторам должны быть отнесены химические вещества, привносимые в окружающую природную среду *выбросами в атмосферу*, *сбросами в воду*, а также *твердые отходы,* удаляемые из производственного цикла, и *разнообразное воздействие физической природы*: излучение (тепловое, электромагнитное, высокочастотное и сверхвысокочастотное, ионизирующее и неионизирующее различной природы), поля магнитные и электрические, шум.

Проявление этих факторов в рабочей зоне и на промплощадке предприятия является сферой охраны труда. Наличие этих факторов за данными зонами в природной среде, контактирующей с производством, - сфера интересов промышленной экологии. Фактическое отсутствие границы между рабочей зоной (производственной средой), промплощадкой и ближней природной средой приводит к тому, что многие методы, разработанные в сфере охраны труда, будут эффективны и при решении задач промышленной экологии.

С ростом производственных сил и расширением хозяйственной деятельности негативные последствия *воздействия человека на окружающую среду* становятся все более ощутимыми. В настоящее время негативные воздействия человека на природу нередко приводят к непредвиденным изменениям в экологических системах, в процессах биосферы.

Как биологический объект, человек в значительной степени зависит от физической среды. *Ухудшение состояния ее отражается на здоровье человека* и его работоспособности.

Под **промышленной экологией** понимают раздел «большой экологии», рассматривающий влияние промышленности (иногда всего хозяйства) – от отдельных предприятий до техносферы – на природу и, наоборот, влияние условий природной среды на функционирование предприятий и их комплексов. Экология должна способствовать решению задач сохранения высокого качества среды инженерными методами, что возможно лишь при владении специалистами производства знаниями в области экологии, позволяющими оценивать свое производство с экологических позиций, т.е. обладать экологическим мышлением.

В конечном счете это знание и экологическое мышление образуют своего рода «сдерживающий комплекс» природопользователя: владея им, специалист определяет не только что и как делать, но чего и почему делать нельзя, т. е. соблюдать принцип «чего не делать, чтобы не причинить вреда».

1.2. Общие положения о производственном процессе

Современную промышленность можно рассматривать как большую систему. Согласно работам академика В. В. Кафарова, ее можно представить в виде следующих соподчиненных иерархических уровней:

физико-химическая подсистема - совокупность физико-химических явлений и процессов, с помощью которых происходит определенное воздействие на перерабатываемый поток сырья или материалов;

технологическая производственная подсистема - совокупность технологических процессов и аппаратов, объединенных для единой технологической цели, т. е. для получения товарного продукта;

территориальная промышленная подсистема - совокупность производств, объединенных в определенном природном районе для комплексного использования минеральных, водных, биологических, энергетических и трудовых ресурсов;

государственная промышленная подсистема - совокупность территориально-промышленных систем, обеспечивающих жизнедеятельность страны.

Каждому из указанных уровней присущ свой специфический характер воздействия на окружающую среду, обусловливающий особенность внедрения процессов с минимальным воздействием на окружающую среду.

Выделим из указанной системы технологическую производственную подсистему.

Д.И. Менделеев писал: «Технология - учение о выгодных (т. е. поглощающих наименее труда людского и энергии природы) приемах переработки природных ресурсов в продукты, потребные (необходимые, или полезные, или удобные) для применения в жизни людей». Происхождение слова «технология» (от греч. *technos* - искусство, ремесло и *1ogos* - учение, наука) вполне отвечает его содержанию: учение об умении, искусстве перерабатывать исходные вещества в полезные продукты.

В зависимости от основных приемов переработки исходных веществ и назначения продуктов различают:

технологию металлов (их получение и обработка),

технологию машиностроения (изготовление машин и аппаратов),

пищевую технологию (получение продуктов питания) и т. д.

Классификация, как видно, в основном связана с отраслями промышленности. Очевидно, что провести четкую границу в признаках классификации технологии получения различных продуктов нельзя, ибо

одинаковые приемы обработки исходных материалов могут быть использованы при получении различных продуктов (например, приемы штамповки металлов используются как в технологии металлов, так и в машиностроении).

Химическая технология представляет собой переработку, в процессе которой превалируют химические и физико-химические явления, что приводит к коренному изменению состава, свойств и строения веществ.

Методы химической технологии весьма распространены в нехимических отраслях промышленности - металлургии, транспорте, электронике, энергетике, строительстве и др. Процессы получения металлов (в доменных, мартеновских и других плавильных печах) - типичные химические процессы. Горение топлива в топках паровых котлов, в двигателях внутреннего сгорания или ракетных - типичный химический процесс. Получение материалов электроники и строительных материалов тоже во многом связано с химическими процессами. Защита окружающей среды также использует химические методы.

1.2.1. Химическое производство и химико-технологический процесс

Объектом исследования технологии является производство.

Производственным процессом называется совокупность действий, в результате которых обрабатываемые материалы, полуфабрикаты, заготовки (детали) превращаются в готовые изделия.

Основную часть производственного процесса, необходимую непосредственно для изменения формы, размеров или состояния заготовки (детали) или сборки изделий и сборочных единиц, называют т*ехнологическим процессом*. При проектировании новых и реконструкции существующих предприятий технологический процесс является *основой* всего проекта, так как он дает исходные материалы (данные) для определения потребности рабочей силы, оборудования, производственных площадей, капитальных вложений и т.д. От качества разработки технологического процесса в значительной степени зависит рентабельность будущего производства.

Производственный процесс включает не только технологические, но и вспомогательные процессы (в частности, транспортировку, контроль продукции, подготовку производства, эксплуатацию зданий и сооружений, оборудования).

Объектом исследования химической технологии является химическое производство.

Химическое производство - совокупность процессов и операций, осуществляемых в машинах и аппаратах и предназначенных для переработки сырья путем химических превращений в необходимые продукты.

Химико-технологический процесс – целенаправленная переработка исходных веществ в продукт посредством химических и физико-химических процессов и их сочетаний.

Общие требования к химическому производству:

- получение в производстве необходимого продукта;
- экологическая безопасность;
- безопасность и надежность эксплуатации;
- максимальное использование сырья и энергии;
- максимальная производительность труда.

Основное назначение химического производства - получение продукта, при этом химическое производство является многофункциональным.

Общая структура химического производства включает в себя функциональные части (рис. 6).

Поз. 1-3 - химико-технологический процесс, в котором сырье перерабатывается в продукт.

Подготовка сырья (поз. 1) включает в себя его предварительную обработку - измельчение, очистку от примесей, смешивание компонентов и т.д. Процессы подготовки сырья зависят от вида сырья и условий превращения. Подготовленное сырье проходит ряд превращений (поз. 2), в результате чего образуется необходимый продукт производства. Поскольку исходное природное сырье, как правило, содержит примеси, превращение может быть неполным, и могут образовываться другие вещества, поэтому приходится выделять основной продукт из образовавшейся смеси, очищать его от примесей (поз. 3).

$$A \rightarrow R + S,$$

где A – исходный продукт, R – целевой продукт, S – побочный продукт.

Выделение целевых продуктов осуществляется ректификацией, адсорбцией, кристаллизацией, выпариванием и т. д.

Отходы производства или невостребованные продукты переработки сырья могут содержать как вредные компоненты, которые

опасно выбрасывать в окружающую среду, так и полезные, которые нецелесообразно выбрасывать. Поэтому существенным элементом химического производства является санитарная очистка и утилизация отходов производства (поз. 4).

Санитарная очистка, или обезвреживание отходов, - перевод токсичных составляющих в безвредные, с тем чтобы их можно было удалить из производства, не опасаясь заражения окружающей среды. Хотя, конечно, даже обезвреженные отходы производства не являются полностью безопасными для окружающей среды, ибо загрязняют ее в любом случае.

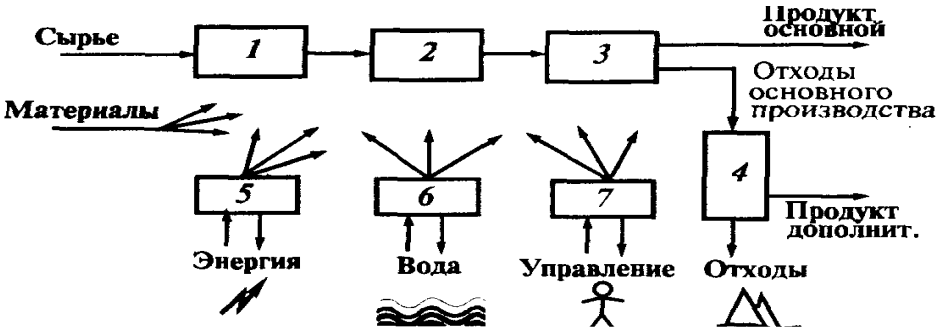

Рис. 6. Структура и функциональные элементы химического производства: 1 - подготовка сырья; 2 - переработка сырья; 3 - выделение основного продукта; 4 - санитарная очистка и утилизация отходов; 5 - энергетическая система; 6 - подготовка вспомогательных материалов и водоподготовка; 7 - система управления

Химическая промышленность потребляет довольно много энергии, чтобы обеспечить переработку сырья в продукты, - около 15 % всех энергоресурсов расходуется в этой области техники. Поэтому *энергетическая система* - важный и сложный элемент химического производства (поз. 5). Энергия не столько потребляется непосредственно для получения продукта, сколько обеспечивает условия его производства. Кроме того, нередко химические превращения сопровождаются выделением энергии (экзотермические реакции). Поэтому энергетическая система должна обеспечивать не только распределение энергии по стадиям производства, но и по возможности возвращение ее после использования в переработке сырья.

Кроме энергии, в химическом производстве используются *вспомогательные материалы*. К ним относятся, например, сорбенты для очистки и выделения продуктов; вещества, с помощью которых создается среда, необходимая для протекания процессов, и др. Особое место занимает вода - она используется для охлаждения технологических потоков, выработки пара, растворения и разбавления

технологических потоков. Потребление ее может быть значительным. Подготовка вспомогательных материалов и особенно водоподготовка – также очень важная и сложная часть химического производства (поз. 6).

Сложное химическое производство невозможно эксплуатировать без *системы управления* (поз. 7). Она обеспечивает контроль за состоянием производства, проведением процессов при наилучших условиях, защиту от нежелательных (аварийных) ситуаций, пуск и остановку сложной системы.

1.2.2. Показатели эффективности химического производства и химико-технологического процесса

Определение полезности и эффективности химического производства и технологического процесса в нем производится по разным показателям, которые сгруппированы следующим образом.

Технические показатели определяют качество химико-технологического процесса.

Производительность (мощность) производства - количество получаемого продукта или количество перерабатываемого сырья в единицу времени: $П = G/t$,

где $П$ - производительность; G - количество получаемого продукта или перерабатываемого сырья за время t.

Обычно производительность выражают в количестве продукта за 1 ч или 1 сут, показывая максимальную возможность производства в непрерывном режиме. Производительность за длительный срок работы - один год - учитывает плановые остановки производства. Поэтому для химических производств для связи часовой или суточной производительности с годовой принимают, что производство работает 8000 ч, или 330 сут, в год.

Расходный коэффициент показывает количество затраченного сырья, материалов или энергии на производство единицы продукта. Его размерность очевидна: кг сырья/т продукта; $м^3$ сырья/кг продукта; кВт·ч/кг продукта; Гкал/т продукта и т. д.

Расходный коэффициент показывает количественно затраты на производство продукта, но не отражает эффективности использования расходуемых компонентов. Последняя определяется следующим показателем.

Выход продукта - отношение реально получаемого количества продукта из использованного сырья к максимальному количеству, которое теоретически можно получить из того же сырья.

Интенсивность процесса - количество перерабатываемого сырья или образующегося продукта в единице объема аппарата. Этот показатель характеризует интенсивность протекания процесса в технологическом аппарате и совершенство организации процесса.

Удельные капитальные затраты - затраты на оборудование, отнесенные к единице его производительности. Для начала производства необходимы единовременные затраты на аппараты, машины, трубопроводы, сооружения и прочее, т. е. капитальные затраты. Отнесенные к единице производительности, удельные капитальные затраты характеризуют эффективность организации процесса в отдельных аппаратах и в производстве в целом, совершенство используемых конструкций. Этот показатель выражается в натуральных величинах, например: т металла/1000 т продукта в сутки, или в денежном выражении.

Качество продукта определяет его потребительские свойства и товарную ценность. Показатель индивидуален для каждого продукта. Он может включать содержание (состав и количество) примесей, физические и химические показатели, внешний вид и размеры, цвет, запах и прочее. Определяется нормативными документами (ГОСТами - государственными отраслевыми стандартами, техническими условиями, сертификатами качества).

Экономические показатели определяют экономическую эффективность производства.

Себестоимость продукции - суммарные затраты на получение единицы продукта. Себестоимость складывается из следующих расходов: затрат на сырье, энергию, вспомогательные материалы; единовременных, капитальных затрат, распределяемых равномерно на срок эксплуатации оборудования; затрат на оплату труда работников.

Себестоимость имеет денежное выражение.

Производительность труда - количество продукции, произведенной в единицу времени (обычно за год) в пересчете на одного работающего; характеризует эффективность производства относительно затрат труда.

Экономические показатели рассчитываются на основе технических показателей. Некоторые из них (производительность, расходные коэффициенты, удельные капитальные затраты) можно представить в денежном выражении. Эти и экономические показатели также называют техноэкономическими.

Эксплуатационные показатели характеризуют изменения, возникающие в химико-технологическом процессе и производстве во время эксплуатации оборудования при появлении отклонений от

регламентированных условий и состояний. Влияние отклонений на показатели процесса, возможность управления процессом определяются эксплуатационными показателями.

Надежность характеризуют средним временем безаварийной работы либо числом аварийных остановов оборудования или производства в целом за определенный отрезок времени. Этот показатель зависит от качества используемого оборудования и правильности его эксплуатации.

Безопасность функционирования - вероятность нарушений, приводящих к нанесению вреда или ущерба обслуживающему персоналу, оборудованию, а также окружающей среде, населению.

Чувствительность к нарушениям режима и изменению условий эксплуатации; определяется отношением изменения показателей процесса к этим отклонениям.

Управляемость и регулируемость характеризуют возможность поддерживать показатели процесса в допустимых пределах, определяют величину допустимых изменений условий процесса, управляющие параметры и их взаимовлияние (сложность управления).

Социальные показатели определяют комфортность работы на данном производстве и его влияние на окружающую среду.

Безвредность обслуживания следует из сопоставления санитарно-гигиенических условий для обслуживающего персонала с соответствующими нормами по загазованности, запыленности, уровню шума и др.

Степень автоматизации и механизации определяет долю ручного и тяжелого труда в эксплуатации производства.

Экологическая безопасность - степень воздействия производства на окружающую среду и экологическую обстановку в регионе.

Перечень основных показателей химического производства свидетельствует о том, насколько высоки требования к качеству его разработки, проектирования, создания и эксплуатации. Нередко достигнутые наилучшие результаты по каждому из этих требований вступают в противоречие друг с другом. Необходимы компромиссные решения. Поэтому инженер-технолог должен обладать не только обширными, разносторонними знаниями, но и высокой культурой.

1.3. Химико-технологическая система

1.3.1. Химико-технологический процесс как химико-технологическая система

Химическое производство - совокупность машин, аппаратов и других устройств, связанных между собой материальными трубопроводами и паропроводами, линиями электрическими, транспортными и связи (для информации и управления). Все они взаимосвязаны и функционируют вместе, обеспечивая получение продукции и выполняя другие функции производства. Такой объект называется системой.

Система - совокупность *элементов* и *связей* между ними, функционирующая как единое целое. Для исследования таких объектов, их свойств, особенностей функционирования развита *теория систем.*

В химическом производстве элементы - это машины, аппараты и другие устройства; связи - это материальные трубопроводы, паропроводы и проч., которые соединяют машины, аппараты. В элементах происходит превращение потоков (изменение их состояния - разделение, смешение, сжатие, нагрев, химические превращения и т.д.). По связям потоки передаются из одного в другой. Это позволяет представить химическое производство как химико-технологическую систему.

Химико-технологическая система (ХТС) - совокупность аппаратов, машин и других устройств *(элементов)* и материальных, тепловых, энергетических и других потоков *(связей)* между ними, функционирующая как единое целое и предназначенная для переработки исходных веществ (сырья) в продукты.

Реакционный узел также можно представить как систему - совокупность реакторов, теплообменников, смесителей (элементов) и потоков между ними (связей), функционирующую как единое целое. По отношению к ХТС в целом эта *подсистема* - часть большой системы.

В зависимости от цели исследования не все аппараты будут влиять на интересующие исследователей свойства ХТС. Если цель исследований - определение производительности, выхода продукта и другие материальные показатели, то теплообменники, насосы и другое оборудование, не изменяющее состав потоков, можно не включать в ХТС. Если цель исследований - обеспечение производства энергией, то в систему включают энергетическое оборудование как ее элементы.

Химическое производство состоит из десятков и сотен разнородных аппаратов и устройств, связанных между собой

разнообразными потоками. Исследовать его в целом при огромном многообразии его составных частей - задача не только сложная, но и малоэффективная. Фактически исследование сложных ХТС сводится к изучению ее подсистем. Будем выделять подсистемы по двум признакам - функциональному и масштабному.

Реакционный узел - по масштабу малая подсистема во всем технологическом процессе переработки сырья в продукты. Энергетическая подсистема по масштабу охватывает все производство, но выполняет определенную функцию.

Функциональные подсистемы обеспечивают выполнение определенных функций производства и его функционирование в целом.

Технологическая подсистема - часть производства, где осуществляется собственно переработка сырья в продукты химико-технологического процесса.

Энергетическая подсистема - часть производства, служащая для обеспечения тепловой, силовой, электрической энергией химико-технологического процесса. В зависимости от вида энергии может быть представлена соответствующая подсистема.

Подсистема управления - часть производства для получения информации о его функционировании и управления им. Обычно это автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП).

Примерно так же функциональные подсистемы представлены в технической документации по производству. Совокупность функциональных подсистем образует *состав ХТС.*

Масштабные подсистемы как отдельные части химико-технологического процесса выполняют определенные функции в последовательности процессов переработки сырья в продукты.

Масштабные подсистемы ХТС также можно систематизировать в виде их иерархической последовательности - *иерархической структуры ХТС* (рис. 7).

В структуре ХТС минимальный элемент - отдельный аппарат (реактор, абсорбер, ректификационная колонна, насос и прочее). Это низший масштабный уровень. Несколько аппаратов, выполняющих вместе какое-то преобразование потока, элементы подсистемы следующего масштабного уровня (реакционный узел, система разделения многокомпонентной смеси и т. д.). Отделения или участки производства, например, в производстве серной кислоты - отделения обжига серосодержащего сырья, очистки и осушки сернистого газа, контактное, абсорбционное, очистки отходящих газов образуют следующий масштабный уровень. Совокупность отделений, участков

образует ХТС производства в целом. Описанное выделение подсистем условно.

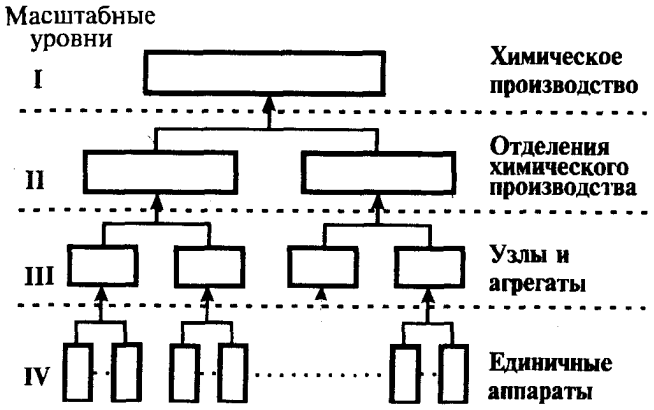

Рис. 7. Иерархическая структура химико-технологической системы

Анализ ХТС заключается в получении сведений о состоянии ХТС, показателях ее эффективности и функционировании системы, а также о влиянии на эти данные химической схемы, структуры технологических связей, свойств и состояния элементов и подсистем, условий эксплуатации.

Фактически анализ ХТС - получение технических (производительность, расходный коэффициент, выход продукта, интенсивность процесса, удельные капитальные затраты, качество продукта), экономических (себестоимость, производительность труда), эксплуатационных (надежность, безопасность функционирования), социальных (безвредность обслуживания, степень автоматизации и экологическая безопасность) показателей химико-технологического процесса.

Анализ ХТС осуществляется при разработке и проектировании нового химического производства, при эксплуатации действующего производства, для сравнения различных вариантов реализации процесса, при модернизации и реконструкции производства.

Первым шагом в анализе ХТС является определение ее состояния, т. е. расчет ХТС. Зная изменение состава и количества потоков, энергетические расходы, можно провести и другие расчеты - эффективности использования сырья и энергии как *технологических* показателей, *экономических* показателей, некоторых *социальных* показателей, определяемых свойствами всех компонентов химико-технологического процесса, в том числе отходов производства. *Эксплуатационные* показатели определяются в основном из реакции

системы на те или иные возмущения в процессе (изменение состава и количества сырья, энергетического обеспечения, состояния аппаратов, включая выход из строя некоторого оборудования, а также воздействия на режимы отдельных аппаратов и узлов). При этом необходимо учитывать, что ХТС обладает свойствами, не присущими отдельным ее элементам, что обусловлено взаимозависимостью их режимов.

Синтез или построение ХТС заключается в определении основных технологических операций и их последовательности, выборе аппаратов и установлении связей между ними, определении параметров технологических режимов отдельных аппаратов и системы в целом, обеспечивающих наилучшие условия функционирования ХТС.

1.3.2. Сырьевые ресурсы химико-технологической системы

Сырье является одним из основных элементов, определяющих в значительной степени технологию производства, себестоимость и качество продукта. *Сырьем* называют природные материалы, используемые в производстве промышленных продуктов.

Исходными веществами для производства промышленных продуктов, кроме сырья, являются *полупродукты и вторичное сырье*.

1.3.2.1. Характеристика и запасы сырья

Сырье химической промышленности классифицируют по различным признакам:

по происхождению - минеральное, растительное и животное;

по химическому составу - неорганическое и органическое;

по агрегатному состоянию - твердое, жидкое (нефть, рассолы) и газообразное (воздух, природный газ и газы нефтепереработки);

по запасам – возобновимое и невозобновимое.

Минеральное сырье делят на рудное (металлическое), нерудное и горючее (органическое).

Рудное минеральное сырье, используемое для получения металлов в технически чистом виде, состоит из природных минералов. Минералы руд содержат в основном оксиды и сульфиды металлов (оксиды железа, сульфиды меди, цинка) и оксиды соединений, составляющих пустую породу (оксиды кремния, алюминия, кальция, магния).

По составу минералов руды бывают окисленными - состоящими из оксидов, сульфидными и самородными.

Руды, в состав которых входят соединения разных металлов, называют полиметаллическими.

Нерудное минеральное сырье разнообразно по химическому составу и либо применяется в естественном состоянии - песок, глина, асбест, слюда и др., либо поступает на химическую переработку - сульфаты, фосфаты, карбонаты, хлориды, алюмосиликаты и т. п.

Горючие минеральные ископаемые - торф, бурые и каменные угли, сланцы, а также нефть и природный газ - относят к органическим соединениям и используют в качестве сырья и источников энергии.

Особенностью минерального сырья является его невозобновляемость, а также неравномерность распределения по поверхности земли и ее недрам.

Растительное и животное сырье - древесина, хлопок, масла и жиры, молоко, кожа, шерсть и т. п. - перерабатывают или в продукты питания (пищевое сырье), или в продукты бытового и промышленного назначения (техническое сырье). Источниками растительного и животного сырья являются ресурсы естественной среды обитания: земельные, лесные, водные. Многие виды растительного и животного сырья перед поступлением в производство сортируют, перебирают и очищают. Коэффициент использования растительного и животного сырья невелик, поэтому задача комплексного и максимального использования этого сырья имеет еще большее значение, чем для минерального.

В химической промышленности широко применяются и такие доступные и дешевые виды сырья, как *вода и воздух*.

Невозобновимое сырье не восстанавливается совсем или восстанавливается значительно медленнее, чем идет его использование человеком в обозримый период времени.

Возобновимое сырье – это растительное и животное, некоторое минеральное сырье (например, соли, осаждающиеся в озерах). Темпы расхода этого вида сырья должны соответствовать темпам его потребления, иначе оно станет невозобновимым.

Полупродукты – вещества и материалы, являющиеся исходными в производстве продуктов и полученные из природного сырья в другом производстве.

Вторичное сырье – используемые в производстве вещества и материалы, являющиеся невостребованными в других производствах. Источниками их являются отходы производства и отходы потребления.

Отходы производства - это остатки, которые получают при

технологической переработке сырья, материалов или полуфабрикатов в конечные продукты, они не соответствуют требованиям, предъявляемым к готовой продукции, но после предварительной обработки (или без нее) могут быть использованы в другом производстве в качестве сырья.

Отходы потребления – бывшие в употреблении вещества и изделия, восстановление которых экономически не выгодно.

Стоимость сырья в химической промышленности составляет в среднем 60-70 % себестоимости продукта. Решение сырьевой проблемы осуществляется разнообразными путями: приближением источников сырья к производству, т. е. использованием более дешевого местного сырья; переработкой отходов, пылевых и газовых уносов основного производства в новые продукты, непосредственным использованием отходов, предварительным обогащением сырья в целях повышения концентрации полезных компонентов; заменой одного вида сырья другим, более экономичным. Например, переход с каменного угля как основного сырья химической промышленности на нефть и природный газ дал большой экономический эффект. Расчетные данные свидетельствуют, что себестоимость добычи и подготовки нефти в пересчете на единицу условного топлива в 3,5 раза, а природного газа - в 12 раз меньше, чем угля, добытого шахтным способом. Дешевый и доступный природный газ и продукты нефтепереработки обеспечивают снижение себестоимости продуктов массового производства: пластических масс, синтетических волокон, каучуков, моющих средств и др. Использование природного газа вместо кокса снижает почти вдвое себестоимость аммиака и, соответственно, уменьшает себестоимость азотных удобрений.

1.3.2.2. Принципы обогащения сырья

Важное технико-экономическое значение в рациональной переработке сырья имеет использование концентрированного сырья, обогащенного полезными компонентами. Применение концентрированного сырья снижает стоимость последующей химической переработки и, следовательно, стоимость продукта производства и повышает его качество. Такое сырье способствует интенсификации технологического процесса и экономии топлива. Расходы на транспортировку сырья к месту переработки снижаются пропорционально концентрации ценных компонентов.

Концентрированное сырье получают его *обогащением*. В процессе обогащения отделяют ценные компоненты от примесей, используя различия в их физических, физико-химических и химических свойствах, а также разделяют на компоненты сложные смеси, полиметаллические руды. Методы обогащения разнообразны и принципиально различны для твердого, жидкого и газообразного сырья.

Твердое минеральное сырье предварительно измельчают, далее измельченная масса поступает на обогащение, в результате которого получают концентрат (фракция, обогащенная полезными компонентами) и пустую породу - хвосты. Для твердого сырья чаще всего применяют механические способы обогащения - рассеивание (грохочение), гравитационное разделение, электромагнитную и электростатическую сепарацию, а также физико-химический метод - флотацию.

Рассеивание (грохочение) применяют для разделения твердой породы, содержащей минералы различной прочности и образующей при измельчении зерна разной величины. При последовательном пропускании измельченного сырья через грохоты - металлические сита с отверстиями разных размеров - происходит разделение на фракции, обогащенные определенным минералом.

Гравитационное обогащение (мокрое и сухое) основано на разной скорости падения частиц измельченного материала различной плотности и величины в потоке жидкости или газа или на действии центробежной силы. Чаще всего проводят мокрое обогащение в потоке воды. Центробежное ускорение в гидроциклонах во много раз выше ускорения при осаждении частиц, поэтому они дают более высокую производительность, чем осадительные камеры; соответственно меньше их габариты. Гравитационные способы применяют для обогащения сырья в производствах минеральных солей, силикатных материалов, в металлургии а также при обогащении углей.

Электромагнитное и электростатическое обогащение основано на различиях в магнитной проницаемости или в электрической проводимости компонентов сырья. Эти способы применяют для отделения магнитовосприимчивых частей от немагнитных и электропроводящих от диэлектриков.

Флотация - широко распространенный способ обогащения, применяющийся для разделения полиметаллических сульфидных руд, обогащения каменных углей и многих других минералов. Флотация основана на различии в смачиваемости водой и прилипании частиц обогащаемого минерала к пузырькам пропускаемого через пульпу воздуха. Плотность агрегата минерал - воздух меньше, чем плотность

того же объема пульпы, поэтому он всплывает на поверхность. Большинство минералов природных руд мало отличаются по смачиваемости друг от друга. Для их разделения необходимо создать условия неодинаковой смачиваемости водой отдельных компонентов породы, для чего применяют разнообразные химические соединения - флотационные реагенты.

Термическое обогащение твердого сырья основано на различии в плавкости компонентов сырья. Например, нагреванием серосодержащей породы отделяют легкоплавкую жидкую серу от пустой породы, состоящей из более тугоплавких известняков, гипса и др.

Химическое обогащение основано на различии во взаимодействии компонентов сырья с химическими реагентами с последующим выделением образовавшегося соединения осаждением, испарением, плавлением и т. п.

Для выделения ценных компонентов из *жидкостей* часто применяют *экстракцию* - избирательное растворение их в органических растворителях. При последующей регенерации экстрагента выделяют одновременно и поглощенные вещества.

Газовые смеси разделяют, используя различия компонентов смеси в температурах кипения, растворимости и других свойствах. Разные температуры кипения дают возможность при сжатии и сильном охлаждении последовательно конденсировать отдельные компоненты. Так, из коксового газа, содержащего 53-60 % H_2, получают газообразный водород, последовательно конденсируя и отделяя содержащиеся в газе углеводороды, оксид углерода, кислород и азот. В других случаях газовую смесь сжижают и затем разделяют на компоненты перегонкой в ректификационных колоннах.

Широкое распространение в промышленности для разделения газовых смесей находят *методы сорбции* - избирательное поглощение компонентов смеси жидкими (абсорбция) или твердыми (адсорбция) веществами. Поглощенные компоненты выделяют (процесс десорбции) нагреванием, обработкой водяным паром и т. п.

1.3.2.3. Комплексное использование сырья

Сущность *комплексного использования* заключается в последовательной переработке сырья сложного состава в ценные продукты для наиболее полного использования всех компонентов сырья.

Примером комплексного использования органического сырья является термическая переработка топлива - угля, нефти, сланцев,

торфа. Так, при коксовании угля кроме целевого продукта - металлургического кокса - получают коксовый газ и смолу, переработкой которых выделяют сотни ценных веществ: ароматические углеводороды, фенолы, пиридин, аммиак, водород, этилен и др. Применение указанных веществ в качестве продуктов народного хозяйства привело к снижению себестоимости кокса.

Комплексное использование сырья органически связано с наиболее прогрессивной и экономичной формой организации химического производства - *комбинированием предприятий*. Характерным примером комбинирования является использование отходов основного производства для вновь организуемых производств. Высокий экономический эффект подобной связи обусловлен возможностью использования дешевого сырья - отходов и совместным ведением общезаводского хозяйства (централизованное подсобное обслуживание, транспорт, складирование материалов и пр.). При этом сокращаются на 60-70 % капиталовложения на общезаводское хозяйство, снижается себестоимость продукции.

Химическая промышленность и ее смежные отрасли наряду с энергетикой и транспортом являются источниками загрязнения окружающей среды. Борьба с загрязнением окружающей среды, в частности с промышленными выбросами, - важнейшая проблема современности. Одним из главных приемов уменьшения, а иногда исключения промышленных выбросов служит *полное комплексное использование всех компонентов химического сырья*.

Достижения химии и химической технологии обеспечили возможность *замены пищевого сырья непищевым и растительного – минеральным* для производства технических и бытовых продуктов. Такая замена увеличивает пищевые ресурсы народного потребления, сохраняет лесные богатства, снижает себестоимость продуктов.

1.3.2.4. Воздух и вода как сырье химической промышленности

Химическая промышленность использует воздух и воду в огромных количествах и для самых разнообразных целей. Это объясняется комплексом ценных свойств воздуха и воды, их доступностью и удобствами применения.

Воздух в химической промышленности применяют в основном как сырье или как реагент в технологических процессах, а также для энергетических целей.

Технологическое применение воздуха обусловлено химическим составом атмосферного воздуха; сухой, чистый воздух содержит

(объемная доля в %): N_2 - 78,10; O_2 - 20,93; Ar - 0,93; CO_2 ~ 0,03 и незначительные количества He, Ne, Kr, Xe, H_2, CH_4, O_3, NO.

Чаще всего используют кислород воздуха в качестве **окислителя**: окислительный обжиг сульфидных руд цветных металлов, серосодержащего сырья при получении диоксида серы в сернокислотном, целлюлозно-бумажном производствах; неполное окисление углеводородов при получении спиртов, альдегидов, кислот и др. Кислород, выделяемый ректификацией жидкого воздуха, в больших количествах расходуют для кислородной плавки металлов, в доменном процессе и т. п.; при ректификации получают также азот и инертный газы, в основном аргон.

Азот используют в качестве **сырья** в производстве синтетического аммиака и других азотсодержащих веществ и как инертный газ. Воздух, применяемый в качестве реагента, подвергается, в зависимости от характера производства, очистке от пыли, влаги и контактных ядов. Для этого воздух пропускают через промывные башни с различными жидкими поглотителями (H_2O, щелочи, этаноламины и др.), мокрые и сухие электрофильтры, аппараты с влагопоглотительными сорбентами и пр.

Энергетическое применение воздуха связано, прежде всего, с использованием кислорода как окислителя для получения тепловой энергии при сжигании различных топлив.

Воздух используется также как **хладоагент** при охлаждении газов и жидкостей через теплообменные поверхности холодильников или в аппаратах прямого контакта (например, охлаждение воды в градирнях), при грануляции расплавов некоторых соединений (например, аммиачной селитры). В других случаях нагретый воздух используется как теплоноситель для нагрева газов или жидкостей.

В пневматических барботажных смесителях используют сжатый воздух для **перемешивания** жидкостей и пульпы, в форсунках - для распыления жидкостей в реакторах и топках.

Вода обладает универсальными свойствами, благодаря чему находит в народном хозяйстве разнообразное применение как **сырье**, в качестве химического реагента, как **растворитель**, **тепло- и хладоноситель**.

Например, из воды получают водород различными способами, водяной пар в тепловой и атомной энергетике; вода служит реагентом в производстве минеральных кислот, щелочей и оснований, в производстве органических продуктов - спиртов, уксусного альдегида, фенола и других многочисленных реакциях гидратации и гидролиза.

Водяной пар и горячая вода имеют значительные преимущества перед другими теплоносителями - высокую теплоемкость, простоту регулирования температуры в зависимости от давления, высокую термическую стойкость и пр., вследствие чего являются уникальными теплоносителями при высоких температурах. Воду используют также как хладоагент для отвода теплоты в экзотермических реакциях, для охлаждения атомных реакторов, где необходима «сверхдистиллированная» вода.

Природные воды содержат различные примеси минерального и органического происхождения. К минеральным примесям относятся газы N_2, O_2, CO_2, H_2S, NH_3, растворенные в воде соли, кислоты и основания находятся в основном в диссоциированном состоянии в виде катионов и анионов. К органическим примесям относятся коллоидные частицы белковых веществ и гуминовых кислот. Состав и количество примесей зависят главным образом от происхождения воды.

По происхождению различают атмосферные, поверхностные и подземные воды.

Атмосферная вода - вода дождевых и снеговых осадков - характеризуется небольшим содержанием примесей. В этой воде содержатся в основном растворенные газы и почти полностью отсутствуют растворенные соли.

Поверхностные воды - воды речных, озерных и морских водоемов - отличаются разнообразным составом примесей - газы, соли, основания, кислоты. Наибольшим содержанием минеральных примесей отличается морская вода (солесодержание более 10 г/кг).

Подземные воды - воды артезианских скважин, колодцев, ключей, гейзеров - характеризуются различным составом растворенных солей, который зависит от состава и структуры почв и горных пород. В подземных водах обычно отсутствуют примеси органического происхождения.

Качество воды определяется ее физическими и химическими характеристиками, такими как прозрачность, цвет, запах, температура, общее солесодержание, жесткость, окисляемость и реакция воды. Эти характеристики показывают наличие или отсутствие тех или иных примесей.

Общее солесодержание характеризует присутствие в воде минеральных и органических примесей.

Для большинства производств основным качественным показателем служит *жесткость* воды, обусловленная присутствием в воде солей кальция и магния. Жесткость выражается в миллиграмм-эквивалентах ионов Ca или Mg в 1 кг воды, т. е. за единицу жесткости

принимают содержание 20,04 мг/кг ионов кальция или 12,16 мг/кг ионов магния. Различают три вида жесткости: временную, постоянную и общую.

Временная (карбонатная или устранимая) жесткость обусловлена присутствием в воде гидрокарбонатов кальция и магния, которые при кипячении воды переходят в нерастворимые средние или основные соли и выпадают в виде плотного осадка (накипи):

$$Ca(HCO_3)_2 = CaCO_3 + H_2O + CO_2$$
$$2Mg(HCO_3)_2 = MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 + 3CO_2 + H_2O$$

Постоянная (некарбонатная, неустранимая) жесткость обусловливается содержанием в воде всех других солей кальция и магния, остающихся при кипячении в растворенном состоянии.

Сумма временной и постоянной жесткости называется *общей* жесткостью. Принята следующая классификация природной воды по значению общей жесткости (h в мг-экв/кг): $h < 1,5$ - малая жесткость, $h = 1,5$-$3,0$ - средняя, $h = 3,0$-$6,0$ - повышенная, $h = 6,0$-$12,0$ - высокая, $h > 12,0$ - очень высокая.

Окисляемость воды характеризуется наличием в воде органических примесей и выражается в миллиграммах кислорода, расходуемого на окисление веществ, содержащихся в 1 кг воды.

Активная реакция воды - ее кислотность или щелочность характеризуется концентрацией водородных ионов. Реакция природных вод близка к нейтральной; pH - водородный показатель, равный ($-lg\ a_{H}^{+}$), колеблется в пределах 6,8-7,3.

Производства в зависимости от целевого назначения воды предъявляют строго определенные требования к ее качеству, к содержанию примесей в ней; допустимые количества примесей регламентируются соответствующими ГОСТами. Природная вода, поступающая в производство, подвергается очистке различными методами в зависимости от характера примесей и требований, предъявляемых к воде данным производством.

В промышленности в целях экономии расхода воды применяют так называемую оборотную воду, т. е. использованную и возвращенную в производственный цикл.

1.3.2.5. Промышленная водоподготовка

Промышленная водоподготовка представляет собой комплекс операций, обеспечивающих очистку воды - удаление из нее вредных

примесей, находящихся в молекулярно-растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии.

Основные операции водоподготовки: очистка от взвешенных примесей *отстаиванием и фильтрованием*; *умягчение*, а в отдельных случаях – обессоливание; *нейтрализация*; *дегазация* и *обеззараживание*.

Отстаивание воды проводят в непрерывно действующих отстойных бетонированных резервуарах. Для достижения полного осветления и обесцвечивания декантируемую из отстойников воду подвергают коагуляции. *Коагуляция* - высокоэффективный процесс разделения гетерогенных систем, в частности, выделения из воды мельчайших глинистых частиц и белковых веществ. Физико-химическая сущность этого процесса состоит в том, что адсорбция коагулянта на поверхности заряженной коллоидной частицы приводит к слипанию отдельных частиц (коагуляции) и образованию осадка. При этом ион-коагулянт должен иметь заряд, противоположный заряду коллоидной частицы. Чем выше заряд иона-коагулянта, тем меньше расход электролита на коагуляцию. Так, природные глинистые коллоидные системы (природные воды) имеют отрицательный заряд, для их коагуляции чаще всего применяют соединения алюминия в виде сульфатов или двойных солей - алюмокалиевых квасцов. Одновременно идет процесс адсорбции на поверхности осадка органических красящих веществ, в результате чего вода обесцвечивается. Количество вносимого в воду коагулянта находится в прямой зависимости от загрязненности воды. Образующийся при коагуляции коллоидный осадок удаляется из воды отстаиванием и фильтрованием.

Фильтрование - наиболее универсальный метод разделения неоднородных систем. В технике фильтрования большое значение имеет развитая поверхность фильтрующего материала.

Умягчение и обессоливание воды состоит в удалении солей кальция, магния и других металлов. В промышленности применяют различные методы умягчения, сущность которых заключается в связывании ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} реагентами в нерастворимые и легко удаляемые соединения.

По применяемым реагентам различают способы:

- известковый (гашеная известь),
- содовый (кальцинированная сода),
- натронный (гидроксид натрия) и
- фосфатный (тринатрийфосфат).

Процесс умягчения основывается на следующих реакциях:

1) обработке гашеной известью для устранения временной жесткости удаления ионов железа и связывания CO_2:

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = \downarrow 2CaCO_3 + 2H_2O$$
$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 = \downarrow 2CaCO_3 + + \downarrow Mg(OH)_2 + 2H_2O$$
$$FeSO_4 + Ca(OH)_2 = \downarrow Fe(OH)_3 + \downarrow CaSO_4$$
$$4Fe(OH)_3 + O_2 + 2H_2O = \downarrow 4Fe(OH)_3$$
$$CO_2 + Ca(OH)_2 = \downarrow CaCO_3 + H_2O$$

2) обработке кальцинированной содой для устранения постоянной жесткости:

$$MgSO_4 + Na_2CO_3 = \downarrow MgCO_3 + Na_2SO_4$$
$$MgCI_2 + Na_2CO_3 = \downarrow MgCO_3 + 2NaCl$$
$$CaSO_4 + Na_2CO_3 = \downarrow CaCO_3 + Na_2SO_4$$

3) обработке тринатрийфосфатом для более полного осаждения катионов Ca^{2+} и Mg^{2+}:

$$3Ca(HCO_3)_2 + 2Na_3PO_4 = \downarrow 4Ca_3(PO_4)_2 + 6NaHCO_3$$
$$3MgCl_2 + 2Na_3PO_4 = \downarrow Mg_3(PO_4)_2 + 6NaCl$$

Растворимость фосфатов кальция и магния ничтожно мала, это обеспечивает высокую эффективность фосфатного метода.

Наиболее экономично применение комбинированного способа умягчения, обеспечивающего устранение временной и постоянной жесткости, а также связывание CO_2, удаление ионов железа, коагулирование органических и других примесей. Одним из таких способов является известково-содовый в сочетании с фосфатным.

Значительный экономический эффект дает сочетание химического метода с физико-химическим, т.е. *ионообменным способом*. Сущность ионообменного способа умягчения состоит в удалении из воды ионов кальция и магния при помощи ионитов, способных обменивать свои ионы на ионы, содержащиеся в воде.

Различают процессы катионного и анионного обмена; соответственно иониты называют катионитами и анионитами.

В основе катионного процесса умягчения лежит реакция обмена ионов натрия и водорода катионитов на ионы Ca^{2+} и Mg^{2+}:

$$Na_2\,[Кат] + Ca(HCO_3)_2 \leftrightarrow Ca[Кат] + 2NaHCO_3$$
$$H_2[Кат] + MgCl_2 \leftrightarrow Mg[Кат] + 2HCI$$

Приведенные реакции показывают, что ионообменный способ может обеспечить как умягчение воды, так и обессоливание, т. е. полное удаление солей из воды.

Реакции ионообмена обратимы, и для восстановления обменной способности ионитов проводят процесс регенерации. Регенерацию Na-катионитов осуществляют при помощи растворов поваренной соли, а H-катионитов - введением растворов минеральных кислот. Уравнения регенерации катионитов:

$$Ca[Кат] + 2NaCl \leftrightarrow Na_2[Кат] + CaCl_2$$
$$Na[Кат] + HC1 \leftrightarrow H[Кат] + NaCI$$

Примером анионного обмена может служить реакция обмена анионов OH^- по уравнению

$$[Ан]OH + HC1 \leftrightarrow [Ан]C1 + H_2O$$

Регенерацию анионита проводят при помощи растворов щелочей:

$$[Ан]C1 + NaOH \leftrightarrow [Ан]OH + NaCI$$

Полное обессоливание воды может быть достигнуто также путем перегонки воды - *дистилляции* - на перегонных установках.

Повышение технико-экономического эффекта водоподготовки связано с применением комбинирования нескольких технологических процессов, например коагуляции, умягчения и осветления с помощью современных методов ионного обмена, сорбции, электрокоагуляции и др.

Для современной промышленной водоподготовки значительный интерес представляет возможность применения электрохимических методов, в частности электрокоагуляции. *Электрокоагуляция* - способ очистки воды в электролизерах с растворимыми электродами - основана на электрохимическом получении гидроксида алюминия, обладающего высокой сорбционной способностью по отношению к вредным примесям.

На растворимом алюминиевом аноде происходят два процесса - анодное и химическое (не связанное с протеканием электрического тока) растворение алюминия с последующим образованием $A1(OH)_3$:

$$A1 - 3e^- \rightarrow A1^{3+}$$

$$Al^{3+} + 3\ OH^- \rightarrow Al(OH)_3$$

На катоде происходит выделение пузырьков газа - водорода (водородная деполяризация), поднимающих частицы веществ на поверхность воды. К достоинствам метода электрокоагуляции относятся: высокая сорбционная способность электрохимического $Al(OH)_3$, возможность механизации и автоматизации процесса, малые габариты очистных сооружений.

Для очистки главным образом кислых оборотных вод применяется *нейтрализация* - обработка воды оксидом или гидроксидом кальция.

Важной частью водоподготовки является удаление из воды растворенных агрессивных газов (CO_2, O_2) с целью уменьшения коррозии. Удаление газов осуществляют методом *десорбции* (термической деаэрации) путем нагревания паром.

Воду, используемую для бытовых нужд, обязательно подвергают *обеззараживанию* - уничтожению болезнетворных бактерий и окислению органических примесей в основном хлорированием при помощи газообразного хлора, а также хлорной извести и гипохлората кальция.

1.3.2.6. Водообеспечение промышленных предприятий

Химические производства относятся к водоемким. Большую часть воды расходуют для охлаждения и конденсации продуктовых потоков. В значительной части технологических процессов воду используют как растворитель или вводят в виде пара. Воду применяют и как реагент химических реакций.

Основные пути улучшения водообеспечения промышленных предприятий следующие:

разработка новых технологий, характеризующихся сокращением потребляемой воды и образующихся загрязненных стоков либо полным исключением воды из технологических операций;

создание локальных систем обезвреживания стоков отдельных производств, включающих извлечение из них и утилизацию ценных компонентов, подготовку очищенной воды к повторному использованию;

организация замкнутых водооборотных систем, включая сбор и использование очищенных сточных вод, паводковых вод и атмосферных осадков с территории предприятий.

Существенное *снижение водопотребления* достигается при замене водяного охлаждения воздушным. Действующими в отрасли нормами технологического

проектирования водяное охлаждение допускается лишь в тех случаях, когда по каким-либо причинам воздушное охлаждение невозможно. Аппараты воздушного охлаждения могут быть использованы вместо градирен для отвода избыточного тепла воды. Градирни открытого типа сложны в эксплуатации, в обычных условиях унос капельной влаги из градирен достигает 0,3 % и более, при этом в районе градирен загрязняются воздушный бассейн и почва. Особенно эффективны закрытые оборотные системы с аппаратами воздушного охлаждения высокозастывающих продуктов. Воздушное охлаждение позволяет сократить потребность в охлаждающей воде на действующих предприятиях на 60-75 % и, следовательно, объем сточных вод на 25-45 %. Соответственно снижаются потери сырья, основных и побочных продуктов, уменьшаются капитальные затраты и эксплуатационные расходы на водопотребление и водоотведение (канализацию).

Водопотребление снижается также при замене барометрических конденсаторов смешения (для создания вакуума) поверхностными аппаратами. Расход охлаждающей воды при этом сокращается в 3-4 раза, экономится энергия на перекачку воды, уменьшаются газовые выбросы в атмосферу.

Экономии воды способствует комбинирование процессов, так как жесткие связи по сырью между блоками установок позволяют устранить промежуточное охлаждение продуктовых потоков, а избыточное тепло на одном блоке утилизировать на других.

Расход воды снижается при повторно-последовательном использовании охлаждающей воды как на отдельных технологических установках, так и на смежных установках и некоторых объектах общезаводского хозяйства. Особенно эффективно оно в случае предварительной стабилизации свежей и оборотной воды против выпадения и разложения солей жесткости или специальной химической водоочистке свежей воды. Воду при этом можно нагревать до более высоких температур, так как накипь на трубах не образуется, а перед поступлением на градирню предварительно охлаждать с утилизацией тепла для отопления помещений, теплиц или производства холода. При такой схеме расход воды уменьшается в несколько раз.

С созданием крупных комплексов на нефтехимических предприятиях сооружение *локальных систем* оборотного водоснабжения, канализации и очистки сточных вод экономически выгодно. В этом случае снижаются затраты на биологическую очистку сточных вод, улучшается контроль за их качеством, сокращаются потери продуктов, уменьшается загрязненность окружающей среды. Экономически целесообразна децентрализация оборотного водоснабжения на действующих заводах с подключением к оборотным системам ограниченного числа технологических установок. При рассредоточении оборотного водоснабжения и уменьшении объема циркулирующей воды можно использовать герметизированные напорные системы водооборота и канализации сточных вод.

На ряде предприятий США и Западной Европы предусмотрены раздельные системы канализации: ливневая, хозяйственно-фекальная, условно чистая для ливневых вод и несколько производственных. Это позволяет распределять сточные воды с учетом степени их загрязненности, качества и свойств загрязнителей, выбирать наиболее оптимальные и дешевые методы очистки для возвращения в оборотные системы. Некоторые типы вод, например слабощелочные и слабокислые, целесообразно отводить в одну систему для их взаимной нейтрализации и экономии реагентов.

Сточные воды, содержащие нефтепродукты, не следует смешивать со сточными водами, содержащими вещества, способные образовывать трудно разрушаемые эмульсии, стойкую пену или увеличивать потери от испарения.

Оптимальное решение проблемы предотвращения загрязнения водоемов и уменьшения дефицита воды - **создание экономически рациональных замкнутых систем водного хозяйства предприятий**.

Необходимость и целесообразность создания замкнутых систем производственного водоснабжения обусловлены тремя основными факторами:

- дефицитом пресной воды. На увеличение дефицита пресной воды влияют не только непрерывный рост водопотребления, но и деградация качества воды природных водоисточников в результате поступления в них сточных вод;

- исчерпанием обезвреживающей (самоочищающей и разбавляющей) способности водоемов, в которые сбрасываются сточные воды;

- экономическими преимуществами по сравнению с очисткой сточных вод до соответствующих нормативов, позволяющих их сброс в открытые водоёмы.

Основные принципы создания замкнутых водооборотных систем

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.

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 допустимые пределы основных показателей качества воды, которые 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.;

- не влиять на здоровье обслуживающего персонала за счёт 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 водоёмы и только позднее стали направлять на очистные сооружения.

Общими задачами 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 производствах;

- последовательное многократное использование воды в различных или идентичных производствах должно 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 солевых технологических растворов с использованием извлекаемых продуктов 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.

Схемы водообеспечения промышленных предприятий

При прямоточном водообеспечении вся забираемая из водоема вода после использования в технологическом процессе возвращается в водоем за исключением безвозвратных потерь в производстве и потерь со шламом на очистных сооружениях (рис. 8,а).

Схема повторного использования сточных вод после их очистки показана на рис. 8,б. Незагрязненные нагретые сточные воды поступают на охладительные установки (градирни, охладительные пруды), а затем возвращаются в оборотную систему водообеспечения. Загрязненные сточные воды поступают на очистные сооружения. После очистки часть отработанных сточных вод подают в систему оборотного водообеспечения, если их состав удовлетворяет нормативным

требованиям.

Исходя из существующего технического уровня отраслей, повторно используется 92-98 % воды. В отдельных производствах этот показатель достиг 100 %, т.е. воду используют многократно без сброса загрязненных стоков в водоемы, а свежую воду добавляют в связи с естественной убылью (испарение, химическое превращение и др.). Так, на предприятиях нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности оборотные системы обеспечивают 91 % производственных потребностей в воде.

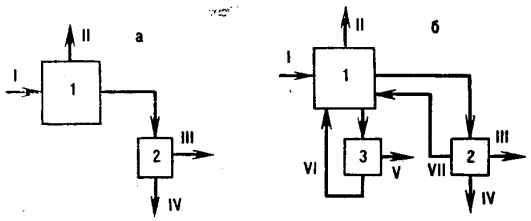

Рис. 8. Схемы водообеспечения промышленных предприятий:
а - прямоточная; б - оборотная;
1 - предприятие; 2 - очистные сооружения: 3 - охладительные установки;
I - вода из источника; II - безвозвратные потери воды; III - вода, удаляемая со шламом; IV - вода, сбрасываемая в водоем; V - потери воды на испарение и унос; VI - оборотная вода после охладительных установок; VII - то же после очистных сооружений

Однако переход от частичных оборотных систем к полностью замкнутым оборотным системам связан не только с дополнительными капитальными затратами на строительство соответствующих очистных сооружений, но и с решением двух основных задач: устранением минерализации и покрытием потерь оборотной воды

При циркуляции в системе часть воды испаряется в градирнях, с поверхности открытых прудов и очистных сооружений, при удалении шламов и осадков, теряется в результате участия в химических реакциях, подвергается различным физико-химическим воздействиям, в том числе упариванию, в результате чего в ней увеличивается концентрация солей и накипеобразующих соединений. При многократном использовании в воде накапливаются механические взвеси, различные коррозионно-агрессивные соединения и микроорганизмы. Все это вызывает интенсивное отложение накипи и коррозию оборудования, ухудшает теплопередачу. Из-за увеличения содержания в воде солей и других примесей требуется вывод части воды и замена ее свежей. С этой целью осуществляют так называемую подпитку, или продувку системы. Взамен сброшенной из водоема забирают свежую воду. Покрыть потери оборотной воды можно за счет бытовых сточных вод, а также дождевых и паводковых вод после

предварительной их подготовки.

При организации оборотного водообеспечения предусматривают методы борьбы с карбонатными отложениями, биологическими обрастаниями, коррозией оборудования, а также методы подготовки подпиточной воды.

Накапливающиеся в оборотной воде соли образуют на теплообменной поверхности так называемые *карбонатные отложения,* более чем на 50 % состоящие из карбоната кальция. Основные методы снижения отложений:

1) обработка охлаждающей воды кислотой (обычно серной) для снижения общей щелочности воды;

2) фосфатирование путем введения в воду раствора гексаметафосфата натрия, тормозящего процессы кристаллизации и осаждения карбоната натрия на стенках аппаратуры;

3) обработка воды магнитным полем, что вызывает быстрый рост кристаллов карбонатных и других отложений, которые сорбируют на своей поверхности ионы карбонатов кальция и магния, растут и выпадают в виде шлама, легко уносимого потоком.

При оборотном водоснабжении возникает проблема борьбы с *биологическими обрастаниями*. Разнообразные живые существа (бактерии), проникая из открытых водоемов в систему оборотного водоснабжения, поселяются на любой твердой поверхности, соприкасающейся с водой, развиваются, образуют поселения, называемые биологическими обрастаниями; сами организмы называются биогентами. Допустимой считается скорость развития биологических обрастаний теплообменных аппаратов и трубопроводов в оборотной воде не выше 0,07 г/(м^2-ч), т.е. в течение месяца толщина нарастающего слоя должна быть не более 0,05 мм. Для борьбы с бактериальными биогентами применяют хлор, а для уничтожения водорослей - медный купорос. Дозы и периодичность хлорирования определяют на основе лабораторных исследований оборотной воды. Водоросли развиваются в основном в теплый период года. Поэтому купоросом обрабатывают воду 3-4 раза в месяц в период с апреля по октябрь.

Содержащиеся в оборотной воде соли и другие примеси вызывают *коррозию оборудования.* Хлориды ускоряют коррозию вследствие увеличения кислотности воды и их разрушающего действия на пассивирующие пленки; сульфаты агрессивно действуют на бетон. Диоксид углерода замедляет образование защитных пленок. Для защиты от коррозии в оборотных системах применяют различные ингибиторы. Процесс коррозии приостанавливают хромат и бихромат

калия. Они же замедляют биологические обрастания. Для снижения коррозии воду обрабатывают также фосфатами, которые образуют пленку, изолирующую металл от воды. В отличие от хроматов фосфаты благоприятствуют развитию биологических обрастаний, поэтому эти химикаты иногда применяют совместно. Один из способов защиты металла от коррозии - защитные покрытия смолами, красками, лаками и эмалями, однако они недолговечны и восстановить их можно только во время ремонта.

Для предотвращения и удаления карбонатных отложений и биологических обрастаний систему оборотного водообеспечения систематически очищают механическим способом, гидропневматической промывкой или с помощью химических реагентов.

Таким образом, полностью замкнутая система водообеспечения предполагает постоянный количественный и качественный состав воды, предотвращение коррозии оборудования, загрязнения системы как минеральными, так и биологическими отложениями, отсутствие сброса загрязненных вод в водоемы, ликвидацию сбросов другими способами.

1.3.3. Энергетические ресурсы химико-технологической системы

1.3.3.1. Энергия в химическом производстве

В химическом производстве осуществляются процессы, связанные либо с выделением, либо с затратой, либо со взаимными превращениями энергии. Энергия затрачивается не только непосредственно на проведение химических реакций, но и на транспортировку материалов, дробление, фильтрацию, сжатие газов и т. д.

Энергоемкость производства - расход энергии на получение единицы продукта – один из важнейших показателей эффективности производства. Имеются производства, отличающиеся высокой энергоемкостью, и производства с относительно небольшим потреблением энергии. Так, на производство 1 т алюминия необходимо 18 000-20 000 кВт·ч энергии, а на производство минеральных удобрений (суперфосфата) – 2-10 кВт·ч. Энергию выражают в различных единицах: кДж, кВт·ч, в том числе в единицах условного топлива (1 кг твердого топлива или 1 $м^3$ газообразного с теплотой сгорания 29,3 МДж).

Несмотря на наличие производств, потребляющих небольшие количества энергии на тонну продукции, крупные масштабы современных химических комбинатов и заводов обусловливают возрастающую потребность во всех видах энергии.

Виды энергии

Наиболее широкое практическое применение в промышленности имеют электрическая, ядерная, тепловая, химическая и др. виды энергии. Вид применяемой энергии зависит от технологического процесса.

Электрическая энергия - наиболее универсальный вид энергии. Источником ее является энергия воды на ГЭС и превращение тепловой энергии, полученной в результате сгорания топлива (ТЭЦ) или в результате ядерных реакций (АЭС), в механическую, а затем механической в электрическую. Электроэнергия на химических предприятиях используется для осуществления электрохимических (электролиз растворов и расплавов), электротермических (плавление, нагревание, синтезы при высоких температурах и т. д.), электромагнитных процессов. В промышленности нашли применение процессы, связанные с использованием электростатических явлений (осаждение пылей и туманов, электрокрекинг углеводородов и др.), электронноионные явления, применяемые для контроля и автоматизации химических производств. Особенно широко в химической промышленности используется превращение электрической энергии в механическую, которая необходима главным образом для физических операций - дробления, измельчения, смешения, центрифугирования, работы вентиляторов, компрессоров, насосов и пр.

Тепловая энергия в химической промышленности применяется, во-первых, для осуществления разнообразнейших физических процессов, не сопровождающихся химическими реакциями - нагрева, плавления, сушки, выпарки, дистилляции и т. п. Кроме этого, большое количество тепловой энергии затрачивается на нагрев реагентов для проведения эндотермических химико-технологических процессов.

Внутриядерная энергия, выделяемая при различных превращениях атомных ядер или при синтезе ядер водорода в ядра гелия, используется для производства электрической энергии на атомных электростанциях. Большое распространение получают радиационно-химические процессы, в которых радиоактивные излучения используются для осуществления химических реакций.

Химическая энергия, выделяющаяся в результате экзотермических химических реакций, служит ценным источником тепла для обогрева реагентов, используемых для проведения реакции. Химическая энергия

применяется в гальванических элементах и аккумуляторах, где она преобразуется в электрическую.

Световая энергия используется для осуществления различных фотохимических реакций: синтеза хлористого водорода из элементов, галоидирования органических соединений и других процессов. Фотоэлектрические явления, в которых происходит превращение световой энергии в электрическую, нашли применение для автоматического контроля и управления технологическими процессами.

Источники энергии, используемой на промышленных предприятиях, могут быть различными. Они могут оцениваться по характеру энергетических ресурсов, энергетической ценности, запасам.

По характеру энергетические ресурсы делятся на *невозобновляемые и возобновляемые.* К невозобновляемым источникам энергии относятся уголь, нефть, сланцы, природный газ, которые после их использования не могут быть воспроизведены. Гидроэнергия, растительное топливо, энергия ветра, солнечная энергия относятся к непрерывно возобновляемым источникам энергии.

Энергетическая ценность отдельных источников энергии определяется количеством энергии, которое можно получить при их использовании. Для топлив, например, энергетическая ценность характеризуется количеством квт·ч, получаемых при полном использовании теплоты сгорания одного килограмма или кубического метра данного топлива, например энергетическая ценность каменного угля составляет 8,0 кВт·ч/кг, а природного газа – 10,6 кВт·ч/м^3.

Практическое использование энергетических ресурсов определяется прежде всего запасами, а также их географическим положением, доступностью использования, возможностью трансформации энергии и передачи ее на расстояния и рядом других факторов.

Размещение химических предприятий, отличающихся большими масштабами потребления энергии, зависит от наличия дешевого топлива и электрической энергии. В этой связи следует отметить роль *местных видов топлива*, которые, как правило, обходятся дешевле дальнепривозных. Однако в некоторых случаях использование транспортируемого на дальние расстояния по трубопроводам газа более рентабельно, чем использование местных топлив.

1.3.3.2. Рациональное использование энергии

В химических производствах, потребляющих большие количества энергии, энергетические затраты влияют на технико-экономические показатели процессов. Критерием экономичного использования энергии является коэффициент использования энергии.

Коэффициентом использования энергии называется отношение количества энергии, которое теоретически требуется затратить на получение весовой (или объемной) единицы продукта, к количеству практически затраченной энергии. Во многих производствах эти коэффициенты очень низки, что свидетельствует о непроизводительном расходовании энергии. Ограниченность энергетических ресурсов, в ряде случаев высокая стоимость энергии ставят задачу экономного и рационального ее использования.

На химических предприятиях из всех видов потребляемой энергии первое место принадлежит тепловой энергии.

Степень использования тепла в химико-технологическом процессе выражается *тепловым коэффициентом полезного действия*, под которым понимается отношение количества тепла, использованного непосредственно на осуществление основных химических реакций, к общему количеству затраченного тепла. Тепловой КПД является частным случаем коэффициента использования энергии. К сожалению, в химических процессах большое количество тепла теряется с удаляемыми из аппаратов продуктами реакции, отходящими газами и в окружающую среду.

Например, в печи для обжига известняка тепло, получаемое от сгорания топлива и внесенное с шихтой, расходуется: 1) на испарение влаги, 2) на разложение карбонатов, 3) с отходящими газами, 4) с выгружаемой известью, 5) через стенки печи в окружающую среду. Вторая статья расхода, характеризующая полезное использование тепла, составляет 64-65% от всего затраченного тепла, т.е. T=64-65 %. С отходящими газами теряется 18-20 %, с выгружаемой известью 2-5 % и в окружающую среду 5-6 % тепла. В ряде случаев потери тепла с продуктами реакции значительно больше.

Тепло продуктов реакции или отходящих газов (вторичные энергетические ресурсы) можно использовать для предварительного нагрева материалов, поступающих в реакционный аппарат. *Тепловые потери в окружающую среду* уменьшают, во-первых, тепловой изоляцией аппаратуры и, во-вторых, конструктивное оформление и габариты аппаратуры выбирают так, чтобы иметь минимальную поверхность теплоотдачи в окружающую среду.

При рациональном использовании тепловой энергии экономятся огромные количества топлива. Следует подчеркнуть, что нельзя рассматривать топливо в современных условиях только как источник тепловой энергии. Уголь, торф, сланцы, нефть, природные газы

являются ценнейшим и важнейшим сырьем химической промышленности. Задача заключается в комплексном энерго-химическом использовании топлива и как сырья для химической промышленности, и как источника получения энергии. Таким образом, решение проблем рационального использования энергии, уменьшения потерь тепла в окружающую среду и использование так называемых вторичных ресурсов имеет большое значение.

1.3.3.3. Вторичные энергетические ресурсы

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) - это энергия различных видов, покидающая технологический процесс или установку, использование которой не является обязательным для осуществления основного технологического процесса.

В настоящее время особенно велики потери теплоты на электростанциях, в металлургической, химической, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, в сельском хозяйстве. Теплота уносится также с вентиляционным воздухом, с канализационными и бытовыми стоками. Согласно расчетам, из 1,7 млрд. т у. т., расходуемого в стране за год, полезно используется примерно 700 млн. т. Утилизация ВЭР позволит получить большую экономию топлива и существенно уменьшить капитальные затраты на создание соответствующих энергоснабжающих установок, так как при одинаковом эффекте затраты на улучшение использования энергоресурсов в 1,5-2 раза ниже затрат на добычу топлива. Рациональное и возможно более полное использование вторичных энергоресурсов дает большую экономию материальных, денежных и трудовых затрат, обеспечивает снижение выбросов вредных веществ, в том числе и тепловых.

ВЭР разделяются на три основные группы: избыточного давления, горючие и тепловые.

ВЭР избыточного давления - это потенциальная энергия покидающих установку газов, воды, пара с повышенным давлением, которая может быть еще использована перед выбросом в атмосферу. Основное направление использования таких ВЭР - силовое (для получения электрической или механической энергии).

Горючие ВЭР - это горючие газы и отходы одного производства, которые могут быть применены непосредственно в виде топлива на других производствах. К ним можно отнести: щепки, опилки, стружку (в деревообрабатывающей промышленности); твердые и жидкие топливные отходы химической и нефтеперерабатывающей

промышленности; доменный газ (в металлургической промышленности). Главная трудность использования горючих ВЭР - примеси, которые могут загрязнять окружающую среду, вызывать коррозию котельной аппаратуры, осаждаться на поверхности водогрейных труб.

Тепловые ВЭР - это физическая теплота отходящих газов основной и побочной продукции производства; золы и шлака, горячей воды и пара; рабочих тел систем охлаждения технологических установок. Тепловые ВЭР используют для получения тепла, непосредственно передавая его соответствующим теплоносителям (подогревают потоки, вырабатывают пар). В зависимости от температуры их подразделяют на высоко- и низкопотенциальные.

Высокопотенциальные тепловые ВЭР (с температурой выше 120 °С) используют для выработки пара в котлах-утилизаторах.

Низкопотенциальные тепловые ВЭР (с температурой 50-120 °С) используют в основном для работы энергетических установок (подогрев воды для котельных установок). Основные трудности их использования – большие капитальные затраты из-за малой движущей силы (температурной) для передачи тепла и загрязнения примесями. Эффективным является использование низкопотенциальных тепловых ВЭР для получения искусственного холода в абсорбционных холодильных машинах.

1.3.4. Отходы производства

Любое производство, в том числе химическое, имеет отходы. Даже при полном использовании сырья и энергетически замкнутом производстве в нем имеют место необратимые потери.

Химическая промышленность - отрасль, потребляющая большое количество сырья, воды, энергии, следовательно, в процессе переработки образуется большое количество побочных продуктов, которые не всегда можно использовать как вторичное сырье, они накапливаются в виде отходов. Отдельные отходы требуют полного уничтожения (это относится в особенности к продуктам органических производств), поскольку они весьма токсичны.

Отходами следует считать такие остатки производства, которые практически невозможно использовать на данном этапе развития технологии и которые должны быть обезврежены и складированы или захоронены.

Другой же вид отходов, которые могут быть переработаны на данном этапе развития технологии, следует называть *технологическими*

остатками.

По виду отходы подразделяют на материальные и тепловые.

По периодичности появления отходы бывают постоянные, «залповые».

По источнику образования отходы бывают технологическими; отходы вспомогательных производств; тепловые; потери, связанные с несовершенством производства или нарушением режима.

В зависимости от источника образования и вида промышленности эти отходы разделяют на следующие группы:

отходы металлургической промышленности, энергетики и машиностроения (шлаки и шламы металлургических производств, золы и золошлаковые отходы тепловых электростанций, отходы огнеупорного и коксохимического производств, лом и отходы черных и цветных металлов);

отходы лесной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, полиграфической, микробиологической и других отраслей (макулатура, древесные отходы, кора, вторичные текстильные материалы, стеклобой, лигнин, сульфитные щелоки);

отходы горной и горно-химической промышленности, достигающие миллиарды тонн (отвалы, шлаки, хвосты обогащения руды, галитовые отходы);

отходы химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности (фосфогипс, пиритные огарки, электротермофосфорный шлак, отработанные нефтепродукты и растворители, кислые гудроны, нефтяные шламы, активный ил биологических очистных сооружений и осадки сточных вод, кубовые остатки и различные некондиционные жидкие продукты). Среди твердых отходов большое место занимают отходы производства полимерных материалов, изношенные шины и другие резиновые изделия, активный уголь, иониты и другие адсорбенты, смолы, тяжелые металлы, их соли и оксиды, сульфиды, сульфаты, алюминийсодержащие отходы.

Таким образом, на предприятиях химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности образуется большое количество твердых и жидких отходов. Значительную их часть не используют, собирают в накопителях, выводят в отвалы, что приводит к загрязнению окружающей среды. В то же время эти отходы являются крупным резервом материальных ресурсов, утилизация их может существенно улучшить технико-экономические показатели процессов.

Концепция минимизации отходов направлена на защиту окружающей среды. Реализация ее прежде всего связана с улучшением

использования сырьевых и энергетических ресурсов, а также включает в себя следующие специальные мероприятия:

- санитарную очистку и обезвреживание выбросов;
- улучшение и замену вспомогательных потоков (замена водяного охлаждения на воздушное);
- замкнутый водооборот;
- повышение надежности оборудования и элементов ХТС.

Кардинальным решением претворения в жизнь концепции минимизации отходов является создание безотходного производства.

Под *малоотходным производством* понимают такое производство, вредные последствия деятельности которого не превышают уровня, допустимого санитарными нормами, но по техническим, экономическим, организационным или другим причинам часть сырья и материалов переходит в отходы и направляется на длительное хранение.

Конечно, концепция безотходной технологии в некоторой степени носит условный характер. Под *безотходной* технологией понимается теоретический предел, идеальная модель производства, которая в большинстве случаев может быть реализована не в полной мере, а лишь частично (отсюда и малоотходная технология), но с развитием технического прогресса - со все большим приближением.

В создании безотходной технологии определились следующие четыре принципа:

1) разработка и внедрение различных бессточных технологических схем и водооборотных циклов на базе эффективных методов очистки;

2) разработка и внедрение принципиально новых технологических процессов, исключающих образование любых видов отходов;

3) создание территориально-промышленных комплексов, т. е. экономических районов, в которых реализована замкнутая система материальных потоков сырья и отходов внутри комплекса;

4) широкое использование отходов в качестве вторичных материальных и энергетических ресурсов.

Анализ существующей ситуации, расчеты и прогнозы на будущее убедительно показывают, что реализация безотходных производств во всех отраслях промышленности возможна при условии активного использования достижений науки и техники, и в первую очередь химической технологии.

1.4. Взаимодействие производства и окружающей среды

Развитие производства с целью удовлетворения потребностей человека немыслимо без использования природы и ее разнообразных

ресурсов. При этом проявляется и отрицательное воздействие производства на окружающую природную среду - это ее загрязнение, которое во многих районах мира достигло критического для устойчивости экологических систем и здоровья людей уровня.

В процессе взаимодействия производства и окружающей среды осуществляется обмен веществ между производственной и природными сферами. Он называется антропогенным метаболизмом.

Антропогенный метаболизм складывается из двух составляющих: суммы индивидуальных обменов веществ всех людей на Земле (биологическая часть) и суммы техногенных обменов веществ от технологических процессов (технологическая часть). Последняя трактуется как обмен веществ и энергии между техносферой и биосферой.

Технологический обмен - явление на Земле принципиально новое и потому порождает немало проблем и противоречий в системе «общество – природа».

Любой *технологический процесс* начинается вводом исходных веществ (сырья) и завершается в конечном итоге выводом разнообразных готовых изделий и отходов. Иными словами, система антропогенного обмена в целом включает ввод природных ресурсов, их переработку с использованием энергии и вывод в окружающую среду отработанных веществ (производственных и бытовых отходов) и отслуживших свой срок готовых изделий. Процесс этот носит линейный, незамкнутый и, следовательно, конечный характер, поскольку возвращение отходов и отработанных изделий в качестве исходного сырья все еще скорее исключение, чем правило.

Обмен веществ в биосфере основан на других принципах. Суммарный процесс движения веществ в биосфере носит замкнутый, цикличный характер, т. е. теоретически бесконечный при постоянном потоке энергии от Солнца.

Современный объем и скорости антропогенного обмена, особенно в его технологической части, достигли уровня, при котором все отчетливее проявляется напряженность и на вводе (сырьевые ресурсы), и на выводе из системы (отходы).

Масштабы воздействия человека на окружающую среду огромны. Интенсивному воздействию подвергаются все компоненты окружающей среды, из которых наиболее важны для человека атмосферный воздух, пресная вода и почва.

Загрязнение окружающей среды - вывод из системы антропогенного обмена в природу всевозможных отходов, отбросов и использованных (амортизированных) изделий.

Все это ставит перед всеми людьми объективное требование - учитывать воздействие производства на окружающую среду, не допускать превышения порогов устойчивости экологических систем, чтобы не вызвать необратимых процессов в природе, способных привести к ее деградации и гибели всего живого на Земле.

1.4.1. Классификация и основные характеристики загрязнения окружающей среды

В настоящее время к **загрязнениям** принято относить все те антропогенные факторы, которые оказывают нежелательное воздействие, как на самого человека, так и на ценные для него организмы и ресурсы неживой природы.

В большинстве случаев загрязнения представляют собой отходы различных производств, образующиеся наряду с готовой продукцией в результате переработки разнообразных природных ресурсов - топливных, сырьевых, кислорода воздуха, воды и т. д. Отходы производства можно рассматривать как продукты обмена веществ между индустриально развитым обществом и природой, как своеобразные «экскременты производства», по выражению К. Маркса. Типичным «организмом», осуществляющим такой обмен веществ, является современный промышленный город.

Промышленные загрязнения могут быть механическими, химическими, физическими и биологическими.

К *механическим* загрязнениям относятся запыление атмосферы, твердые частицы и разнообразные предметы в воде и почве.

Химическими загрязнениями являются всевозможные газообразные, жидкие и твердые химические соединения и элементы, попадающие в атмосферу и гидросферу и вступающие во взаимодействие с окружающей средой.

К *физическим* загрязнениям относятся все виды энергии как отходы разнообразных производств. Это – тепловая, механическая (включая вибрации, шум, ультразвук), световая энергии, электромагнитные поля, все ионизирующие излучения.

Биологические загрязнения – все виды организмов, появившиеся при участии человека и наносящие вред ему самому или живой природе.

По другой классификации все промышленные загрязнения окружающей среды подразделяются на две основные группы:

материальные (вещества), включающие механические, химические, биологические загрязнения, и *энергетические* (физические) загрязнения. Объединение механических и химических загрязнений в одну группу обусловлено тем, что большая часть веществ оказывает на окружающую среду оба рода воздействия. Более того, некоторые виды загрязнений, например, радиоактивные отходы, могут быть одновременно материальными и энергетическими.

В основу классификации материальных загрязнений приняты среда распространения загрязнений (атмосфера, гидросфера, литосфера), их агрегатное состояние (газообразные, жидкие, твердые), применяемые методы обезвреживания, а также степень токсичности загрязнений.

Необходимо помнить, что абсолютно безвредных отходов не существует. Так, углекислый газ вреден уже тем, что при больших концентрациях снижает в воздухе относительное содержание кислорода.

Материальные промышленные загрязнения окружающей среды подразделяются на выбросы в атмосферу, сточные воды и твердые отходы.

Выбросы вредных веществ атмосферу классифицируются по агрегатному состоянию этих веществ (газо- и парообразные, жидкие, твердые, смешанные выбросы) и по массовому выбросу, т. е. массе веществ, выбрасываемых в единицу времени (тонн в сутки).

Производственными сточными водами называются воды, использованные промышленными предприятиями и подлежащие очистке от различных вредных примесей.

Загрязнения стоков разнообразны по дисперсности и агрегатному состоянию. Они могут присутствовать в сточных водах в виде химических растворов (размеры частиц порядка 10^{-8} см, что соответствует размерам атомов и небольших молекул), в виде коллоидных растворов (с размерами частиц от 10^{-7} до 10^{-5} см) и в виде грубодисперсных систем (с частицами размером более 10^{-5}см). К последним относятся эмульсии нерастворимых в воде жидкостей (например, масел), взвешенных в виде более или менее мелких капелек, и суспензии - взвеси твердых частиц, размеры которых могут достигать нескольких миллиметров.

Производственные сточные воды подразделяются на *условно чистые (оборотные) и грязные*.

Условно чистыми, как правило, являются воды от охлаждения технологического оборудования, компрессоров и т. д. Эти воды

охлаждаются в заводских прудах или градирнях, очищаются от механических загрязнений и масел и затем возвращаются в производство при ограниченной добавке свежей воды.

Грязные сточные воды как по количеству, так и по составу различны не только для разных производств, но даже для цехов и отдельных установок одного и того же предприятия.

Для рационального выбора метода обезвреживания производственные сточные воды классифицируются *по происхождению* содержащихся в них веществ (органическое, неорганическое, смешанное), их *концентрации*, *физическим свойствам* (температуры кипения, плавления, разложения) и т. п.

Промышленные твердые отходы делятся на два основных вида: нетоксичные и токсичные. Их можно также классифицировать на *металлические, неметаллические и комбинированные*. Неметаллические отходы подразделяют на химически инертные (отвалы пустой породы, зола и т. д.) и химически активные (резина, пластмассы и т. д.). К числу комбинированных отходов относится всевозможный промышленный и строительный мусор.

Оказывая отрицательное влияние на окружающую среду, материальные загрязнения, в свою очередь, могут подвергаться определенному воздействию окружающей среды. По этому, весьма важному с экологической точки зрения признаку, загрязнения разделяют на две группы: *стойкие* (неразрушаемые) и *разрушаемые под действием природных химико-биологических процессов*.

Энергетические загрязнения окружающей среды включают промышленные тепловые выбросы, а также все виды воздействующих на биосферу излучений и полей.

Тепловое загрязнение биосферы, являющееся следствием конвективного и радиационного теплообмена между нагретыми выбросами или технологическими установками (источниками теплоты) и окружающей средой и проявляющееся в повышении температуры атмосферы, воды или почвы, в большей или меньшей степени присуще всем производствам.

Шум, вибрация и ультразвук представляют собой волнообразно распространяющиеся периодические колебательные движения частиц упругой среды (газообразной, жидкой или твердой). Они различаются по частоте колебаний и характеру восприятия их человеком.

Колебания с частотой 16-20 000 Гц, передаваемые через газообразную среду, производят *звуки или шумы* (беспорядочные сочетания звуков различной частоты и интенсивности) и

воспринимаются органами слуха. Колебания с частотой ниже 16 Гц называются *инфразвуками*, а выше 20 кГц - *ультразвуками*; органами чувств человека они не воспринимаются, однако оказывают на него влияние.

Колебания твердых тел или передаваемые через твердые тела (машины, строительные конструкции и т. п.) называются *вибрацией*. Вибрация воспринимается организмом как сотрясение при общей вибрации с частотой от 1 до 100 Гц, а при локальной (например, при работе с виброинструментом) - от 10 до 2000 Гц.

Ввиду общего принципа образования шума, ультразвука и вибрации четких границ в их субъективном восприятии нет. Поэтому на граничных частотах человек обычно испытывает воздействие одновременно двух, а иногда и всех трех названных факторов.

Широко распространены в машиностроении технологические процессы, в которых используются *электромагнитные поля высокой частоты*. С их помощью осуществляют индукционный нагрев металлов при термообработке, плавке, сварке, пайке, а также других материалов (зонная плавка полупроводников, сварка металла и стекла и т. д.).

Работающие в горячих цехах подвергаются воздействию *световых излучений* как видимой (собственно световое), так и невидимых частей спектра (инфракрасное, или тепловое, и ультрафиолетовое излучение). Кроме того, для сварки и размерной обработки материалов широко применяются оптические квантовые генераторы – лазеры, излучение которых охватывает практически весь оптический диапазон, простираясь от ультрафиолетовой до дальней инфракрасной областей спектра.

Для выполнения различных контрольных операций (радиоизотопная дефектоскопия, контроль размеров проката, поковок и т. п.) в машиностроении самое широкое применение находят *ионизирующие излучения* (альфа, бета, гамма, рентгеновское, нейтронное). Такие излучения при взаимодействии с веществом вызывают его ионизацию, т.е. сообщают его нейтральным атомам и молекулам электрический заряд, превращая их в ионы. Степень воздействия на вещество ионизирующего излучения зависит от его проникающей и ионизирующей способности.

Большинство энергетических загрязнений окружающей среды в отличие от материальных действуют лишь во время их производства и *не аккумулируются в природе* (это не распространяется на тепловые выбросы и ионизирующие излучения). Другой особенностью энергетических загрязнений является *ограниченность сферы их*

активного воздействия на окружающую среду.

Следует отметить, что зона распространения шума и вибрации также ограничена, но она значительно шире, чем у других излучений. Вследствие этого воздействию шума и вибрации подвергаются не только работающие непосредственно у их источников, но также работники других участков, цехов и служб предприятия и даже население близко расположенных кварталов жилой застройки. Поэтому борьба с шумом и вибрацией является одной из важнейших составляющих проблемы охраны окружающей среды.

1.4.2. Классификация и краткая характеристика методов охраны окружающей среды

Под *методами охраны окружающей среды* от загрязнения отходами производства понимают совокупность технических и организационных мероприятий, позволяющих свести к минимуму или совершенно исключить выбросы в биосферу как материальных, так и энергетических загрязнений.

Следует отметить, что каких-либо универсальных рецептов, радикально решающих проблему борьбы с загрязнениями, пока, к сожалению, не существует. Метод, дающий хорошие результаты в случае данного загрязнения определенной концентрации или уровня, может оказаться бесполезным или малоэффективным в других условиях. Наиболее эффективным обычно оказывается сочетание нескольких методов борьбы с загрязнениями, рационально подобранных применительно к тому или иному конкретному случаю.

Все методы борьбы с загрязнениями можно разбить на две большие группы: *пассивные и активные*.

К числу *пассивных* относятся методы, использование которых не связано с непосредственным воздействием на источник загрязнения. Эти традиционно применяемые методы, носящие защитный характер, делятся, в свою очередь, на три подгруппы: рациональное размещение источников загрязнений (как материальных, так и энергетических); локализация загрязнений; очистка выбросов в биосферу.

Вопрос о *рациональном размещении источников загрязнений*, так называемой «защите расстоянием», решается на различных уровнях (общегосударственном, региональном, местном) в зависимости от их масштаба (расположение территориально-производственных комплексов на территории страны, производственных объединений и отдельных предприятий в республике, области или городе, цехов внутри предприятия, оборудования внутри цеха). При этом учитывается

большое количество разных факторов: уровень производственной вредности, рельеф местности, метеорологические условия, вопросы водоснабжения и канализации, населенность, планировка производственных зданий и кварталов жилой застройки, особенности применяемой технологии производства и т. д.

Для снижения уровней энергетических загрязнений применяются средства защиты, обеспечивающие их частичную локализацию. К ним относятся *экранирование* источников шума, электромагнитных полей и ионизирующих излучений, поглощение шума, демпфирование и динамическое гашение вибраций. Более высокая степень локализации загрязнений может быть достигнута путем *изоляции и герметизации* их источников. Такая герметизация осуществляется с помощью специальных камер, кожухов, боксов, в которые заключается технологическое оборудование, выделяющее загрязняющие окружающую среду вещества или излучения. В качестве примера можно привести выполняемую в камере окраску изделий распылением. Изоляция шумного оборудования позволяет намного снизить уровень шума. К этой же подгруппе относится и *захоронение токсичных отходов производства*, не подлежащих утилизации. Концентрированные радиоактивные отходы подвергаются захоронению в земле в специальных долговечных емкостях. Одним из лучших методов захоронения концентрированных сточных вод является закачивание их в глубокие горизонты земной коры, для чего целесообразно использовать отработанные скважины и заброшенные шахты. Затраты на подобное захоронение жидких отходов во много раз ниже расходов на их очистку, но подземное захоронение промышленных стоков возможно лишь в определенных гидрогеологических условиях, определяемых строением пласта-коллектора, его поглощающей способностью и изолированностью от других водоносных горизонтов.

Очистка выбросов в воздушный бассейн и сбросов в водоемы заключается в освобождении выбросов и сбросов от содержащихся в них загрязняющих веществ с целью снижения их концентрации до уровня, при котором биосфере не будет наноситься ущерб. Выделенные в процессе очистки загрязняющие вещества обезвреживаются химическим или термическим способом или подвергаются захоронению. Важным показателем работы очистного оборудования является степень очистки η (%) газа или жидкости, определяемая по формуле

$$\eta = (C_1 - C_2)100/C_1,$$

где $\mathbf{C_1}$ и $\mathbf{C_2}$ – концентрация загрязняющего вещества до и после очистки.

В зависимости от количества отходов, их физико-химических свойств и требуемой степени очистки применяются различные методы очистки: механические, химические, биохимические, физико-химические, физические и термические.

Механические методы используют для очистки выбросов в атмосферу и сточных вод с помощью специальных сооружений и устройств гравитационного, центробежного и инерционного типов (осадительных камер, ловушек, отстойников, циклонов), а также контактных фильтров. Эти методы применяют главным образом для предварительной очистки от грубодисперсных примесей (исключение составляют контактные фильтры, применяемые как для грубой, так и для тонкой очистки).

При *химических методах* очистки к отходам добавляются различные реагенты, вступающие во взаимодействие с теми или иными примесями. В результате химических реакций образуются новые соединения, уже не оказывающие токсичного действия на окружающую среду. Реагентная обработка отходов вызывает в них также структурные изменения (коагуляция), интенсифицирующие процесс очистки.

Биохимические методы применяют для очистки сточных вод, содержащих незначительные количества органических и минеральных веществ (менее 1 г/л). Они заключаются в разрушении органических продуктов в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Биохимические методы часто применяются для доочистки промышленных сточных вод после обработки их другими способами.

Физико-химические методы очистки включают флотационные, экстракционные, электрохимические, сорбционные методы. Первые три используются для очистки только сточных вод.

Процесс очистки *флотацией* заключается в действии молекулярных сил, способствующих слипанию мелких частиц взвесей и эмульсий (например, нефтепродуктов) с пузырьками диспергированного в сточной воде воздуха и всплыванию образующейся системы на поверхность.

Жидкостная экстракция - один из наиболее распространенных методов извлечения из сточных вод примесей, представляющих техническую ценность при относительно высоком их содержании. Процесс экстракции является, как правило, многоступенчатым, т. е. складывается из ряда последовательно проводимых процессов смешения сточных вод с растворителем (экстрагентом) и последующего

разделения образующихся практически несмешивающихся жидких фаз.

В основе *электрохимических методов* очистки лежит использование электрического тока для осуществления процессов окисления и восстановления веществ.

Особое значение имеют *сорбционные методы*, позволяющие возвращать в производство содержащиеся в отходах ценные компоненты. Существуют три разновидности этого способа очистки: абсорбционный, адсорбционный и ионообменный методы.

Абсорбционный метод основан на диффузионном и химическом поглощении жидкими реагентами (абсорбентами) токсичных газов и паров из их смесей с воздухом и применяется для очистки выбросов в атмосферу, осуществляемой в специальных аппаратах (скрубберах и др.). Надлежащим подбором абсорбента можно обеспечить очистку выброса от той или иной вредной газообразной примеси или улавливание ценного компонента. Абсорбция используется для поглощения содержащихся в выбросе водяных паров концентрированной серной кислотой, аммиака и хлористого водорода водой и т. п.

Адсорбционный метод применяется для очистки как выбросов в атмосферу, так и сточных вод. Он основан на поглощении газов и паров из воздуха или растворенных веществ из сточных вод поверхностью твердых тел (адсорбентов), обладающих высокой пористостью и большой удельной поверхностью. В качестве адсорбентов применяются главным образом различные типы активированного угля. Адсорбцию применяют при незначительном содержании поглощаемых паров и газообразных компонентов.

Адсорбционная очистка сточных вод может быть *регенеративной*, т. е. с извлечением вещества из адсорбента и его утилизацией, и *деструктивной*, при которой извлеченные из стоков загрязнения уничтожаются как не представляющие технической ценности.

В последнее время в практике очистки сточных вод от загрязнений все более широкое распространение получает *ионообменный метод*. Он основан на использовании ионитов - твердых природных или искусственных материалов, практически не растворимых в воде и органических растворителях и способных к ионному обмену, т. е. извлечению из растворов различных положительно или отрицательно заряженных ионов. Важной особенностью данного метода является возможность многократного использования ионитов с утилизацией содержащихся в стоках ценных веществ.

Сущность *физических методов* очистки заключается в воздействии на очищаемый газ или жидкость излучениями (ультразвуком,

бактерицидными ультрафиолетовыми лучами) и полями (электрическим или магнитным). Так, ультразвуковое облучение очищаемого газа позволяет интенсифицировать процесс очистки за счет укрупнения взвешенных в нем частиц (акустическая коагуляция). Электрическое поле высокого напряжения используется в электрофильтрах тонкой очистки воздуха для ионизации его молекул, передающих заряд на взвешенные твердые или жидкие частицы, оседающие затем на электроды электрофильтра. Применение магнитных или электромагнитных полей позволяет сделать более эффективными процессы очистки сточных вод от ферромагнитных частиц.

К числу физических методов очистки сточных вод следует отнести также выпаривание, применяемое при малом объеме стоков и высокой концентрации загрязнений в них.

Термические методы очистки всех видов отходов (газообразных, жидких и твердых) заключаются в окислении содержащихся в них токсичных органических веществ кислородом воздуха при высокой температуре до нетоксичных соединений. Метод сжигания органических примесей используют в тех случаях, когда возвращение примесей в производство невозможно или нецелесообразно. Термическое сжигание применяется при высокой концентрации примесей и значительном содержании в газах кислорода при температуре 800-1100 °С. В последнее время получили распространение каталитические методы сжигания газов, осуществляемые в присутствии катализаторов при температурах, не превышающих 250-300 °С. Каталитическое окисление в 2-3 раза дешевле высокотемпературного сжигания при высокой эффективности процесса.

В настоящее время пассивные методы являются основными средствами борьбы с загрязнением окружающей среды.

Сущность *активных* методов заключается в совершенствовании существующих и разработке новых технологических процессов, оборудования и оснастки с целью максимального снижения массы, объема, концентрации материальных или уровня энергетических загрязнений всякого рода. Очевидно, что при таком подходе проблема устранения загрязнений решается радикально. Поэтому активным методам как более прогрессивным в последние годы уделяется все большее внимание. Однако разработка и внедрение этих методов во многих случаях связаны с изменением существующей технологии производства.

Основные направления активных методов борьбы с загрязнениями окружающей среды перечислены ниже в порядке возрастания

эффективности и одновременно сложности подлежащих решению задач: *минимизация отходов производства как материальных, так и энергетических; замена токсичных отходов нетоксичными; замена неутилизируемых отходов утилизируемыми; создание безотходной технологии.*

Говоря об активной борьбе с загрязнением окружающей среды, следует различать прямые и косвенные методы. *Прямые методы* охраны биосферы заключаются в таком воздействии на источники загрязнений, которое ведет к непосредственному снижению массы, объема, концентрации вредных материальных загрязнений либо уровня энергетических загрязнений. Например, к прямым методам охраны воздушного бассейна от загрязнения продуктами сгорания топлива относятся следующие мероприятия: улучшение качества твердого и жидкого топлива; совершенствование топочных устройств, форсунок и горелок для сжигания топлива; перевод котельных на газовое топливо.

Применение *косвенных методов* не дает непосредственного снижения уровня загрязнений, но позволяет свести к минимуму загрязнение окружающей среды при проведении последующих технологических процессов или исключить их. Так, приближение формы и размеров заготовок к форме и размерам деталей машин в результате использования более прогрессивных способов литья не только позволяет существенно снизить металлоемкость изделий машиностроения, но и уменьшить загрязнение окружающей среды, неизбежное при переработке металлической стружки, образующейся при изготовлении деталей на металлорежущих станках.

Приведенные примеры иллюстрируют возможности совершенствования технологических процессов и оборудования в направлении *минимизации вредных отходов* производства.

В ряде случаев появляется возможность такого изменения технологии, при котором *токсичные отходы полностью заменяются нетоксичными*. Например, процесс травления, неизбежно сопровождающийся образованием токсичных стоков, может быть во многих случаях заменен новым методом механической обработки - иглофрезерованием, при котором вредные отходы практически не образуются.

Еще более эффективным направлением экологизации производства является *замена неутилизируемых отходов утилизируемыми*. Наибольшие успехи достигнуты в области утилизации основных отходов производства - твердых, в первую очередь металлических. То же можно сказать и об утилизации энергетических отходов производства. Так, несмотря на то, что использование образующегося

при технологических процессах тепла в теплообменных аппаратах (регенераторах и рекуператорах) давно уже стало традиционным, возможности совершенствования производства в этом направлении далеко не исчерпаны. Например, использование тепла очищенных сточных вод в рыбоводстве.

Высшей формой активного совершенствования технологии производства является *создание безотходной технологии* на базе замкнутых технологических процессов, при которых отходы каждого предыдущего процесса являются сырьем для последующего. Внедрение на всех этапах производства безотходной технологии радикально разрешит проблему загрязнения окружающей среды.

Но, несмотря на то, что уже созданы и успешно осуществлены на практике отдельные замкнутые процессы, повсеместное применение безотходной технологии представляется делом более или менее отдаленного будущего. Разработка новых методов требует решения большого количества весьма сложных технологических и организационных задач, связанных не только с научно-техническими (и в первую очередь энергетическими), но и с социально-экономическими аспектами, а их внедрение - коренной реорганизации производства.

Приведенная классификация активных методов охраны окружающей среды, включающая четыре группы, является в значительной мере условной, поскольку во многих случаях тот или иной технологический процесс трудно отнести к одной определенной группе.

ГЛАВА 2
ГОРНО-ДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Еще не так давно понятие охраны природы было синонимом консервации, сохранения природной среды в нетронутом виде. Для экономического развития общества преобразование природы необходимо, но оно должно быть рациональным, т.е. ни в ближайшем будущем, ни в отдаленной перспективе не приводить к экологической разрухе.

Добыча полезных ископаемых ведет к исчерпанию невозобновляемых ресурсов.

Продукция горно-добывающей промышленности включает следующие сырьевые ресурсы:

- энергетическое сырье (каменный уголь, бурый уголь, сланцы, торф, уран) – 85 % от общего объема;

- металлические руды (медные, железные, золотосодержащие, оловянные, никелевые, свинцовые и др.) - 12 %;

- неметаллические полезные ископаемые (фосфатное сырье, калийные соли, каменная соль) - 3 %.

Из общего объема неметаллических полезных ископаемых подавляющая часть добычи приходится на щебень (48,9 %) и песчано-гравийный материал (43,8 %), на глины, фосфаты, гипс, известь - 6,9 %, а на остальные 15 наименований неметаллического сырья остается 0,4 % их общего количества.

Добыча предполагает извлечение огромных количеств пустой породы (вскрыши). В среднем за год в мире извлекается из недр 30-32 млрд т горной массы, мировая промышленность перерабатывает 10-11 млрд т вещества, включая руду, растительную и животную массу (свыше 80 % приходится на минеральное сырье). Таким образом, более 20 млрд т горных пород поступает в отвалы. Конечная продукция мировой промышленности (металлы, цемент) составляет примерно 2 млрд т, а 9 млрд т образуют отходы, в массу которых входят и продукты сжигания 6 млрд т топливно-энергетического сырья. Годовая масса отвалов и отходов (29 млрд т) в основном складируется на поверхности земли, вызывая изменение ландшафтов, разнообразные загрязнения биосферы.

Невозможно разрабатывать подземные богатства, не воздействуя при этом на земную поверхность, растительность, водный и воздушный бассейны. Одна из особенностей охраны природы в горно-рудных районах - сложный комплекс воздействий, многофакторное загрязнение окружающей среды, требующее комплексных мер защиты.

2.1. Загрязнение атмосферного воздуха при разработке месторождений

Минеральное сырье добывается в шахтах, рудниках или открытых разработках. Выбросы в атмосферу широко варьируются в зависимости от типа рудника и методов добычи сырья, от содержания влаги в материале и его рыхлости.

Загрязнение атмосферы при подземных работах

Подземная разработка месторождений сопровождается значительным загрязнением атмосферного воздуха. Основными источниками загрязнения являются газопылевые «выбросы» из

подземных горных выработок, газопылевые выделения из породных отвалов и складов полезных ископаемых.

В данном случае под выбросом понимается поступление в атмосферу из подземных горных выработок рудничного (шахтного) воздуха; масса этого воздуха может быть весьма значительной, а концентрации в нем загрязняющих веществ обычно не столь велики. *Рудничный воздух* представляет собой смесь атмосферного воздуха с различными газообразными примесями, выделяемыми из пород, полезных ископаемых или шахтных вод (например, CH_4, CO_2, H_2, N_2, H_2S и др.), а также образуемыми при взрывных работах и в ряде других процессов (CO_2, CO, SO_2, H_2S, NO_2 и др.).

Состав воздуха, поступающего в подземные горные выработки, по мере продвижения изменяется в результате:

1) действия окислительных процессов (CO_2, CO, SO_2, NO_2 и др);

выделения газов из разрушаемых пород (CH_4, при разработке угольных месторождений в атмосферу попадает до 90 млн т);

3) ведения взрывных работ (CO_2, CO, SO_2, H_2S, NO_x и др.);

4) процессов дробления горных пород (пыль, в атмосферу Земли из подземных горных выработок шахт и рудников ежегодно поступает около 0,2 млн. т. пыли);

5) пожаров, взрывов метана и пыли (CO_2, CO, SO_2, H_2S, NO_2);

6) гниения органических веществ, разложения водой сернистого колчедана (H_2S и др.).

При подземной разработке *рудных и нерудных* месторождений по сравнению с угольными газовая составляющая выбросов значительно меньше. Она преимущественно представлена газообразными продуктами, выделяющимися при взрывах, производимых при массовой отбойке полезных ископаемых. После массовых взрывов резко увеличивается и содержание пыли в выдаваемом на поверхность рудничном воздухе.

К существенным по своему значению «неорганизованным» источникам пылегазовых загрязнителей атмосферного воздуха относятся также *отвалы* пород. При подземной разработке месторождений на поверхности земельного отвода располагаются породные отвалы, форма которых зависит от вида транспорта, применяемого для транспортировки породы: конические, так называемые терриконы (узкоколейный транспорт), хребтовые (транспортировка канатными дорогами) и плоские (автотранспорт).

Загрязнение воздушной среды происходит при эрозии, окислении и горении породы, особенно интенсивно протекающих в терриконах; в

результате с поверхности отвалов выделяется значительное количество пыли, газообразных (в том числе ядовитых) продуктов и дыма.

В породных отвалах угольных шахт содержится значительное количество угля (от 5 до 20 %), пирита (до 10 %) и серы (от 5 % и более). Внутри отвалов длительное время происходят процессы низкотемпературного окисления горючего материала кислородом воздуха, чаще всего заканчивающиеся самовозгоранием отвала. Самовозгорание отвалов часто происходит на шахтах, где ведется разработка угольных пластов с выходом летучих веществ свыше 20 % и содержащих более 3 % серы. Температура горения породного отвала 800-1200 ^{o}C. Интересно отметить парадоксальный, на первый взгляд, факт - наиболее интенсивное горение терриконов наблюдается в дождливые весенние и осенние сезоны. Это объясняется тем, что при обильном поступлении воды в породу в ней интенсифицируются процессы окисления пирита (при этом в качестве катализатора выступают теоновые бактерии, живущие в кислой среде).

После прекращения эксплуатации отвалов поверхностные очаги горения породы довольно быстро исчезают, однако внутри отвалов горение продолжается в течение 7-12 лет.

Загрязнение атмосферы при открытой разработке месторождений

Открытая разработка месторождений полезных ископаемых обычно характеризуется более интенсивным загрязнением атмосферы минеральной пылью и газообразными продуктами.

Выделение минеральной пыли происходит в процессе машинного разрушения пород, бурения скважин, взрывной отбойки, вторичного дробления, резки горных пород, погрузки, транспортировки и выгрузки их на приемных пунктах или отвалах, разрушения дорожного полотна при движении по нему транспортных машин (в некоторых карьерах на долю автомобильных дорог со щебеночно-гравийным покрытием приходится 70-90 % всей выделяемой пыли), эрозии поверхности отвалов и откосов карьеров. Практически всем производственным операциям горных работ сопутствует пылеобразование.

Периодические исключительно мощные выбросы пыли в атмосферу происходят в процессе массовых взрывов. При средних взрывах на рудных карьерах в воздух единовременно выбрасывается на значительную высоту до 100-200 т пыли. Установлено, что на некоторых железорудных карьерах при массовых взрывах в атмосферу поступает больше пыли, чем выделяется при различных

производственных процессах, осуществляемых за двухнедельный период времени между массовыми взрывами.

Загрязнение атмосферы газообразными продуктами происходит в результате эксплуатации транспортных и технологических машин с двигателями внутреннего сгорания, при производстве взрывных работ, при выделениях газов из горных пород, при пожарах в карьерах.

К технологическим машинам, эксплуатируемым при открытой разработке месторождений, относятся бульдозеры, буровые установки, тракторы, самоходные скреперы, небольшие драги, экскаваторы, краны, передвижные компрессоры и т. п. Используемые в карьерах автомобили с бензиновыми двигателями загрязняют воздушную среду оксидами углерода, азота и серы, углеводородами, альдегидами, а также свинцом, хлором и другими вредными веществами. В выхлопных газах дизельных двигателей содержится значительное количество сажи и дыма. Следует отметить, что неблагоприятные дорожные условия и резко меняемые режимы работы транспортных и технологических машин приводят к увеличению количества вредных компонентов в выхлопных газах их двигателей.

Массовые взрывы связаны с поступлением в воздушную среду не только пыли, но и значительного количества газообразных продуктов. Заряды массовых взрывов нередко достигают тысячи тонн, при этом в атмосферу выбрасывается от сотен до тысяч кубометров вредных газов. Основная масса газовых продуктов выбрасывается на значительную высоту (до 200-300 м) и распространяется за пределы контура карьера.

Значительные загрязнения атмосферного воздуха наблюдаются при пожарах в угольных и серных карьерах, при этом выделяющиеся газы характеризуются высокой концентрацией вредных и ядовитых веществ (CO, H_2S, SO_2, NO_x и др.).

2.2. Мероприятия, снижающие негативные последствия локального загрязнения воздушной среды

Снижение загрязнения атмосферы газообразными продуктами

Для систематизации изложения мероприятий, снижающих загрязнение воздушной среды, воспользуемся следующей группировкой основных поступлений газообразных загрязняющих веществ в атмосферу (табл. 1).

Пути снижения вредности выхлопных газов в процессе эксплуатации двигателей при разработке *открытых месторождений* не отличаются от общих мероприятий по снижению загрязнения воздушной среды двигателями внутреннего сгорания. Кроме того,

снижение вредных выбросов обеспечивается в результате нормализации режимов работы двигателей, достигаемой при улучшении качества транспортных трасс.

Таблица 1

Загрязнение атмосферы газообразными продуктами

Вид работ	Основные причины загрязнения атмосферного воздуха
Подземная разработка месторождений	Выдача из подземных выработок рудничного воздуха Газовыделение и горение породной массы в отвалах Миграция на поверхность газов, выделяющихся из массивов полезных ископаемых и пород
Открытая разработка месторождений	Эксплуатация транспортных и технологических машин с двигателями внутреннего сгорания Массовые взрывы при отбойке пород и полезных ископаемых Пожары в карьерах и на отвалах Газовыделения из породных отвалов Газовыделения из массивов полезных ископаемых и пород

Выхлопные газы двигателей транспортного и самоходного технологического оборудования, используемого *при подземной разработке* месторождений, поступают в горные выработки и выдаются на поверхность в качестве составной части рудничного воздуха. Проблема снижения загрязнения рудничным воздухом локальных участков атмосферы радикального решения до настоящего времени не имеет. Вопросы качества рудничного воздуха рассматриваются только в свете обеспечения безопасных условий труда в горных выработках. Однако необходимо отметить, что очистка рудничного воздуха может осуществляться проще, чем, например, карьерного, так как выброс загрязняющих веществ в атмосферу осуществляется через вскрывающие выработки, устья которых могут быть оборудованы очистными устройствами. Очистка рудничного воздуха целесообразна и с точки зрения комплексного использования минерального сырья, достигаемого при утилизации выбрасываемых соединений, например, метана.

Миграция метана и диоксида углерода на поверхность при производстве *подземных работ* весьма малоуправляемый процесс; практически совсем не поддается управлению поступление в атмосферу этих соединений после прекращения разработки месторождения или

отдельных его участков. В местах выхода на поверхность метана почвы меняются, уплотняются и приобретают серый оттенок, растительность на этих участках погибает; места выделения CO_2 и «мертвого воздуха», в составе которого практически отсутствует кислород, отличаются от соседних участков поверхности более интенсивным развитием растительного покрова.

Зоны выделения газов являются объектами систематического наблюдения. К мероприятиям по защите от этих опасностей относятся:

выявление очагов выделения газов для установления границ опасных зон;

газоизоляция и проветривание нижних частей зданий, расположенных в угрожаемых или опасных зонах по метану;

дренирование газов на пути их миграции посредством скважин и пройденных ранее подземных наклонных горных выработок.

Из перечисленного следует, что в этих мероприятиях не предусматривается защита воздушной среды от загрязнения.

Процессы газовыделения из полезных ископаемых и пород *при открытой разработке* имеют аналогичный характер, однако, проявляются во многих случаях с большей интенсивностью в связи со значительными площадями обнажения пород. Дегазация угольных пластов посредством скважин, пробуриваемых на уступах, с утилизацией каптируемого метана представляется целесообразной. Необходимо отметить, что при подземной разработке аналогичное мероприятие успешно реализуется на многих шахтах.

Совершенствование технологии взрывных работ и использование рациональных «малогазовых» взрывчатых веществ являются действенными мерами, обеспечивающими снижение объема газообразных выбросов в атмосферу при массовых взрывах. Массовые взрывы следует производить с учетом погодных условий.

Мероприятия по снижению газовыделений, происходящих из *отвалов* вследствие окисления пород и при возникновении очагов горения, включают в себя следующие:

- выбор рациональных форм отвалов (в частности, отказ от терриконов и переход на плоские отвалы),
- послойный порядок отсыпки пород,
- уплотнение верхних и боковых поверхностей отвалов,
- проведение рекультивационных работ.

Для самовозгорания породного отвала необходимо совмещение трех факторов: наличие горючих веществ, поступление достаточного количества воздуха для их окисления, аккумуляция тепла окисления.

Профилактика самовозгорания направлена на ликвидацию хотя бы одного из перечисленных факторов.

Эффективным способом противопожарной профилактики и тушения пожаров на терриконах служит нагнетание в них водоизвестковой суспензии. При этом в породе создается щелочная среда, неблагоприятная для жизни «поджигателей терриконов» - теоновых бактерий. Важным мероприятием снижения вероятности самовозгорания отвала является снижение химической активности массы путем обработки ее антипирогенами – веществами, вступающими в химическое взаимодействие с углем и покрывающим поверхность защитными пленками (5-10 %-й раствор хлорида натрия или кальция, 1-5 %-я суспензия отходов содового производства).

Наибольшее распространение в угольной промышленности как способ тушения породных отвалов конической или хребтовой формы получило их переформирование в отвалы плоской формы (гидросмыв вершины отвала). Отвал считается потушенным при понижении его высоты в два раза и охлаждении верхнего слоя на глубину 2,5 м до 80 °С.

Снижение загрязнения атмосферы минеральной пылью

Основные источники поступления минеральной пыли в атмосферу сгруппированы в табл. 2.

Таблица 2

Загрязнение атмосферы минеральной пылью

Вид работ	Основные причины загрязнения атмосферного воздуха
Подземная разработка месторождений	Выдача из подземных выработок рудничного воздуха Пылевыделение с породных отвалов Погрузочно-транспортные операции и дробление горной массы на поверхности
Открытая разработка месторождений	Массовые взрывы при отбойке пород и полезных ископаемых Бурение скважин, машинная выемка, погрузка, перевалка, дробление, транспортировка горной массы в карьерах и на отвалах Эксплуатация в карьерах и на отвалах дорог, не имеющих твердого покрытия

Большие загрязнения атмосферного воздуха минеральной пылью наблюдаются *в аварийных ситуациях* при пожарах в угольных и серных карьерах. Сокращение выбросов обеспечивают следующие мероприятия: применение пожаробезопасных систем разработки пласта,

изолирование выработанных пространств, создание в них инертной атмосферы, быстрое и эффективное тушение возникших пожаров.

Снижение пылевыделения *в процессе массовых взрывов* на карьерах может быть достигнуто путем совершенствования технологии взрывной отбойки, что обеспечивает сокращение выхода переизмельченных пылевых фракций отбиваемых пород и полезных ископаемых, а также за счет предварительного увлажнения породных массивов. Существенное значение на процесс пылеподавления (осаждение пыли) имеют метеорологические условия - массовые взрывы целесообразно подготавливать с учетом прогноза погоды и приурочивать ко времени дождя или снегопада.

Запыленный воздух, проходя *по горным выработкам,* почти полностью самоочищается (98-99 %). Повышенная концентрация угольной пыли отмечается, как правило, в вентиляционных потоках, проходящих через скиповые стволы, во время погрузки и разгрузки скипов. Мероприятия по пылеподавлению (орошение горных массивов) и пылеулавливанию, реализуемые при проведении горных работ в подземных выработках, обеспечивают снижение запыленности рудничного воздуха. Однако в некоторых случаях запыленность может быть выше предельных допустимых концентраций пыли, поэтому обеспыливание рудничного воздуха при выдаче его на поверхность представляется желательным. Может быть рекомендован процесс обеспыливания, основанный на конденсации влаги на пылинках, происходящей при подъеме по стволам шахт и снижении температуры рудничного воздуха, имеющего высокую влажность.

Интенсивность пылевыделения при машинной выемке, рыхлении, погрузке, перевалке, транспортировке и дроблении пород, осуществляемых в *открытых горных выработках* или на поверхности, снижается с помощью увлажнения массивов пород, орошения с применением растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ). Трубопроводный транспорт угля в виде водоугольной смеси обладает рядом существенных преимуществ, в том числе характеризуется отсутствием загрязнения воздушной среды. Представляет несомненный интерес опыт использования на некоторых щебеночных и гравийных карьерах для транспортировки полезных ископаемых трубопроводного пневмоконтейнерного транспорта, не загрязняющего атмосферу ни пылью, ни газообразными продуктами, даже названного поэтому «гигиеническим».

Мероприятия по снижению запыления карьерного воздуха при транспортировке пород сводятся к снижению интенсивности пыления с перевозимых пород и пылеобразования при движении автомобильного

транспорта на карьерных и отвальных дорогах. Автодороги на карьерах имеют обычно щебеночное или гравийное покрытие. Уровень запыленности воздуха без применения средств борьбы с пылью на автодорогах карьеров достигает 500 мг/м^3 (при ПДК от 1 до 10 мг/м^3), причем в пылевом облаке более 90 % пыли имеет размер менее 10 мкм. Получившее наибольшее распространение в карьерах гидрообеспыливание путем орошения дорог водой в большинстве случаев недостаточно эффективно, характеризуется кратковременностью действия, не экономично, применимо только в летнее время, снижает срок службы дорог. Наиболее целесообразным считается способ снижения пылевыделения за счет связывания пылевых фракций вяжущими веществами с образованием эластичного «коврика» из этих компонентов. Вяжущие вещества должны выбираться с учетом удовлетворения следующих требований: эластичность, но достаточная прочность связывания пылевых фракций износа дорожных покрытий; нетоксичность, нерастворимость в воде, неагрессивность к резине и металлу и экономичность применение. Применение в качестве связующих веществ хлорида кальция (обеспыливание в течение 240 ч) и мазута (600 ч) повышает эффективность пылеподавления, однако имеет и существенные недостатки: загрязнение карьерной воды, выделение вредных паров. Применение отходов бумажно-целлюлозной промышленности снижает интенсивность пылевыделения при щебеночном покрытии дорог на 80-89 %.

Снижение пылевыделения с породных отвалов и откосов бортов карьеров, происходящего вследствие интенсивной ветровой эрозии пород, сводится к выбору эрозийно устойчивых форм породных отвалов, например невысокие отвалы правильных геометрических форм - усеченного конуса, усеченной пирамиды. Также снижение пылевыделения происходит за счет обработки наиболее эрозирующих поверхностей пылесвязывающими растворами и эмульсиями и водой, а также при осуществлении посева многолетних трав. При расположении отвала на земельных отводах целесообразно учитывать направление господствующих ветров.

Недопущение пожаров терриконов также обеспечивает существенное снижение пылеобразования (в очагах горения при высоких температурах происходит интенсивное разрушение кусков породы до размеров пылевых частиц; в процессе горения наблюдаются местные обрушения боковых поверхностей отвала, сопровождающиеся дополнительными выбросами пыли в атмосферу).

При многочисленных источниках пылеобразования в карьерах эффективная борьба за снижение запыленности воздуха возможна только при комплексном решении этой проблемы.

2.3. Загрязнение вод в процессе разработки месторождений

Промышленные сточные воды предприятий горнодобывающей промышленности оказывают существенное влияние на состояние природной среды. В связи с непрерывным и значительным увеличением объема продукции горного производства количество сточных вод шахт, рудников, карьеров, а также обогатительных фабрик постоянно возрастает.

Главными составными частями промышленных сточных вод действующих горных предприятий являются *шахтные (карьерные) воды*, а также *стоки атмосферных вод*, загрязненные вследствие водной эрозии отвалов пустых пород и некондиционных полезных ископаемых.

Структура промышленных сточных вод горных предприятий представлена на рис. 9 (в нее не включены сточные воды обогатительных фабрик).

Основной составляющей частью шахтных (карьерных) вод являются *сопутствующие воды*, поступающие из водоносных горизонтов (подземное происхождение вод) и с поверхности Земли (атмосферные воды). Количество этих вод может быть весьма различным. Нередко, особенно в угольных шахтах, количество сопутствующих вод резко возрастает вследствие внезапных прорывов воды из водоносных горизонтов, из затопленных ранее выработок и подрабатываемых поверхностных водоемов, а также прорывов паводковых и ливневых вод. Загрязнение сопутствующих вод зависит от свойств толщи пород, пересекаемых скважинами. Первоначальная загрязненность в основном определяется степенью минерализации вод подземных горизонтов, а также взвешенными частицами поверхностных и грунтовых вод.

Технологические воды, объем которых при традиционных способах подземной разработки относительно невелик (редко превышает 10 % от общего объема шахтных вод), загрязнены мелкодисперсными минеральными частицами и химическими растворами, используемыми при бурении взрывных скважин, а также при пылеподавлении.

При *открытой разработке* месторождений количество *сопутствующих вод* определяется обводненностью пород и атмосферными осадками. Во многих случаях количество этих вод

значительно, что усложняет проведение горных работ. Для борьбы с ними, в первую очередь, проводятся различные дренажные мероприятия. В период строительства карьеров расходы на дренаж нередко составляют до 20-30 % от общей стоимости работ, в эксплуатационный период они также велики. К основным источникам загрязнения сопутствующих вод относятся массы разрушенных пород и полезного ископаемого в забоях, внутренние отвалы вскрышных пород и эрозирующая поверхность (особенно нерабочих) бортов карьера.

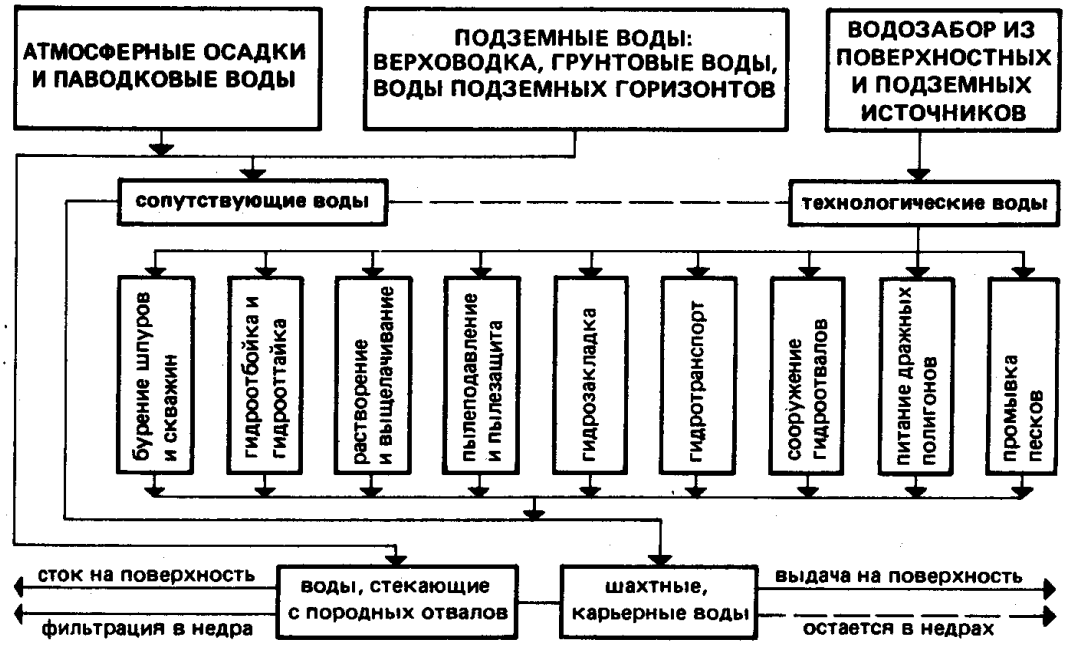

Рис. 9. Структура сточных вод горных предприятий

Технологические воды при открытой разработке рудных, угольных и нерудных месторождений используются в умеренных количествах для бурения скважин, пылеподавления и в значительных количествах для гидроотбойки, гидротранспортировки и сооружения гидроотвалов вскрышных пород.

Воды, стекающие с внешних породных отвалов и с отвалов некондиционных полезных ископаемых, в относительно небольших количествах поступают в выработки карьера через борта. Эти воды становятся при открытой и подземной разработке источниками загрязнения поверхностных водоемов и подземных вод.

Промышленные сточные воды горных предприятий могут характеризоваться повышенной кислотностью, щелочностью, соленостью, жесткостью и мутностью. Они загрязнены твердыми и

коллоидными частицами пород и полезных ископаемых; различными химическими соединениями; содержат органические и бактериальные загрязняющие вещества. Расширение применения в подземных выработках самоходного оборудования, а в открытых горных выработках - мощного транспортного и технологического оборудования с двигателями внутреннего сгорания привело к повышению загрязнения шахтных и карьерных вод нефтепродуктами.

Кроме образования большого количества загрязненных сточных вод, в процессе горных работ в локальных масштабах *меняется распределение подземных и поверхностных вод*.

Строительство горных предприятий для *подземной разработки* сопровождается обычно не очень большими изменениями водных режимов, вызываемыми мелиоративными работами на поверхности (в частности, отвод русла реки или ручья), водопонижением, осуществляемым в основном для облегчения проходческих работ, и откачкой на поверхность вод, поступающих в выработки. С началом и по мере развития добычных работ на шахте масштабы изменений водных режимов увеличиваются. Грунтовые и пластовые воды в больших или меньших количествах выдаются на поверхность, изменяя водный режим в районе проведения работ, что приводит к отрицательным экологическим последствиям.

Самые существенные изменения гидрогеологических условий наблюдаются *при строительстве карьеров и открытой разработке месторождений*. Наличие поверхностных и подземных вод усложняет и повышает опасность работ по вскрытию и выемке полезных ископаемых. Поэтому до начала и в процессе горных работ осуществляют мероприятия по осушению породных массивов.

Наиболее простым осушительным мероприятием является «открытый водоотлив», при котором поступающая в выработки вода по водоотводным канавам или траншеям стекает в водосборники и откачивается за пределы карьерного поля. При значительной водоносности пород, характеризующихся повышенной водопроницаемостью, широко используются водопонижающие скважины, оборудуемые погружными насосами.

2.4. Мероприятия, снижающие загрязнение вод и ограничивающие изменение их режимов

Изменение физико-химических характеристик и режимов природных вод при разведке и разработке месторождений приводит к сокращению запасов пригодной для использования воды, затруднению

водоснабжения, вызывает снижение плодородия почв, деградацию растительного покрова и даже деформацию ландшафтов. Негативные последствия могут иметь локальный характер или распространяться на значительные расстояния от места производства горных работ.

Улучшение качества и уменьшение количества сточных вод

Мероприятия по снижению отрицательных последствий, связанных с выдачей загрязненных сточных вод из разведочных скважин и выработок, делятся на профилактические и радикальные.

Профилактические меры направлены на уменьшение притоков в выработки путем организации заградительного дренажа с использованием систем водопоглощающих и водопонижающих скважин; устройства противофильтрационных завес, представляющих собой водонепроницаемые или слабопроницаемые ограждения, которые устанавливаются вокруг объекта по всей глубине до водоупорных горизонтов. Сокращение водопритоков в горные выработки подразумевает также предотвращение проникновения поверхностных вод в подземные горные выработки.

Радикальные меры заключаются в очистке сточных вод и максимальном их использовании в замкнутом цикле горно-обогатительного производства.

Рассмотрим процессы и технические средства улучшения качества сточных вод горных предприятий.

Осветление воды достигается путем *отстаивания и фильтрования*. Осаждение взвешенных грубодисперсных минеральных частиц начинается при определенной скорости потока жидкости, но наиболее интенсивно осветление осуществляется в неподвижном потоке. Осветление вод осуществляется в водоотстойниках различной конструкции, относительно небольших котлованах в подземных горных выработках и своеобразных прудах с расчетом пребывания в них воды в течение 7-12 суток. Строят пруды на непригодных земельных участках, перегораживая овраги плотинами. В результате действия солнечной радиации, жизнедеятельности животного и растительного мира, разбавления вод атмосферными осадками сточные воды в них самоочищаются.

Для удаления грубодисперсных частиц в качестве фильтрующего материала широко используются кварцевый песок, коксовая мелочь, дробленый гравий и др.

Мелкодисперсные и коллоидные частицы, содержащиеся в воде, медленно или совершенно не осаждаются даже в неподвижном потоке и не задерживаются в фильтрах. Поэтому для осветления в воду

добавляют в небольших количествах *коагулянты или флокулянты.* К наиболее употребляемым коагулянтам относятся гидросульфаты алюминия и железа, хлорид железа, железный купорос, отходы металлургического производства, содержащие в значительных количествах соли алюминия и железа; флокулянтами служат высокомолекулярные растворимые в воде вещества - активная кремниевая кислота, вещества, получаемые из растительного сырья (крахмал, целлюлоза), синтетические органические полимеры (полиакриламид) и др.

Кислые шахтные воды, содержащие свободную минеральную кислоту (чаще всего серную), в процесс очистки нейтрализуются различными реагентами. Наиболее часто употребляют гидроксид кальция (гашеная известь), известняки, доломит, магнезит, мел.

Шахтные воды, содержащие повышенное количество солей, опресняются с помощью методов дистилляции и электродиализа. Однако до настоящего времени опреснение шахтных вод не выходит за рамки экспериментальных исследований.

Обеззараживание шахтных вод осуществляется при воздействии на бактериально загрязненную воду сильных окислителей, в качестве которых обычно применяют хлор, хлорную известь, гипохлорит натрия.

Хлорирование отличается доступностью реагентов, надежностью их действия, сравнительно небольшими расходами. Обеззараживающее действие хлора описывается следующими реакциями:

$$Cl_2 + H_2O = HOCl + HCl$$

$$HOCl = H^+ + OCl^-$$

$$HOCl = HCl + O$$

Таким образом, при хлорировании воды обезвреживание сточных вод происходит в результате действия хлора, хлорноватистой кислоты, гипохлорит-иона и атомарного кислорода. Но этот способ имеет ряд недостатков: токсичность хлора, ухудшение органолептических свойств воды, недейственность хлора на спорообразующие бактерии, возможность образования хлорсодержащих органических соединений.

Недостатков метода хлорирования лишен метод обеззараживания с помощью бактерицидных лучей аргоно-ртутных ламп или ртутно-кварцевых ламп, которые устанавливают над водой или погружают в нее. Способ применим при концентрации взвесей менее 3 мг/л. В последнее время все более часто применяют озонирование.

Очистку шахтных вод осуществляют как в подземных выработках, так и на поверхности. В подземных условиях целесообразно использовать гидроциклоны. Высокая производительность, простота конструкции, небольшие габариты и стоимость обеспечивают эффективность их применения для первичной очистки шахтных вод.

При *открытой разработке* месторождений мероприятия по улучшению качества карьерных вод аналогичны изложенным, но характеризуются крупномасштабностью.

Породные отвалы, расположенные на земельных отводах карьеров и шахт, при таянии снегов или дождях становятся, как уже упоминалось, источниками загрязнения поверхностных и подземных (преимущественно грунтовых) вод. Атмосферная вода, попадая на отвал и стекая с его боковых поверхностей, загрязняется вследствие эрозии пород, а при фильтрации через породную толщу в большей или меньшей степени минерализуется.

Снижение интенсивности эрозийных процессов может быть достигнуто за счет выбора определенного соотношения между высотой отвала и углами его откосов, определяющих скорость стекающей с отвала воды. Снижение инфильтрации минерализованных вод в почвы достигается путем перекрытия основания отвалов (до отсыпки пород) слоем глины мощностью 1-1,5 м. Скапливающиеся у основания отвалов воды при значительном их загрязнении целесообразно с помощью мелиоративных сооружений формировать в централизованный сток и направлять в очистные устройства, в частности водоотстойники.

Ограничение изменения водных режимов

Осушение месторождений, осуществляемое для повышения безопасности горных работ, может сопровождаться отрицательными экологическими последствиями. При этом *очистка* выдаваемых из горных выработок вод - одно из средств сокращения ущерба, наносимого природной среде. Очищенные воды могут пополнять традиционно используемые водоисточники.

Другим перспективным мероприятием является *изоляция* карьерного поля или его части от окружающих водоносных горизонтов. Это приводит и к сокращению объемов работ по дренажу, водоотливу, очистке вод.

Применительно к открытой разработке месторождений наиболее целесообразным представляется сооружение *противофильтрационных завес траншейного типа*. При этом вокруг изолируемого участка проводятся узкие и глубокие (до водоупорного пласта) траншеи, заполняемые водонепроницаемыми материалами (ширина траншей от 0,3 до 1,2 м и более, глубина - до 100 м). Траншея заполняется нетвердеющими глино-грунтовыми смесями или твердеющими материалами на основе цементов и силикатов, нередко водонепроницаемость завесы обеспечивается также размещаемой в траншее синтетической пленкой.

В бортах карьеров, представленных сильнопористыми или рыхлыми водопроницаемыми породами, могут сооружаться и так называемые *инъекционные противофильтрационные завесы*. Технология сооружения этих завес заключается в

бурении сближенных скважин и нагнетании в них цементных, глиноцементных или силикатных растворов и различных синтетических смол. Проникая в трещины и поры, схватываясь или твердея в них, эти растворы укрепляют породный массив, придавая ему водонепроницаемость.

2.5. Нарушение земной поверхности при разработке месторождений

Нарушения земной поверхности, непосредственно связанные с производством горных работ, ограничиваются в основном площадями горных отводов и территориями, выделяемыми для размещения отходов производства.

Существует несколько классификаций форм ландшафтных нарушений земной поверхности. По одной из классификаций нарушения делятся на траншеи, карьеры, отвалы (при открытых разработках) и впадины, провалы и отвалы породы (при подземных разработках). Отметим, что помимо перечисленных нарушений земной поверхности, значительные земельные участки занимаются отвалами сухих хвостов обогащения и хвостохранилищами.

По другой классификации рассматривают физическое, химическое и механическое нарушение земель.

Физическое нарушение земель характеризуется деформацией поверхности в результате воздействия горных работ, ухудшением структуры почвенного слоя из-за его обезвоживания или заболачивания, изменением природного ландшафта.

Химическое нарушение земель обусловлено их загрязнением кислыми шахтными водами, шламами, хвостами, высокоминерализованными рудничными и карьерными водами.

Механическое загрязнение земель вызывается пылевыми выбросами технологических производств, загрязнением земель отвалами, хвостохранилищами.

Все изменения земной поверхности отрицательно сказываются на ее биологических, эрозийных и эстетических характеристиках. Нарушения приводят к гибели или деградации растительного покрова; ухудшению качества или вообще потере плодородного почвенного слоя; к таким изменениям форм рельефа, что участки поверхности становятся малопригодными для продуктивного использования в сельском и лесном хозяйстве, а также для других целей. Результатом появления впадин и выемок на земной поверхности является изменение водных режимов и, как следствие, заболачивание местности. Лишенная растительного покрова поверхность земли подвергается интенсивной

водной и ветровой эрозии.

Открытые разработки месторождений характеризуются наиболее обширными ландшафтными нарушениями, причем значительная часть их представляется в виде отвалов вскрышных пород, располагаемых за пределами карьерных полей. По данным американских исследователей, каждый участок земли, нарушенный при открытой разработке месторождений, оказывает вредное влияние на участок примерно такой же площади прилегающей территории.

Влияние размеров и количества карьеров

Рассмотрим возможности сокращения нарушения поверхности карьерными выработками при разработке месторождений стройматериалов. Одной из особенностей этих месторождений является их широкое распространение (глины, пески, гравий обнаруживаются почти повсеместно). В связи с этим около населенных пунктов, промышленных предприятий и строек возникает огромное количество карьеров разной, преимущественно малой, производственной мощности. При замене карьеров небольшой производительности меньшим количеством укрупненных карьеров помимо многих технических и организационных преимуществ достигается и значительное сокращение нарушаемых площадей земной поверхности.

Влияние расположения и количества отвалов

При открытой разработке месторождений *расположение* вскрышных пород внутри контура карьерного поля является оптимальным в отношении снижения площадей нарушаемых земель.

При расположении отвалов вскрышных пород за пределами контура карьерного поля могут быть выделены два варианта:

1) расположение отвалов на землях, непригодных для сельского и лесохозяйственного производства (овраги, балки, впадины и провалы, образовавшиеся вследствие подземной разработки месторождений, заболоченные земли и др.);

2) расположение отвалов на землях, ранее используемых в сельском или лесном хозяйстве или для других целей.

Первый вариант в отношении рационального землепользования предпочтительнее второго. Однако этот вариант целесообразен в тех случаях, когда непродуктивные земли располагаются на относительно небольших расстояниях от выработок, и затраты на транспортировку горных пород не являются чрезмерными. Экономическое сравнение определяет предпочтительность того или иного варианта.

Эти два варианта применимы и для горных предприятий подземной

разработки, за исключением шахт с терриконами.

Количество породных отвалов

Оказывает довольно существенное влияние на размеры площади нарушаемых земель. В общем случае при одинаковых количествах пород, отсыпаемых в большее число отвалов, увеличивается площадь нарушаемой поверхности. Исключением является размещение пород на непригодных землях, при котором увеличение числа отвалов может оказаться весьма целесообразным, если засыпают несколько оврагов. В случае расположения отвалов на продуктивных землях порода, выдаваемая из подземных горных выработок, обычно отсыпается в один отвал, а на земельных отводах карьеров, наоборот, чаще сооружается несколько отвалов. Количество их определяется в основном экономичностью транспортирования вскрышных пород, при этом возможность сокращения площадей земельного отвода за счет уменьшения количества отвалов, как правило, не рассматривается.

Снижение нарушений подрабатываемой поверхности

Мероприятия по снижению или исключению деформаций земной поверхности в результате подземной разработки месторождений связаны с повышением потерь полезных ископаемых или значительным удорожанием добычных работ. В связи с этим они реализуются практически только в тех случаях, когда участки земной поверхности необходимо сохранять в связи с расположением на них городов, промышленных предприятий, газопроводов, водоемов и ценных лесных массивов.

Город Донецк с почти двухмиллионным населением расположен на территории горных отвалов 32 шахт, запасы угля под городскими постройками составляют 540 млн т. Под центральной частью города выемка угля из пологопадающих пластов мощностью около 1 м, залегающих на глубине 530 м, осуществлялась с полной пневмозакладкой выработанного пространства; повреждений конструкций даже многоэтажных зданий в течение ряда лет после подработки не наблюдается.

2.6. Мероприятия, снижающие нарушения земной поверхности

Процессы естественного восстановления растительных покровов, почв и рельефов нарушенных земель протекают медленно или вообще могут быть не эффективными. Нарушения земной поверхности, как правило, не исчезают и становятся устойчивыми техногенными формированиями. Поэтому все нарушенные земли подлежат искусственному восстановлению.

Выявление, учет нарушенных земель с установлением их площадей и качественного состояния называют «инвентаризацией нарушенных земель».

Комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, называют *рекультивацией* (от лат. *re* - возобновление, *cultivo* – обрабатываю).

В зависимости от характера земельных участков и целей их дальнейшего использования выделяются следующие направления рекультивации:

сельскохозяйственное - для создания на нарушенных землях сельскохозяйственных угодий,

лесохозяйственное - для формирования лесных насаждений,

рыбохозяйственное - для образования рыбоводческих водоемов,

водохозяйственное - для создания водоемов различного назначения,

рекреационное - для организации объектов отдыха,

санитарно-гигиеническое - с целью консервации биологическими и техническими методами нарушенных земель, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду,

строительное - для приведения нарушенных земель в состояние, пригодное для промышленного и гражданского строительства.

Обычно рекультивация включает два этапа: горнотехнический и биологический.

Под *горнотехнической* рекультивацией понимают комплекс работ по восстановлению природного ландшафта, измененного в результате разработки полезных ископаемых. Основные объекты рекультивации при *открытой* разработке горных месторождений - отвалы вскрышных пород и выработанные пространства карьеров. Благодаря рекультивации ежегодно возвращается 20 тыс. га земель для народнохозяйственного использования. Горнотехническая рекультивация включает в себя снятие и складирование плодородного слоя почвы, селективную разработку и укладку в отвал пород вскрыши с различными агротехническими свойствами, устройство дренажной сети для предотвращения заболачивания, строительство дорог на отвалах, сглаживание отвалов, террасирование и стабилизацию откосов отвалов, мелиоративные мероприятия, создание ложа и берегов водоемов, покрытие поверхности плодородным слоем почвы.

Рекультивация при разработке месторождений полезных ископаемых *подземным* способом предусматривает сведение деформации земель до минимума; заполнение прогибов поверхности породой; мероприятия по предупреждению заболачивания;

организованный отвод шахтных вод, размещение и формирование шахтных отвалов.

Выделяют три метода рекультивации земель, занятых отвалами горных пород:

разборка и транспортировка породы с последующим ее использованием для ликвидации отработанных карьеров, провалов, оврагов и покрытие рекультивируемых территорий плодородной почвой;

разборка отвалов и использование пород при строительстве дорог, изготовление строительных материалов;

выполаживание отвалов, срезание его верхней части, закрепление откосов техническими и биологическими средствами для использования терриконов под зоны отдыха и лесопосадки.

Под *биологической* рекультивацией понимают комплекс мелиоративных и агротехнических мероприятий по восстановлению плодородия земель после горнотехнической рекультивации. Мелиорация включает в себя известкование, гипсование, промывку, пескование, глинование и др. приемы, направленные на улучшение химических и физических свойств рекультивационного слоя. Агротехнические приемы предусматривают систему обработки и удобрения насыпного слоя, специальные севообороты, посадку древесно-кустарниковых растений. Биологическая активность рекультивируемого слоя повышается с помощью микроорганизмов, вносимых с органическими удобрениями. Обычно биологический этап рекультивации продолжается 4-10 лет. Объем работ по биологической рекультивации определяется в зависимости от направления рекультивации.

2.7. Шум и вибрация при разработке месторождений

Источники шума

Источниками интенсивного шумового загрязнения являются подземные и открытые горные выработки.

В *подземных* выработках шум, поглощаясь массивами пород, как правило, полностью локализуется в пределах одной или комплекса выработок (на интенсивность затухания шума влияют размеры поперечного сечения выработок, а также материалы и конструкция крепи). Интенсивность шумового эффекта в подземных горных выработках увеличивается за счет их относительно небольших размеров и многократного отражения звуковых волн от поверхностей породных массивов.

Возникающий в *открытых выработках* шум распространяется по воздушной среде на более или менее значительные территории прилегающей местности.

Наиболее высокими уровнями шума характеризуются *взрывные работы*. В процессе *подземной разработки* при взрывной отбойке люди удаляются на значительные расстояния от забоя, а при массовых взрывах выходят на поверхность, т.е. наблюдается снижение или полное исключение вредного влияния шума взрыва на человека. В отличие от этого взрывное вторичное дробление полезного ископаемого, проводимое часто в течение рабочей смены, характеризуется интенсивным шумовым воздействием на организм работающих.

При *открытой разработке* месторождений высокие шумовые импульсы, распространяющиеся на большие расстояния, наблюдаются при производстве массовых взрывов. Шум от взрывного вторичного дробления обычно локализуется в пределах карьера.

Шум, производимый работающими в открытых горных выработках и на поверхности *машинами и установками*, имеет значительно меньшую интенсивность, однако он длительно воздействует на работающих. В большинстве случаев это шумовое загрязнение не распространяется на значительные расстояния от источника шума. Однако мощные источники шума, располагающиеся на поверхности (*вентиляторы главного проветривания, компрессоры и т.п.*), загрязняют воздушную среду над большими участками территории, окружающей горное предприятие. Уровни звукового давления некоторых установок приближаются к порогу болевого ощущения, а интенсивность шума, производимого при работе турбокомпрессоров, в верхних частотах достигает его.

Производство взрывных работ сопряжено с возникновением в воздушной среде *ударных воздушных волн* (УВВ). Кроме того, УВВ формируются при взрывах метановоздушных и пылевых смесей, при обрушении пород в подземных горных выработках. Ударная воздушная волна распространяется со скоростью, превышающей скорость звука, на значительные расстояния, оказывая воздействие на человека и окружающую среду. По мере перемещения в воздушном пространстве УВВ теряют свою интенсивность и скорость распространения, затухают и постепенно переходят в звуковые волны. Интенсивность ударных воздушных волн зависит от массы зарядов ВВ и энергии образующихся при взрывах газов.

К основным характеристикам УВВ относят давление на фронте волны, скорость распространения и время воздействия.

При взрыве небольших зарядов ВВ продолжительность воздействия УВВ на

человека измеряется миллисекундами и носит импульсный характер, от которого при давлении до 10 кПа люди практически не получают повреждений.

При продолжительности воздействия УВВ от 20 до 200 мс основное влияние на людей оказывает давление на фронте волны: при давлении от 20 до 40 кПа возникают контузии, проявляющиеся в головокружениях и головных болях; при более высоких давлениях могут иметь место разрывы барабанных перепонок.

При действии УВВ свыше 200 мс, что характерно для взрывов больших зарядов ВВ, представляет опасность не только давление, но и скорость воздушного потока, перемещающегося за фронтом волны: при давлении 20 кПа эта скорость превышает 40 м/с, в результате люди получают травмы при падении.

Под действием УВВ разрушаются или преждевременно выходят из строя горные выработки, различные сооружения и оборудование.

При короткозамедленном взрывании зарядов взрывчатых веществ формируются серии ударных воздушных волн, следующих одна за другой, и воздействие их проявляется в эффекте вибрации.

Источником *вибрации* на горных предприятиях является многочисленное оборудование, эксплуатация которого в большинстве случаев связана и с генерированием шума. К источникам интенсивной вибрации при разработке месторождений относятся *перфораторы и буровые станки.* Вибрация с низкими частотами, близкими к частоте собственных колебаний человеческого организма, наиболее опасна для здоровья.

Мероприятия по защите от действия шума и вибрации

Мероприятия по защите от вредного влияния производственного шума реализуются, в первую очередь, в создании безопасных и комфортных условий труда работающих и, в меньшей степени, в формировании благоприятно «акустического климата» жилых районов, расположенных около места производства работ. Это объясняется тем, что люди, занятые в производственном процессе, находятся ближе к источникам шума и, следовательно, более подвержены его влиянию.

Проектирование и планировка производственных, бытовых и жилых объектов горных предприятий должны производиться на основе прогноза шумового загрязнения воздушной среды. Расположение этих объектов по отношению к источнику наиболее интенсивного шума имеет первостепенное значение. Основными учитываемыми источниками шума являются при подземной разработке *вентиляторные и компрессорные установки* на поверхности, а при открытых горных работах - *комплекс горных выработок и внешние отвалы*. Уровень шума в жилых помещениях может быть снижен за счет рациональной планировки формы зданий, а также повышения их звукоизолирующей способности.

Расположение объектов должно производиться с учетом ландшафтных особенностей местности и направления господствующих ветров. Холмистый рельеф и лесистая местность территории, разделяющие шумовые источники и поселения, значительно снижают интенсивность шума. Не исключена возможность искусственного формирования рельефа за счет устройства насыпей или размещения породных отвалов.

Огромное значение имеет шумозащитное озеленение - эффективное и сравнительно недорогое мероприятие. Полоса насаждений шириной 25 м способствует снижению уровня шума на 10-12 дБ, при этом хвойные породы деревьев предпочтительнее лиственных. Высота деревьев должна быть не менее 7-8 м, кустарников - до 1,5-2 м.

Мероприятия по *предотвращению интенсивного шумообразования и изоляции источника шума* осуществляются и непосредственно на объектах горных предприятий. Для снижения уровня шума машины и установки оборудуются глушителями различных конструкций. Например, компрессор с редуктором помещен в звукоизолирующую кабину из листовой стали, армированную звукопоглощаемыми плитами. Снижение шума возможно за счет улучшения конструкций машин и оптимизации эксплуатационных режимов. Применение металлов с высоким коэффициентом звукопоглощения (магниево-никелевые сплавы), использование звукоизолирующих материалов обеспечивают дальнейшие пути снижения шума. Создание малошумных машин обеспечивает не только акустический комфорт, но и снижение потерь энергии на шумообразование.

Зеленые насаждения вокруг стационарных источников шума также входят в комплекс шумоизоляционных средств.

Кроме того, работающие в неблагоприятных акустических условиях обеспечиваются средствами индивидуальной защиты: противошумными тампонами, эластичными втулками «Беруши» или наушниками, укрепляемыми на шахтерских касках.

Основным мероприятием, обеспечивающим безопасность людей при производстве подземных массовых взрывов, является вывод их за пределы установленной заранее опасной зоны. Обеспечение сохранности оборудования и коммуникаций достигается за счет их демонтажа или установки защитных устройств для гашения УВВ. Правильный, соответствующий физическим свойствам разрушаемых пород, выбор ВВ и использование рациональной технологии взрывных работ способствуют снижению интенсивности ударных воздушных волн. В открытых горных выработках вследствие рассеивания энергии в

атмосфере образуются ударные воздушные волны значительно меньшей интенсивности. Помимо перечисленных ранее мероприятий, обеспечивающих снижение интенсивности УВВ, при массовых взрывах в карьерах необходимо учитывать атмосферные условия (при скорости ветра, направленного в сторону жилых районов, более 6,5 м/с массовые взрывы производить не следует).

Для защиты работающих от вибрации ручные перфораторы оборудуются специальными виброгасящими устройствами. Основной деталью виброзащитных устройств является упругий элемент - пружины, работающие на изгиб, сжатие, кручение или сжатый воздух.

ГЛАВА 3
НЕФТЕДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

3.1. Добыча нефи и газа

Добыча нефти и газа заключается в нахождении мест их накопления, проникании (иногда на очень большую глубину) через толщу горных пород, образующих и покрывающих купол, к нефтяному или газовому пласту и извлечении топлива из пласта. Поэтому работа на нефтепромысле, который заранее найден и изучен геологами, подразделяется на два этапа: бурение скважин; эксплуатация скважин.

Бурение скважин

Скважиной (нефтяной или газовой) называют колодец круглого сечения, пробуриваемый в земле. Верх скважины называется ее *устьем,* а дно, в котором буровой инструмент разрушает породу, - *забоем.* Глубина скважин иногда достигает 4000-6000 м и более.

Раньше при прохождении скважины породу долбили специальным долотом, закрепленным на длинной штанге. Такой метод назывался *ударным бурением.* Затем перешли к методу *вращательного бурения,* по которому разрушение породы производится бурильным инструментов, прикрепленным к вращающейся, периодически наращиваемой бурильной трубе. Непрерывный поток воды со взмученной в ней глиной (глинистый раствор) промывает скважину, вынося из нее раздробленную породу, охлаждая инструмент, закрепляя стенки скважины и создавая в скважине гидравлический затвор, препятствующий выбросам нефти и газа.

В 1924 г. М.А. Капелюшников (СССР) предложил метод *турбинного бурения,* по которому механизм, вращающий буровой инструмент, переносится в забой. Таким механизмом явилась специальная турбина, вращаемая подаваемым в нее глинистым раствором. Применение *турбобура* исключило необходимость вращать

всю тяжелую колонну бурильных труб, что упростило технику бурения и сделало ее более экономичной. Позже, также в СССР, был сконструирован *электробур* — буровой инструмент, вращаемый специальным электродвигателем, также опускаемым в забой. При помощи турбо- и электробуров можно бурить не только вертикальные, но и наклонные скважины. Это позволяет пробуривать скважины под морское дно, под здания и сооружения, бурить с одной площадки 8-12 расходящихся скважин *(кустовое бурение).*

Эксплуатация скважин

Способ добычи нефти и газа зависит от того, находятся ли они в пласте под давлением или нет. В первом случае, как только скважина пройдет через непроницаемый, сдерживавший слой, газ или нефть вырываются по ней на поверхность - такой метод ее добычи называется *фонтанным.* Над устьем скважины ставят специальную запорную арматуру, через которую газ или нефть отводят по трубам в специальные приемные устройства. Под пластовым давлением нефть, и особенно газ, можно перемещать на значительные расстояния, что повышает экономичность данного метода добычи. По мере эксплуатации скважины давление в пласте падает, его удается искусственно поддерживать, например, закачивая в пласт (по его контуру) воду через исчерпанные скважины.

Во втором случае, когда давление в пласте отсутствует, осуществляют подъем нефти при помощи газа (или воздуха) или откачиванием ее глубинными насосами. По первому способу сжатый газ, подаваемый в пласт, соприкасается с нефтью и вспенивает ее. Легкая газо-нефтяная пена по подъемной трубе поступает в газоотделитель, а из него нефть поступает в хранилище, откуда расходуются по назначению.

Описанными способами удается извлечь из пласта далеко не всю находящуюся в нем нефть. В зависимости от способа добычи отдача нефти составляет 40 %, редко - до 60 % ее запасов в пласте. Увеличить отдачу нефти удается только специальными приемами.

Для повышения эффективности газо- и нефтедобычи применяют различные *химические реагенты,* полученные на базе углеводородов нефти и газа (углеводородные растворители, поверхностно-активные вещества, полимерные реагенты и т.д.), а также отходы нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. Утилизация побочных продуктов и отходов нефтепереработки и нефтехимии, с одной стороны, позволяет в значительной степени решить экологические проблемы этих производств, а с другой - широкое применение органических реагентов для нефтяной и газовой промышленности усложняет в этих отраслях решение задач по охране

окружающей среды.

Используемые химические реагенты разнообразны по химической природе, физико-химическим свойствам, функциональному назначению. Некоторые применяемые реагенты не опасны для объектов природной среды. Так, многие полимерные реагенты, используемые в бурении, нетоксичны из-за высокой молекулярной массы, которая лишает их возможности разрушать живую пленку. Бактерициды, как правило, высокотоксичны. Опасность для окружающей среды представляют применяемые для обработки буровых растворов нефтепродукты, синтетические жирные кислоты и спирты, серо- и фосфорорганические соединения и др. Особого внимания с точки зрения охраны окружающей среды заслуживают поверхностно-активные вещества, при производстве и применении которых возможно значительное загрязнение водных ресурсов.

3.2. Источники загрязнения окружающей среды

Воздействие нефтяной и газовой промышленности на основные компоненты окружающей среды (воздух, воду, почву, растительный, животный мир и человека) обусловлено токсичностью природных углеводородов, большим разнообразием химических веществ, используемых в технологических процессах, а также все возрастающим объемом добычи нефти и газа, их подготовки, транспортировки, хранения, переработки и широкого разнообразного использования.

Все технологические процессы в нефтяной промышленности (разведка, бурение, добыча, сбор, транспорт, хранение и переработка нефти и газа) при соответствующих условиях могут нарушить естественную экологическую обстановку.

Нефть, углеводороды нефти, нефтяной и буровой шламы, сточные воды, содержащие различные химические соединения в больших количествах проникают в водоемы и другие экологические объекты:

1) при бурении и аварийном фонтанировании разведочных нефтяных и газовых скважин;
2) при аварии транспортных средств;
3) при разрывах нефте- и продуктопроводов;
4) при нарушении герметичности колонн в скважинах и технологического оборудования;
5) при сбросе неочищенных промысловых сточных вод в поверхностные водоемы.

1) Для некоторых районов характерны *естественные выходы нефти* на поверхность земли. Один из береговых пунктов в Южной Калифорнии, например, был назван по этому признаку Нефтяным мысом. Такие выходы обычны в Карибском море, Мексиканском и Персидском заливах. В нашей стране они наблюдаются для ряда месторождений республики Коми (г. Ухта) и др. Нередко эти выходы проявляются на поверхности морей и океанов или на донных или береговых участках рек.

Фонтаны, возникающие в процессе добычи нефти и газа, делят на *нефтяные и газовые*. При этом за нефтяные принимают фонтаны с большим дебитом (суточная производительность) нефти (1500-2000 т/сут и более) и меньшим количеством газа (750 тыс. $м^3$/сут); газонефтяные - с содержанием газа более 50 %, газовые - с 90-100 % газа. Во всех случаях огромный экологический вред и опасность фонтанов для основных объектов природной среды (атмосферы, водоемов, почвы, недр и т. д.) очевидны.

Отрицательные последствия каждого из фонтанов в одних и тех же условиях неодинаковы. Фонтан в штате Риверс залил нефтью поверхность земли площадью около 607 тыс. $м^2$. В пределах аварийного участка земли были выделены четыре зоны с разной степенью загрязнения: глубина проникновения нефти в сильно загрязненной зоне достигла 90 см.

2) Все возрастающее потребление нефти и нефтепродуктов в мире обусловило в последние годы значительный рост *танкерного флота*. В последние годы наметилась тенденция к резкому увеличению вместимости нефтеналивных судов. Эксплуатация супертанкеров выгодна экономически, но создает большую потенциальную опасность для загрязнения окружающей среды, т.к. при аварии в воду выливаются десятки и сотни тысяч тонн нефти. Очень часто нефтепродукты выбрасываются за борт судов со сточной водой, которая используется в качестве балласта или для промывки танков. Загрязнение морей при использовании танкеров происходит во время загрузки и разгрузки нефти на конечных пунктах, за счет переливов при загрузке, при аварийном столкновении и посадке судов на мель. Вся поверхность Мирового океана покрыта в настоящее время нефтяной пленкой толщиной 0,1 мкм.

3) Большую опасность для окружающей среды представляют и *трубопроводы*.

Строительство трубопроводов, особенно в северных районах, оказывает влияние на микроклимат тундры и лесотундры. Проходка траншей локально изменяет режим питания растительного покрова влагой, нарушает теплофизическое равновесие, растопляет

вечномерзлые грунты, приводит к гибели чувствительный к механическому воздействию растительный покров тундры.

При *эксплуатации* трубопроводов утечки нефти, газа, конденсата, сточной воды, метанола и других загрязняющих веществ на участках трубопроводов, расположенных под судоходными трассами морей и рек, наиболее подверженных механическим повреждениям, нередко остаются незамеченными в течение длительного времени и наносят большой ущерб всем экологически значимым объектам окружающей среды. Подсчитано, что в среднем при одном порыве нефтепровода выбрасывается 2 т нефти, приводящей в непригодность 1000 $м^2$ земли.

4) В процессе *бурения и добычи* непрерывное загрязнение окружающей природной среды вызвано утечками углеводородов через неплотности во фланцевых соединениях (сальниках, задвижках), разрывами трубопроводов, разливами нефти при опорожнении сепараторов и отстойников.

Основная часть нефти и сточных вод на территории *промысла* накапливается и поступает в водоемы из устья скважин и прискважинных площадок. Разлив нефти в этих случаях возможен через неплотности в сальниках; при ремонтных работах и освоении скважин; из переполненных мерников; при очистке мерников и трапов от грязи и парафина; разлив нефти происходит при спуске сточной воды из резервуаров; при переливе нефти через верх резервуара и др.

Наиболее типичные *утечки нефти из резервуаров* обусловлены коррозией их днища под действием воды. Постоянный автоматический контроль содержимого в резервуаре позволяет своевременно обнаруживать даже небольшие утечки нефти и нефтепродуктов и устранять их. Большинство хранилищ не исключают испарения нефти, газа, конденсата.

Характерными остаются разливы нефти в результате *аварий* на нефтегазосборных коллекторах и технологических установках, ликвидация которых нередко затягивается и выполняется некачественно.

5) Наиболее тяжелым и опасным по последствиям является загрязнение подземных и наземных пресных вод и почвы. К основным их загрязняющим веществам относятся *нефть, буровой и нефтяной шламы, сточные воды*.

Образующийся при бурении скважин *буровой шлам* может содержать до 7,5 % нефти и до 15 % органических химических реагентов, применяемых в буровых растворах.

В относительно большом объеме *нефтяной шлам* накапливается при подготовке нефти. В этом случае шламы могут содержать до 80-

85 % нефти, до 50 % механических примесей, до 67 % минеральных солей и 4 % поверхностно-активных веществ.

Основное же загрязнение природной среды при бурении и эксплуатации скважин дают *буровые и промысловые сточные воды.* Объем их во всех развитых нефтедобывающих странах мира быстро растет и намного превышает объем добываемой нефти. Из-за отсутствия системы канализации промысловые стоки сбрасывают в близлежащие водоемы или болота, значительно загрязняя их и грунтовые воды.

3.3. Выбросы основных технологических процессов

К наиболее распространенным загрязняющим веществам атмосферного воздуха при добыче, подготовке, транспортировке и переработке нефти и газа, а также при их сжигании относятся углеводороды, сероводород, оксиды азота и серы, механические взвеси.

Сернистый газ, углеводороды, сероводород - основные загрязняющие вещества при разработке нефтяных месторождений, содержащих сероводород. К выбросам их при добыче нефти и газа приводят следующие случаи: аварийное фонтанирование, опробование и испытание скважин, испарение из мерников и резервуаров, разрывы трубопроводов, очистка технологических емкостей. Кроме того, выделение загрязняющих веществ происходит на установках комплексной подготовки нефти (при обезвоживании, обессоливании, стабилизации, деэмульсации нефти), на очистных сооружениях (с открытых поверхностей песколовок, нефтеловушек, прудов дополнительного отстаивания, фильтров, аэротенков). Значительное количество углеводородов выделяется в атмосферу в результате негерметичности оборудования и арматуры.

Источниками оксидов углерода, азота и серы, сажи являются *факельные системы*, на которые подаются вредные газопарообразные вещества для сжигания из технологических установок, коммуникаций и предохранительных устройств при невозможности их использования в качестве топлива в котельных установках.

Все производственные объекты газовой промышленности характеризуются наличием постоянной фоновой загазованности, которая неодинакова для различных объектов и во всех случаях возрастает с увеличением времени эксплуатации. Во многих случаях фоновая концентрация токсичных газов представляет опасность для производственного персонала, населения и окрестной территории.

Источниками газовыделения на объектах газовой промышленности являются скважины, газопроводы, аппараты, факелы, предохранительные клапаны, емкости, дымовые трубы и постоянно действующие свечи, аварийные выбросы. Утечки газов через неплотности в запорной арматуре являются наиболее опасными источниками вредных выбросов на установках комплексной подготовки газа. Абсолютная герметичность технологического оборудования при современном состоянии техники недостижима.

В составе загрязняющих веществ, характерных для объектов газовой промышленности, обычно выделяют сероводород, углеводороды и продукты сгорания. Кроме названных веществ содержатся также меркаптаны RSH, входящие в состав природного газа, пары метанола, используемого в качестве ингибитора, диэтиленгликоль $(HOC_2H_4)_2O$ и аммиак, применяемые для сушки газа и нейтрализации сернистых соединений.

Производственные объекты транспорта и хранения нефти, нефтепродуктов, природного газа вносят значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха. Основная часть загрязняющих веществ поступает в атмосферу из резервуаров и технологических аппаратов *при сливоналивных операциях.* Значительно загрязнение атмосферы и *при хранении* нефти и нефтепродуктов в резервуарах. В качестве загрязняющих веществ выступают сложные смеси большого количества индивидуальных углеводородов.

При хранении легкоиспаряющихся жидкостей в резервуарах различают два вида потерь: от так называемых «малых» и «больших дыханий». Эти выбросы дополняются потерями от «обратного выдоха» и от вентиляции газового пространства резервуаров.

Потери от *«малых дыханий»* возникают при неподвижном хранении жидких углеводородов. Обусловлены они суточным изменением температуры или барометрического давления.

В дневное время при нагреве резервуара и верхнего слоя нефтепродуктов количество паров и давление в герметичной емкости увеличиваются. Когда давление превышает расчетное, предохранительный клапан выпускает часть избыточных паров в атмосферу.

В ночное, более холодное время, наблюдается противоположный процесс: частичная концентрация паров понижает давление в газовом пространстве резервуара, образуя вакуум, и создает условия для поступления в емкость наружного воздуха.

Потери от *«больших дыханий»* происходят при наполнении резервуара нефтью и вытеснении из него паро-воздушной смеси.

Давление сжимаемой смеси оказывается больше соответствующего давления дыхательных клапанов, и они выбрасывают часть смеси в атмосферу - происходит «выдох». Эти потери называют также потерями от вытеснения паров наливаемой жидкостью.

При откачке нефтепродуктов в резервуар входит атмосферный воздух, увеличивающий объем паро-воздушной смеси. Избыток паро-воздушной смеси при этом выходит наружу, т. е происходит дополнительный «*обратный выдох».* Объем потерь от «обратного выдоха» составляет в среднем 10 % от «больших дыханий».

Потери от вентиляции возникают в результате недостаточной герметичности резервуаров. Они делятся на потери от выдувания и от газового сифона. Первые наблюдаются в резервуарах с негерметичными крышками, через неплотности которых пары углеводородов выдуваются ветром. Потери от газового сифона происходят в случаях, когда один конец трубы соединен с газовым пространством, а другой - с нижней частью резервуара и атмосферой. При этом паро-воздушная смесь выходит из резервуара наружу.

Фактические потери нефтепродуктов из резервуаров чаще всего определяют непосредственным замером. При этом объем выходящей из резервуара паровоздушной смеси замеряют газовыми счетчиками, а объемную концентрацию вредных веществ в ней - газоанализаторами. На примере типового наземного резервуара (объем 5000 $м^3$) с бензином для летнего времени в средней климатической зоне было установлено, что потери от «малого дыхания» составляют 100 кг/сут, от «большого дыхания» - 1 кг/сут.

3.4. Защита атмосферы

Для уменьшения загрязнения воздушного бассейна нефте- и газодобывающими предприятиями предусматривают различные технологические и организационно-технические мероприятия. На месторождениях, в газе которых содержится сероводород, им уделяется особое внимание.

К основным таким мероприятиям относятся:

правильный выбор материалов для оборудования, трубопроводов, арматуры, средств контрольно-измерительных приборов и автоматики, работающих в средах, содержащих кислые газы;

герметизация системы по добыче, транспорту и промысловой подготовке газа и углеводородного конденсата;

применение систем автоматических блокировок и аварийной остановки, обеспечивающих отключение оборудования и установок при нарушении технологического режима.

Для уменьшения выбросов сероводорода и углеводородов с поверхностей испарения очистных сооружений рекомендуют использовать нефтеловушки закрытого типа и с отсосом газов на сжигание.

Работу факельной установки считают удовлетворительной, если происходит полное и бездымное сгорание газов. Бездымного сжигания газов обычно достигают при смешивании их с водяным паром или подачей распыленной воды.

Сокращение потерь нефти и нефтепродуктов при перекачке и хранении, снижение загрязнения атмосферы достигают с помощью организационно-технических мероприятий и специальных технических средств.

Организационные мероприятия

Основополагающим условием экологической безопасности в данном случае является высокое качество *герметизации* всей системы транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов. При эксплуатации резервуаров учитывают, что потери от вентиляции газового пространства имеют большой удельный вес в общем объеме потерь.

Число внутрипарковых перекачек должно быть предельно сокращено.

Все емкости по возможности необходимо держать с *максимальным заполнением*. Это обстоятельство значительно уменьшает потери при «большом» и «малом дыханиях». Расчеты показывают, что потери бензина от испарения при хранении его в наземных металлических резервуарах для средней полосы России составляют (в % от объема резервуара):

0,3 - при заполнении резервуара на 90 %;

1,0 - при заполнении на 70 %;

9,6 - при заполнении на 20 %.

Соответствующие потери в южных районах нашей страны в 1,5 раза больше указанных.

Специальные технические средства

1. Применение резервуаров с уменьшенным объемом газового пространства (применение резервуаров с *плавающими крышами* или *понтонами*).

2. Хранение нефтепродуктов под повышенным давлением (полностью исключаются потери от «малых дыханий», а потери от «больших дыханий» сокращаются на 50-60 %).

3. Применение систем и установок по улавливанию паров нефти и нефтепродуктов. Помимо высокой экономической целесообразности этих систем, сохраняющих огромное количество дорогостоящих природных углеводородов, они имеют исключительно природоохранное значение.

Фирмой «Доу кемикл компании» (США) разработана адсорбционная система улавливания нефтепродуктов, образующихся при испарении и выходящих из резервуаров. Выделяющиеся углеводороды, проходя через слой сополимерного адсорбента, сорбируются на нем. При опорожнении резервуара или понижении температуры окружающей среды воздух засасывается в резервуар также через слой адсорбента. Если этот воздух предварительно подогреть, то он десорбирует поглощенные углеводороды. При этом возникает опасность образования взрывчатой смеси. Для исключения этой опасности воздух заменяют азотом.

4. Во многих случаях системы улавливания паров заменяют сжиганием их на факеле или в закрытом аппарате. В условиях динамического удорожания нефти и нефтепродуктов этот способ является архаичным, а по отношению к окружающей среде - опасным.

5. Использование отражательно-тепловой защиты резервуаров от солнечной радиации для уменьшения диапазона изменения температуры газового пространства.

Отрицательное тепловое воздействие солнечной радиации резко ограничивают соответствующей *окраской* наружных и внутренних поверхностей резервуаров, устройством экранов отражателей, орошением крыш резервуаров и др. Наиболее эффективна окраска поверхности резервуаров в светлые тона, для этой цели используют алюминиевую краску и белую эмаль. Окраска внутренних поверхностей резервуара уменьшает поток тепла от стенок к поверхности нефтепродукта за счет низкого коэффициента излучения. Одновременная окраска внутренней и наружной поверхностей резервуара снижает потери от испарения на 50-60 % по сравнению с неокрашенным резервуаром.

6. Одним из перспективных направлений в снижении потерь легкоиспаряющихся нефтепродуктов является использование заглубленных и подземных резервуаров. При таком способе хранения практически исключается потеря нефтепродуктов от «малых дыханий», так как резервуары находятся вне облучения.

7. Для уменьшения выбросов через предохранительные клапаны на аппаратах используют контрольные клапаны со сбросом газовой смеси в закрытую систему при давлении на 15 % выше номинального и аварийные клапаны с выбросом вредных веществ в атмосферу через сепаратор при давлении на 20 % выше номинального. При этом потери

углеводородов через предохранительные клапаны уменьшаются на 60-70 %.

8. Герметизация насосов и компрессоров, при которой предусмотрен закрытый дренаж токсичных паров и газов от насосов, аппаратуры в специальные дренажные емкости, позволяет уменьшить потери на 50-60 %.

Выбор системы, исключающей выбросы в атмосферу, зависит от давления паров, концентрации углеводородов, а также пределов взрываемости, химического состава газовой подушки, расположения оборудования и т. д. Показатели безопасности и экономичности являются при этом определяющими.

3.5. Сточные воды при бурении, добыче, транспорте и хранении нефти и газа

Нефтегазодобывающие производства потребляют большое количество воды в технологических и во вспомогательных процессах.

Для поддержания пластового давления в пласт закачивается более 1 млрд $м^3$ воды, в том числе 700-750 млн. $м^3$ пресной. С помощью заводнения сегодня добывается более 86 % всей нефти. При этом около 700 млн т пластовых вод откачивается из коллекторов вместе с нефтью. Сброс в водоем единицы объема такой воды делает 40-60 объемов чистой воды непригодными для употребления. Обычно при площадном заводнении требуется 10-15 $м^3$ воды на 1 т добытой нефти (иногда 25-30 $м^3$). При законтурном и внутриконтурном заводнении расход воды значительно меньше и составляет в среднем от 1,5 до 2 $м^3$ на 1 т нефти. Пресные воды открытых водоемов предпочтительны для заводнения нефтяных пластов как легкодоступные и не требующие сложной специальной подготовки до закачки их в нефтяные залежи.

Огромные объемы сточных вод с высокими концентрациями токсичных веществ способны нанести непоправимый ущерб поверхностным и подземным водам, другим объектам окружающей среды. Повышенная опасность их обусловлена такими загрязняющими веществами, как *нефть* и *нефтепродукты, химические реагенты, кислоты, щелочи, поверхностно-активные вещества, а также твердые минеральные частицы*.

При этом опасное загрязнение природных вод возможно как при *сбросе* в них неочищенных вод, так и при *разливе, смыве* собственно токсичных веществ в водоемы, грунтовые и подземные воды. Такие случаи довольно часто возникают в процессе бурения и крепления нефтяных и газовых скважин, при перетоках нефти или пластовых

минерализованных вод из нижележащих горизонтов в вышележащие и наоборот.

Наибольшую опасность представляют, безусловно, *аварийные выбросы* и открытое фонтанирование нефти, газа и минерализованных пластовых вод, а также *нарушения герметичности систем сбора и транспорта* нефти на суше и особенно на море. В результате таких аварий в моря, реки, озера, могут попадать буровой раствор, выбуренная измельченная порода, нефть, горюче-смазочные материалы, химические реагенты, ПАВ, утяжелители, сточные воды, буровой шлам и др.

Источники загрязнения вод весьма разнообразны. Еще большее разнообразие характерно для состава и свойств загрязняющих веществ. Поэтому источники загрязнения водоемов рассмотрим в связи с основными технологическими процессами.

Бурение скважин сопровождается дисперсионным разрушением горных пород, образованием бурового шлама, удалением его промывочной жидкостью.

При бурении нефтяных и газовых скважин потребляется значительное количество природной воды, в результате чего образуются загрязненные стоки в виде *буровых сточных вод*. При бурении кроме буровых сточных вод образуются: *отработанные буровые растворы и буровой шлам*. Отработанный буровой раствор подлежит утилизации или захоронению.

Буровой шлам - смесь выбуренной породы и бурового раствора, удаляемая из циркуляционной системы буровой различными очистными устройствами. Буровой шлам наряду с выбуренной породой и нефтью включает все химические реагенты, применяемые для приготовления буровых растворов. Образцы шлама, как показал анализ, содержат 0,8-7,5 % нефти, до 15 % органических соединений (нефтепродукты, химические реагенты) и до 37 % утяжелителя. Выброс его в окружающую среду без специальных мер по обезвреживанию недопустим.

Буровые сточные воды вследствие их высокой подвижности и аккумулирующей способности к загрязняющим веществам являются самым опасным отходом при бурении, способным загрязнить обширные зоны гидро- и литосферы.

По составу буровые сточные воды в большинстве случаев представляют собой многокомпонентные системы. Загрязняющие свойства буровых сточных вод зависят от *химических реагентов*, применяемых для приготовления и обработки буровых растворов, и

состава разбуриваемых пород.

По степени загрязненности буровые сточные воды разделяют на загрязненные и условно чистые. *Загрязненные сточные воды* образуются в процессах, непосредственно связанных с бурением и освоением скважин (обмыв производственных площадей и бурового оборудования, охлаждение штоков буровых насосов), а также при утечках технической воды на узлах приготовления буровых растворов, при освоении скважин, ликвидации осложнений и др. *Условно чистые воды* образуются в системах энергетического привода бурового оборудования. Эти воды содержат незначительное количество нефтепродуктов, смазок и взвешенных веществ. Как правило, их используют в оборотном водоснабжении для эксплуатационных нужд перечисленных агрегатов.

Источники загрязнения при бурении можно условно разделить на постоянные и временные.

К *постоянным* источникам относятся шламовые амбары, из которых происходят фильтрация и утечка жидких отходов. Шламовые амбары для сбора отходов бурения сооружают с расчетным объемом отходов 500 - 800 $м^3$ на одну скважину. Совместное хранение всех отходов бурения не позволяет их утилизировать, а из-за несовершенства конструкций амбаров и специфических почвенно-ландшафтных условий не обеспечивается надежная защита окружающей среды. Амбары часто сооружают в заозерных и заболоченных участках, в поймах рек. В период дождей, таяния снегов и паводков происходят прорывы стенок амбара, и отходы растекаются по буровой площадке. Отсутствие гидроизоляционных покрытий приводит к загрязнению почв, грунтовых, поверхностных и подземных вод из-за больших объемов и подвижности буровых сточных вод. На буровых не принимают действенных мер по своевременной ликвидации шламовых амбаров и последующей рекультивации площадок.

Для *временных* источников характерны труднопредсказуемость, неравномерность, непостоянство состава загрязнения.

Большое значение для предотвращения загрязнения пресноводных горизонтов имеют правильный выбор конструкции скважины и качество цементирования колонн. Конструкция скважины должна изолировать все пресноводные горизонты от продуктивных нефтяных (газовых) залежей. К *временным* источникам загрязнения относятся:

негерметичность заколонного пространства скважин из-за некачественного его цементирования или по другим причинам, приводящая к межпластовым перетокам и загрязнению водоносных горизонтов;

поглощение бурового раствора в процессе промывки скважин и фильтрация его водной фазы в проницаемые отложения;

попадание жидких отходов бурения в водоносные горизонты и др.

Загрязняющее воздействие веществ в различных средах обычно оценивают по ПДК. Однако для значительного числа химических реагентов пока *не установлены ПДК*. Это не позволяет оценить их загрязняющее влияние на окружающую среду. Кроме того, отдельные химические реагенты, на которые утверждены ПДК, в процессе бурения претерпевают физико-химические изменения (термическая, окислительная, механическая деструкция и т.п.). В сочетании друг с другом химические реагенты могут проявлять эффект синергизма или антагонизма, т. е. усиливать или ослаблять токсическое воздействие на окружающую среду.

В настоящее время *нет методик* определения содержания в сточных водах каждого химического реагента в отдельности. Поэтому их содержание характеризуют такими интегральными показателями, как химическое потребление кислорода (ХПК) и биологическое потребление кислорода (БПК).

Химические реагенты, применяемые для обработки буровых растворов, в зависимости от степени загрязнения ими сточных вод условно разделяют на три основные группы:

1) очень жесткие (окисляемость 250 мг O_2/л и более) - фенолы;

2) жесткие (100-250 мг O_2/л) - высшие жирные кислоты, сульфатспиртовая барда, полиакрилонитрил гидролизованный;

3) мягкие (до 100 мг O_2/л) - крахмал, КМЦ.

Для *снижения загрязнения* окружающей среды отходами бурения, содержащими химические реагенты, проводятся следующие *мероприятия:*

разработка безвредных рецептур буровых растворов, включающих активно биодеградируемые, нетоксичные или слаботоксичные химические реагенты;

снижение объемов наработки буровых растворов, связанное, прежде всего, с совершенствованием их рецептур;

разработка методик оценки загрязняющих свойств отходов бурения (ПДК);

создание условий хранения отходов в амбарах, исключающих возможность попадания загрязняющих веществ в гидро- и литосферу даже в экстремальных условиях (для предотвращения фильтрации

сточных вод амбары экранизируются полимерными материалами - поливинилхлоридом, синтетической резиной);

утилизация отработанных буровых растворов путем многократного их использования;

совершенствование системы сбора и хранения отходов бурения - разработка системы, обеспечивающей полный и раздельный сбор всех видов отходов, их переработку для экологически безвредного захоронения на буровой или на специальных местах захоронения, а также для утилизации;

закачка отходов бурения в поглощающие горизонты;

своевременная ликвидация амбаров и рекультивация земель на территории буровой;

разработка эффективных методов утилизации и обезвреживания отходов бурения, в частности физико-химических методов очистки буровых сточных вод и других отходов бурения.

Опасность загрязнения природных вод характерна также для ***процессов добычи нефти и газа***. Основными объектами нефтепромыслов, на которых формируются сточные воды, являются установки комплексной подготовки нефти (УКПН), реализующие процессы обессоливания, деэмульсации, стабилизации и обезвоживания нефти, а также промысловые нефтерезервуарные парки. ***На нефтебазах, магистральных перекачивающих станциях и других предприятиях транспорта*** нефти и нефтепродуктов в составе *сточных вод* в промышленную канализацию сбрасывается значительное количество нефти и нефтепродуктов (до 400-1500 мг/л) и механических примесей (100-600 мг/л). Основная часть загрязняющих веществ поступает в водоемы, на территорию производственных объектов из основных узлов промыслового оборудования.

Сточные воды на нефтепромыслах, нефтебазах, перекачивающих насосных и компрессорных станциях и наливных пунктах подразделяются на пластовые, подтоварные, промывочные воды резервуаров, атмосферные, производственные сточные, балластные и промывочные воды нефтеналивных судов, хозяйственно-фекальные стоки и осадки, образующиеся в резервуарах и очистных сооружениях.

В состав *пластовых* входят воды, добываемые совместно с нефтью, отделяемые от нее на центральных пунктах сбора и подготовки нефти. В общем объеме сточных вод пластовые воды составляют 82-84 %. По мере увеличения срока эксплуатации нефтяного месторождения объем пластовых вод непрерывно растет. В составе сточных вод пластовые воды наиболее минерализованы. При все большей закачке пресных вод

в нефтяные пласты минерализация пластовых вод снижается. Помимо *минеральных солей* пластовые воды содержат *нефть, песок, глинистые частицы*.

Подтоварные воды - стоки, образующиеся при обводнении нефтепродуктов и нефти за счет влаги, поступающей в резервуар из воздуха через дыхательный клапан. Эти стоки сбрасываются при дренаже резервуаров.

При зачистке и промывке резервуаров образуются *промывочные воды*.

В период дождей и таяния снега *атмосферные воды* скапливаются в пределах обвалованной территории в резервуарных парках, на сливо-наливных эстакадах.

Производственные сточные воды поступают от насосных станций, лабораторий, котельных, гаражей, разливочных камер, технологических площадок, в виде утечек из технологического оборудования.

Балластные и промывочные воды нефтеналивных судов - это воды, образующиеся при заполнении танков после слива нефтепродуктов и при промывке танков наливных баржей и танкеров.

В результате отложения тяжелых фракций нефти, смол и всевозможных примесей, насыщенных нефтью и нефтепродуктами, а также твердых минеральных примесей в резервуарных и очистных сооружениях образуются *осадки*; в период зачистки они разбавляются водой и сбрасываются в шламонакопители или на специальные площадки, где их периодически сжигают.

Загрязненные воды, образующиеся при промывке резервуаров, танков после этилированного бензина, в санпропускниках с прачечными для стирки и обезвреживания спецодежды, а также ливневые стоки резервуарных парков, где хранится этилированный бензин, называют *спецстоками.*

По минерализации сточные воды можно разделить на солоноватые с плотным остатком от 1 до 6 г/л, соленые - от 6 до 150 г/л и рассольные - от 150 до 250 г/л, по солевому составу - на жесткие (хлоркальциевые) и щелочные (гидрокарбонатно-натриевые). Минерализация щелочной сточной воды меньше, чем жесткой.

На предприятиях ***газовой промышленности*** наибольшую опасность представляют сильно загрязненные стоки сероочистки и осушки газа, содержащие в относительно больших концентрациях *амины, гликоли, сероводород и другие ядовитые вещества*.

3.6. Методы очистки сточных вод, образующихся при бурении и добыче нефти и газа

Основными загрязняющими веществами сточных вод на предприятиях нефтяной и газовой промышленности являются *нерастворимые и органические примеси*, обычно находящиеся в стоках во взвешенном состоянии.

Грубодисперсные минеральные и органические загрязняющие вещества выделяют из сточных вод с помощью ***механических методов очистки*** (процеживание, отстаивание, разделение в поле центробежных сил на гидроциклонах или в центрифугах). Для отделения *мелкодисперсных загрязняющих* частиц широко используется фильтрование. Основные сооружения для отстаивания нефтесодержащих сточных вод - нефтеловушки, в которых нефть или нефтепродукты выделяются из воды и всплывают на поверхность, а значительное количество твердых механических примесей оседает. На крупных нефтебазах, перекачивающих станциях и других объектах нефтяной промышленности применяют также мазутоловушки, бензо- и маслоловушки - аналоги нефтеловушек.

Физико-химические методы очистки сточных вод находят все более широкое применение в качестве самостоятельного метода и в сочетании с другими видами очистки. Обусловлено это все возрастающим *использованием* на нефтегазовых предприятиях *оборотных систем водоснабжения*, требующих глубокой очистки сточных вод, а также стремлением к максимальному *извлечению из стоков полезных продуктов* с целью их повторного использования. Наиболее широко используются методы *коагуляции, флотации, экстракции и некоторые другие.* Все остальные методы (электрохимические, сорбционные, дистилляция, ректификация, перегонка с паром) не являются универсальными и используются, как правило, в системах локальной очистки. Они энергоемки и имеют ограничения по производительности.

Из ***химических методов*** очистки в нефтяной и газовой промышленности используются озонирование, хлорирование и умягчение воды. *Озонирование* применяют для глубокой очистки сточных вод, прошедших механическую, физико-химическую или биологическую очистку от растворенных в них нефтепродуктов и других органических примесей, а также сероводорода, тетраэтилсвинца, дезодорации (устранения специфического запаха нефтепродуктов) и бактериального обеззараживания воды.

Эффективность очистки от тетраэтилсвинца сточных вод озонированием составляет 90 %. Более глубокая очистка (до 100 %) возможна при использовании катализатора (силикагель). Концентрация озона при этом должна быть не менее 15 мг/л, а время контакта очищаемой воды с озоновоздушной смесью - 1 ч.

Для удаления из сточных вод растворенных в них органических веществ часто применяют ***биологическое окисление*** в природных или искусственно созданных условиях. В первом случае используются почвы, проточные и замкнутые водоемы, во втором - специально построенные для очистки сооружения (биофильтры, аэротенки и другие окислители различных конструкций). Содержание нефтепродуктов в сточных водах после биологической очистки составляет 5-10 мг/л при начальном содержании их 20-50 мг/л.

Очистка буровых сточных вод, утилизация отходов бурения

Коагуляция - один из наиболее доступных и дешевых методов *очистки буровых сточных вод*. Цель коагуляции - освобождение воды от нефти, мути, взвешенных веществ, физико-химические свойства которых не позволяют или делают нерациональным удаление их отстаиванием. Высокая эффективность очистки сточных вод достигнута при использовании сернокислого алюминия в качестве коагулянта. Очищенные таким методом буровые сточные воды по коррозионной активности соответствуют чистым водам, в большинстве случаев прозрачны. Их можно повторно использовать в технологических процессах бурения скважин. Для улучшения очистки сточную воду перед подачей на коагуляцию необходимо предварительно отстаивать от нефти и взвешенных частиц в шламовых амбарах.

Методы очистки буровых сточных вод: фильтрация, центрифугирование, окисление органических примесей озоном с последующим использованием вод в оборотном водоснабжении не получили широкого распространения.

Методы очистки пластовых вод

Для очистки пластовых и в целом промысловых сточных вод наиболее широко в нефтяной и газовой промышленности применяют самый простой и дешевый способ - *отстой в резервуарах-отстойниках*. Однако такой способ не всегда обеспечивает необходимую степень очистки. Дополнительно используют фильтры, гидроциклоны. С помощью *флотации* из сточных вод удаляют эмульгированные нефтепродукты и твердые частицы, которые не задерживаются в нефтеловушках. Для повышения эффективности флотационной очистки применяют различные коагулянты (водные

растворы глинозема, хлорного железа и др.). Продолжительность нахождения сточной воды во флотаторах 10-20 мин.

Для очистки сильно эмульгированных стоков применяют электрофлотаторы - в результате электролиза сточной воды под действием постоянного электрического тока очищаемая вода насыщается микропузырьками. Обработки сточных вод в электрическом поле *микродуговыми разрядами* позволяет разлагать органические соединения под действием образующегося при этом озона.

Использование на нефте- и газодобывающих предприятиях сооружений, включающие каскады биологической и механической очистки сточных вод, малоэффективно из-за их громоздкости и большой стоимости. Капитальные затраты на их строительство достигают 30 % от стоимости предприятий. Высокоэффективно сочетание различных методов очистки промысловых сточных вод, например отстаивания или электрофлотации и метода микродугового разряда.

Утилизация нефтепромысловых сточных вод для поддержания пластовых давлений на разрабатываемых нефтяных месторождениях позволит решить проблему защиты водоемов от загрязнения.

Кроме загрязнения окружающей среды пластовые воды вызывают интенсивную *коррозию* нефтепромыслового оборудования из-за наличия остаточного газа, механических примесей, растворенных солей, кислорода, химических реагентов, продуктов коррозии, а также появления в них на поздней стадии разработки месторождения сероводорода в результате жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих бактерий. Коррозия приводит к нарушению герметичности колонн, а попадающие в почву сточные воды вызывают засоление почвы и грунтовых источников питьевой воды. В связи с этим пластовые воды обрабатывают ингибиторами коррозии, на внутреннюю поверхность трубопроводов и рабочих органов насосов, предназначенных для перекачки сточных вод, наносят защитные полимерные покрытия, проводят мероприятия по предотвращению попадания в них кислорода, кислотных и щелочных стоков, отделению газа и песка.

Для борьбы с бактериальным заражением в пласты закачивают сильноминерализованные воды с добавлением в них бактерицидов - химических реагентов, ядовитых для сульфатвосстанавливающих бактерий.

В целом для защиты окружающей среды от загрязнения пластовыми водами необходимо проведение следующих мероприятий:

обеспечение глубокой очистки промысловых сточных вод; широкое применение антикоррозийных покрытий и химических реагентов для защиты от коррозии нефтедобывающего оборудования; полное использование получаемых на промыслах сточных вод в системе поддержания пластового давления; контроль за состоянием поверхностных вод и качеством сточных вод, используемых в системе поддержания пластового давления.

3.7. Загрязнение почвы нефтью

Локальные загрязнения почвы связаны чаще всего с разливами нефти и нефтепродуктов при повреждении трубопроводов и их утечках через неплотности в оборудовании.

Загрязнение больших площадей возможно при фонтанировании нефти.

Нефть, попадая в почву, опускается вертикально вниз под влиянием гравитационных сил и распространяется вширь под действием поверхностных и капиллярных сил. Скорость продвижения нефти зависит от ее свойств, грунта и соотношения нефти, воздуха и воды в многофазной движущейся системе. Первостепенное значение при этом имеют тип нефти, ее количество, характер нефтяного загрязнения. Чем меньше доля нефти в такой системе, тем труднее ее фильтрация (миграция) в грунте. В ходе этих процессов насыщенность грунта нефтью (при отсутствии новых поступлений) непрерывно снижается. При содержании в грунте 10-12 % (уровень остаточного насыщения) нефть становится неподвижной.

Движение прекращается также при достижении нефтью уровня грунтовых вод. Нефть начинает перемещаться в направлении уклона поверхности грунтовых вод. Для предотвращения миграции разлитой нефти бурят серию скважин и извлекают загрязненные грунтовые воды. В некоторых случаях на пути движения грунтовых вод ставится водонепроницаемый барьер (резиновые гидроизолирующие мембраны). Нефть, скопившаяся около барьера, удаляется при помощи специального оборудования.

Проявление капиллярных сил хорошо прослеживается при значительной проницаемости и пористости грунта. Пески и гравийные грунты, например, благоприятны для миграции нефти; глины и илы неблагоприятны. В горных породах нефть движется в основном по трещинам.

Последствия загрязнения

Выживаемость растений в загрязненных нефтью почвах зависит от глубины проникновения корней. Нефтяное загрязнение разрушает *структуру почвы*, изменяет ее физико-химические свойства: резко снижается водопроницаемость, увеличивается соотношение между углеродом и азотом (за счет углерода нефти), что приводит к ухудшению азотного режима, нарушению корневого питания растений.

Первоначальное относительно слабое загрязнение почвы нефтью снижает *количество микроорганизмов.* Восстановление численности микроорганизмов наблюдается через 6 мес. В это время компоненты нефти используются микроорганизмами в качестве продуктов питания. Однако интенсивный рост микроорганизмов обедняет почву соединениями азота и фосфора и в дальнейшем может сыграть роль лимитирующего фактора, если учесть, что в почвах, загрязненных нефтью, с самого начала отмечается дефицит азота. Загрязнение почвы нефтью может оказать пагубное *влияние на человека* через пищевые цепи.

Рекультивация земель

Ухудшение гидрогеологического режима территории, нарушение структуры и состава почвы выдвигают необходимость своевременной рекультивации (восстановления) нарушенных земель и вовлечения их в хозяйственный оборот.

При разведке, добыче, сборе, подготовке и транспорте нефти и газа занимается огромная территория под многочисленные нефтепромысловые объекты: скважины, технологические емкости, резервуары, линии электропередачи, очистные сооружения, компрессоры, нефтесборные пункты, установки подготовки нефти и газа, насосные станции, нефтеперекачивающие станции. По этой причине на балансе нефтяной промышленности земли больше, чем у других добывающих министерств.

Для рекультивации земель созданы специальные механизированные колонны с необходимой техникой и инвентарем. На предприятиях отрасли предусматривается увеличение коэффициента застройки нефтепромысловых территорий, использование однотрубных систем сбора и транспорта нефти, газа и пластовой воды, группирование скважин в кусты и использование наклонно-направленного бурения, прокладка нефтепромысловых трубопроводов и коммуникаций одинакового назначения параллельно в одной траншее.

Для предотвращения загрязнения почв при проектировании объектов нефтепромыслов предусматривается:

полная герметизация систем сбора, сепарации и подготовки нефти и газа;

автоматическое отключение скважин отсекателями при прорыве выкидной линии;

покрытие изоляцией усиленного типа магистральных нефтепроводов со 100 %-ным просвечиванием стыков на переходах через искусственные и естественные преграды;

использование бессточных систем канализации промышленно-ливневых и фекальных стоков;

полное использование пластовых и промысловых сточных вод для закачки в продуктивные пласты и поддержания пластового давления;

внутреннее противокоррозионное покрытие трубопроводов, перекачивающих пластовую воду.

Горнотехническая рекультивация земель на объектах нефтяной промышленности выполняется в строгом соответствии с утвержденными проектами на строительство конкретного объекта (трубопровода, установки по подготовке нефти и т. д.). Стоимость рекультивации включена в сводную смету строительства.

В *проекте рекультивации земель по трассе трубопровода* определены границы нарушенных земель; ширина зоны рекультивации в пределах полосы отвода; толщина снимаемого плодородного слоя почвы по каждому участку; место расположения отвала для временного хранения снятого плодородного слоя почвы; способы снятия, транспортирования и нанесения плодородного слоя почвы; объемы и методы погрузки, разгрузки и вывоза лишнего минерального грунта в указанном месте; методы уплотнения разрыхленного минерального грунта и плодородного слоя почвы после засыпки трубопровода.

Плодородный слой почвы снимается и перемещается в отвал бульдозерами при толщине слоя более 20 см. Обычно плодородный слой снимают на ширину траншеи поверху (+0,5 м в обе стороны). Затем минеральный грунт вынимают экскаватором и складывают вдоль траншеи. На уложенный трубопровод сначала засыпают минеральный грунт, затем равномерно плодородный слой, который после усадки прокатывают трактором на гусеничном ходу.

На *участках, выделенных для размещения буровых установок*, все работы по рекультивации выполняются в соответствии с планом-графиком, согласованным с графиком движения буровых станков. На проведение работ по каждой скважине составляют проектную документацию.

Вначале на участках снимают плодородный слой земли и складируют в буртах обычно в пределах участка. Для предотвращения воздушной и водной эрозии поверхность буртов засевают

многолетними травами. Для хранения почвы выбирают возвышенные участки, на которых не застаиваются поверхностные и не выступают грунтовые воды. При рекультивации промплощадок буровых установок сначала засыпают нижний слой почвы, а потом верхний. Толщина создаваемого плодородного слоя должна быть не менее 50-70 см. Далее площадки разравниваются, выполняется вспашка и боронование участка с внесением органических удобрений.

Основная и наиболее трудоемкая задача по *рекультивации земель, освобожденных от буровых установок,* - удаление остатков выбуренной породы, буровых растворов, сточных вод и др. В процессе бурения отходы обычно хранят в земляных амбарах с земляной обваловкой. Глубина амбаров обычно 4-5 м, вместимость - около 3000 $м^3$ (три амбара на разведочных и два - на эксплуатационных площадях). Амбары соединяют гравийными фильтрами или дренажными трубами. Вокруг площадки буровой сооружают кольцевую бетонированную канаву со стоками в амбар и устраивают дренажные канавы для отвода дождевых вод.

Остатки буровых растворов в земляных амбарах не высыхают в течение нескольких лет. Это означает, что засыпка амбаров как способ рекультивации земель в данном случае неприемлема. Было изучено несколько способов удаления опасных буровых стоков: естественное испарение, термическая и химическая обработка, закачка в поглощающие пласты, «выдавливание» в узкие траншеи, вывоз на поля испарения.

Высокая эффективность была отмечена у двух последних способов.

«Выдавливание» в узкие траншеи содержимого амбаров используют довольно широко. Метод заключается в следующем: вплотную к земляному амбару роют несколько траншей глубиной до 5 м, а затем перемычки между траншеями и амбаром разрушают, после заполнения траншей стоками их засыпают землей. Густой осадок, который не вытекает в траншеи, остается в земляном амбаре. После подсыхания его засыпают землей. После засыпки земля амбаров в течение нескольких лет не затвердевает, и этот участок практически не пригоден для сельскохозяйственного использования. Естественно, что «выдавливание» содержимого амбара в траншеи можно применять в тех районах, где это допускают геологические условия.

Вывоз на поля испарения предполагает создание специально облицованных или бетонированных амбаров вместимостью 15-20 тыс. $м^3$. В течение двух лет сточные воды отстаиваются в них. После отстоя очищенную воду откачивают и используют на различные технологические нужды, а амбар засыпают землей. Этот способ

экономически целесообразно использовать в том случае, когда расстояние до полей испарения не превышает 30 км. При этом на поля испарения вывозят лишь жидкую часть отходов, а оставшуюся грязь выдавливают в узкие траншеи.

Попытки использовать другие из перечисленных способов удаления стоков из земляных амбаров оказались безуспешными.

Метод естественного испарения хотя бы части жидких отходов, заполняющих шламовый амбар, прост и доступен, но малоприемлем из-за чрезмерной длительности. Он может быть рекомендован лишь для предварительной осушки амбаров.

Термическая обработка стоков (выжигание содержимого земляных амбаров с помощью специальных установок) пока экономически невыгодна. Производительность этого метода недостаточно высока (испаряется 8-10 $м^3$/ч), а расход топлива большой.

Закачка в поглощающие горизонты - один из надежных методов снижения загрязнения окружающей среды отходами бурения. Особенно рационально его использование при кустовом бурении, когда на одной площадке расположено много скважин и существует списанная скважина, пригодная для закачки отходов. Отходы можно закачивать в глубокие поглощающие горизонты, надежно изолированные от поверхности и пресноводных горизонтов. Глубина захоронения отходов - не менее 800 м. Закачка жидких отходов предусматривает специальную систему их сбора и накопления, которая представляет собой двухсекционные котлованы. В первой секции (шламовом амбаре) оседает значительная часть механических примесей. Затем жидкие отходы перетекают во вторую секцию (накопительный амбар), из которой закачиваются в поглощающие пласты. Несмотря на надежность и экономическую целесообразность, этот метод используют в крайне ограниченных масштабах.

После удаления стоков рекультивируемый участок очищают от строительного мусора и металлических предметов, перепахивают на глубину, при которой после покрытия плодородным грунтом толщина очищенного слоя составляла бы не менее 0,7 м. Затем участок по акту передают землепользователю.

ГЛАВА 4
НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Современные нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) делятся на топливные и топливно-масляные, топливные и топливно-масляные с нефтехимическим производством. Технология переработки нефти и имеющиеся в ней различия в зависимости от профиля производства, глубины переработки нефти и ассортимента конечных продуктов определяют и отходы заводов.

4.1. Основные источники образования и состав сточных вод

Основные технологические процессы переработки нефти включают: подготовку нефти, ее обезвоживание и обессоливание; атмосферную и вакуумную перегонку; деструктивную переработку (крекинг, гидрогенизацию, изомеризацию); очистку светлых продуктов; получение и очистку масел.

Электрообессоливание и обезвоживание нефти

Нефти, поступающие с нефтепромыслов, содержат до 2 % воды и до 0,5 % солей. Однако для переработки пригодна нефть, в которой не более 0,0005 % солей и 0,1 % воды. Поэтому нефть, поступающая на НПЗ, вначале подвергается обезвоживанию и обессоливанию на специальных электрообессоливающих установках (ЭЛОУ). В сырую нефть добавляют воду, затем разделяют образовавшуюся эмульсию в две ступени: первая - термическое отстаивание при 75-80 °С; вторая - разрушение эмульсий и обезвоживание с использованием деэмульгаторов ОП-7, ОП-10 и др.

Вода, отделившаяся на установках ЭЛОУ, отводится в специальную сеть канализации. В ней содержатся *соли, нефть, сернистые соединения* и другие вещества, находящиеся в сырой нефти в виде примесей.

Атмосферная и вакуумная переработка нефти

Первичным технологическим процессом переработки нефти является прямая перегонка с получением светлых дистиллятов и масляных фракций в атмосферных ректификационных колоннах. Светлые продукты атмосферной колонны (бензин, керосин и дизельное топливо) охлаждаются, конденсируются в теплообменниках и

конденсаторах. Остаток нефтепродуктов с низа атмосферной колонны поступает в вакуумную колонну, где в результате перегонки получаются масляные дистилляты и кубовый остаток. Охлаждение и конденсация нефтепродуктов осуществляется в конденсаторах смешения вакуумных колонн за счет непосредственного соприкосновения воды с парами нефтепродуктов и газами. В результате отработанная вода загрязняется парами нефтепродуктов и сероводородом. В настоящее время на некоторых установках во избежание образования загрязненных сточных вод конденсаторы смешения заменяют на конденсаторы поверхностного типа, где соприкосновения воды с нефтепродуктами нет.

При первичной перегонке нефти имеет место разложение сернистых соединений. Часть из них переходит в светлые дистилляты, загрязняя последние, а часть - в газы и остаток нефтепродуктов. Из-за агрессивности сернистых соединений к технологическому металлическому оборудованию их присутствие в товарных нефтепродуктах не допускается. Очищают нефтепродукты от соединений серы промывкой водным раствором щелочи. При этом из нефтепродуктов в щелочной раствор переходят сероводород, меркаптаны и другие сернистые соединения, а также фенолы. После многократного использования щелочной раствор, содержащий большое количество сернистых соединений, а также другие загрязняющие вещества, сбрасывается в специальную сеть - сеть сернисто-щелочной канализации.

Таким образом, на стадии атмосферно-вакуумной переработки нефти образуются сточные воды двух видов: сточные воды после конденсаторов смешения; сернисто-щелочные при очистке нефтепродуктов от сернистых соединений. И в тех, и в других содержатся *нефть, нефтепродукты и соединения серы*.

Деструктивная переработка нефти

При глубокой переработке нефти остатки прямой перегонки подвергаются крекингу и пиролизу.

На установках каталитического крекинга продукты прямой перегонки нефти подвергаются прямому расщеплению молекул тяжелых углеводородов с целью получения высокооктановых бензинов и индивидуальных ароматических углеводородов. Процесс ведется при высоких температурах и давлениях. Очистка жидких продуктов проводится также щелочью. Охлаждение и конденсация готовых продуктов ведется с помощью воды в поверхностных конденсаторах и холодильниках. Вода при этом нагревается до 70-80 °С. Загрязнение

нефтепродуктами охлаждающей воды возможно лишь при неисправности и негерметичностн аппаратов.

Кроме воды, используемой для охлаждения готовых продуктов при их конденсации, в канализацию сбрасывается и вода из водоотделителей. Последняя образуется главным образом в результате конденсации водяного пара, поступающего в установки, так называемые технологические конденсаты. Из-за непосредственного контакта с нефтепродуктами в технологическом конденсате могут содержаться значительные концентрации *углеводородов*, а при переработке сернистых и высокосернистых нефтей также *сульфиды аммония и фенолы*.

Очистка нефтепродуктов

Для очистки нефтепродуктов применяют кислотную и щелочную промывку.

При кислотной очистке легкие фракции нефти обрабатываются растворами серной кислоты в специальных аппаратах с мешалками. Затем их нейтрализуют, промывают водой и подвергают щелочной обработке. В результате очистки получается много отходов - *кислых гудронов, щелочных сточных вод*, обезвреживание и утилизация которых затруднительны. Однако в настоящее время решение этой проблемы чрезвычайно важно для защиты окружающей среды от загрязнения.

Кроме общих методов очистки нефтепродуктов применяют специальные методы, например обессеривающие методы, из которых наиболее перспективным считают метод каталитической гидрогенизации, очистку с помощью селективных растворителей и др.

Получение и очистка масел

Сырьем для производства масел служат масляные погоны, полученные с установок АВТ. Для удаления из масляных фракций примесей (сернистые, азотистые, асфальто-смолистые вещества) их подвергают очистке с помощью растворителей на специальных установках.

На установке *деасфальтизации* жидкий пропан осаждает асфальто-смолистые вещества, содержащиеся в масляных погонах АВТ.

На установке *депарафинизации* при нормальной работе технологического оборудования загрязнения незначительны.

При правильной эксплуатации установок *гидроочистки масел* (ограниченная гидрогенизация масел с превращением непредельных

соединений в насыщенные и сернистых в легко удаляемый сероводород) попадание нефтепродуктов в сточные воды исключено.

На этих установках загрязняющие вещества (нефтепродукты, растворители) могут попадать в канализацию через неплотности сальников насосов или в результате других неисправностей, при мытье полов.

Кроме загрязнения воды на основных технологических операциях, значительное количество загрязняющих веществ поступает в сточные воды НПЗ из резервуарных парков и при ремонте оборудования. Дополнительным источником загрязнения канализации нефтепродуктами и механическими примесями являются дождевые и талые воды, в которых содержание различных веществ может достигать значительных величин.

Таким образом, производственные сточные воды на НПЗ образуются практически на всех технологических участках. В зависимости от источников образования их подразделяют на следующие:

I. Нейтральные нефтесодержащие сточные воды составляют основную часть воды первой системы промышленно-ливневой канализации. К ним относятся сточные воды, получающиеся:

при конденсации, охлаждении и водной промывке нефтепродуктов (кроме вод барометрических конденсаторов АВТ);

после очистки аппаратуры, смыва полов производственных помещений;

при охлаждении втулок сальников насосов;

а также ливневые воды с площадок технологических установок.

В этих водах присутствует преимущественно *нефть в виде эмульсии*. Ее концентрация достигает 5-8 г/л, а общее содержание солей 700-1500 мг/л.

II. Солесодержащие сточные воды (стоки ЭЛОУ) с высоким содержанием эмульгированной нефти и большой концентрацией растворенных солей (в основном хлористого натрия). Они поступают от электрообессоливающих установок и сырьевых парков. К ним также относятся дождевые воды с территории указанных объектов.

III. Сернисто-щелочные сточные воды получаются от защелачивання светлых нефтепродуктов и сжиженных газов. В процессе щелочной очистки из нефтепродуктов удаляются главным образом сероводород, меркаптан, фенолы и нафтеновые кислоты.

IV. Кислые сточные воды от цеха регенерации серной кислоты образуются в результате неплотностей соединений в аппаратуре, потерь

кислоты из-за коррозии аппаратуры и содержат в своем составе до 1 г/л серной кислоты.

V. Сероводородсодержащие сточные воды поступают в основном от барометрических конденсаторов смешения. При замене барометрических конденсаторов смешения на поверхностные объем их сокращается в 40-50 раз. Кроме барометрических вод, сероводород содержится и в так называемых технологических конденсатах установок АВТ, каталитического крекинга, замедленного коксования, гидроочистки и гидрокрекинга, но в этих сточных водах, кроме сероводорода, присутствуют фенолы и аммиак.

При объединении НПЗ и нефтехимических производств появляются сточные воды, загрязненные продуктами нефтехимического синтеза. Состав их обусловлен видом получаемой продукции.

Из других источников образования сточных вод следует отметить сточные воды от этилосмесительных установок и эстакад по наливу этилированных бензинов, в которых содержатся до 10 мг/л нефтепродуктов и тетраэтилсвинец, а также кислые сточные воды от цехов синтетических жирных кислот.

Таким образом, в сточные воды НПЗ попадает большое количество органических веществ, из которых наиболее значимы конечные и промежуточные *продукты перегонки нефти, нефть, нафтеновые кислоты и их соли, деэмульгаторы, смолы, фенолы, бензол, толуол*. В сточных водах содержится также *песок, частицы глины, кислоты и их соли, щелочи*. Нефть и нефтепродукты в производственных сточных водах содержатся в растворенном, коллоидном и эмульгированном состояниях. Большинство растворенных в воде органических веществ, как правило, определяются суммарно через биохимическое потребление кислорода или химическое (бихроматное) потребление кислорода пробой воды.

4.2. Мероприятия по защите водных объектов

Технологические мероприятия по защите водных объектов направлены на сокращение водопотребления; уменьшение количества сточных вод, сбрасываемых в водоемы; снижение их загрязнения. Снижение водопотребления достигается за счет

- использования оборотного водоснабжения для аппаратов, в которых охлаждаются или конденсируются определенные продукты (водооборот как одно из наиболее эффективных мероприятий по экономии расхода воды составляет в среднем по НПЗ 90 %);

- повторного использования сточных вод после очистки (в результате оборотного водоснабжения и вторичного использования сточных вод забор воды из водных объектов снижается в 15-25 раз по сравнению с прямоточным водоснабжением, при этом значительно сокращается сброс загрязненных сточных вод в водоемы);
- совершенствования технологических процессов (замена используемых в производстве реагентов, в частности, деэмульгатаров, внедрение аппаратов воздушного охлаждения, замена барометрических конденсаторов смешения на поверхностные, герметизация оборудования и трубопроводов и др.).

Современная *система канализации* и очистки сточных вод НПЗ предусматривает разделение сточных вод по видам загрязняющих веществ и применение максимального возврата очищенных сточных вод в оборотное водоснабжение.

В *первую систему канализации* собираются и отводятся на очистные сооружения (по одной канализационной сети) промышленно-ливневые нейтральные сточные воды. Эти сточные воды составляют основную массу (более 90 %) отводимых сточных вод. После соответствующей очистки ими пополняют оборотные системы водоснабжения.

Вторая система канализации, называемая часто канализацией ЭЛОУ (так как сточные воды от ЭЛОУ составляют в ней 75 %), служит для отведения и очистки химически загрязненных сточных вод. К этим водам относятся сточные воды ЭЛОУ, сернисто-щелочные сточные воды, технологические конденсаты, подтоварные воды сырьевых парков и др. После очистки эти воды, если их невозможно использовать в производстве, сбрасывают в водоем.

Во второй системе канализации, как правило, предусматривают устройство отдельных сетей для отведения соответствующих сточных вод (в зависимости от вида и степени их загрязнения) на локальную очистку, основные из них:

сеть для сточных вод от установок ЭЛОУ, подтоварной воды от сырьевых парков, ливневых вод от установок ЭЛОУ и сырьевых парков;

сеть для концентрированных сернисто-щелочных вод от аппаратов по защелачиванию нефтепродуктов;

сеть для кислых сточных вод, загрязненных неорганическими кислотами;

сеть для кислых сточных вод, загрязненных жирными кислотами и парафином;

сеть сточных вод, содержащих тетраэтилсвинец.

4.3. Очистка сточных вод

В состав ***механической и физико-химической очистки*** сточных вод НПЗ на действующих предприятиях входят *песколовки, нефтеловушки, пруды дополнительного отстоя, кварцевые фильтры, флотационные установки*.

Предварительная механическая очистка нефтесодержащих сточных вод проводится вначале на песколовках и затем в нефтеловушках. Нефтеловушки открытого типа вызывают повышенную загазованность атмосферного воздуха вредными веществами, особенно в летнее время. Нефтеловушки открытого типа рекомендуется заменять закрытыми, по возможности герметизированными.

В целях повышения эффективности механической очистки сточных вод на отдельных НПЗ устраивают дополнительные сооружения. Из них получили распространение *пруды дополнительного отстоя*, в которых сточные воды, поступившие с нефтеловушек, освобождаются от части нефтепродуктов и механических примесей. Основным недостатком прудов дополнительного отстоя являются их большие площади, возможность загрязнения воздушного бассейна, необходимость очистки прудов от шлама и нефти. Очистку прудов необходимо проводить по мере накопления шлама, но не реже одного раза в 1-2 года, с применением землесосных установок, шламовых насосов и других механизмов. Для защиты подземных вод от загрязнения дно пруда рекомендуется покрывать слоем глины, асфальта или бетона в виде защитного экрана.

После прудов дополнительного отстоя сточные воды на ряде НПЗ проходят очистку на *песчаных фильтрах или флотационных установках*. Сточные воды освобождаются от основной части содержащихся в них эмульгированных нефтепродуктов, проходя в фильтрах снизу вверх слои песка и гравия. Для удаления из фильтра отложившейся в нем нефти необходима регулярная его промывка очищенной водой первой системы канализации. Промывная вода далее проходит очистку со сточными водами второй системы канализации. К существенным недостаткам песчаных фильтров следует отнести: образование больших объемов загрязненных промывных вод; возникающее при эксплуатации смещение гравийных слоев; необходимость регулярной замены дефицитного загрузочного материала; их высокая строительная стоимость.

На НПЗ применяют *реагентную напорную флотацию*. Продолжительность флотации составляет 20-30 мин, длительность

насыщения воздухом 1-3 мин. При очистке высокоэмульгированных вод первой системы канализации применение флотационных установок по сравнению с песчаными фильтрами более эффективно.

Коагуляция как самостоятельный процесс очистки сточных вод очень ограниченно используется на НПЗ. Недостатком метода является большой расход минеральных коагулянтов, что приводит к образованию значительного осадка.

Сточные воды НПЗ, прошедшие механическую и физико-химическую очистку, обычно подвергаются ***биологической очистке***.

Биохимическое разрушение нефти, нефтепродуктов и других загрязнений органического происхождения в очистных сооружениях происходит под воздействием комплекса бактерий активного ила. Помимо органического вещества, для синтеза живого вещества (бактерий) необходимы также биогенные элементы (азот, фосфор, калий и др.). Недостаток биогенных элементов тормозит биохимическое окисление углеродсодержащих веществ. Соотношение между БПК и содержанием азота и фосфора устанавливается экспериментально: для ориентировочных расчетов необходимого количества биогенных элементов можно пользоваться соотношением БПК:N:P=100:5:1. В последующей эксплуатации очистных сооружений эти соотношения уточняют. В качестве биогенных элементов добавляется фосфор, главным образом в виде суперфосфата. Аммонийные соли обычно присутствуют в сточных водах НПЗ, поэтому их в качестве биогенной подпитки не добавляют.

При биохимической очистке в аэротенках (более эффективны по сравнению с аэрофильтрами) до 90 % нефтепродуктов окисляется до кислородсодержащих соединений (органических кислот, альдегидов, спиртов, а также до углекислоты и воды).

Эксплуатация аэротенков на НПЗ свидетельствует о возможности очистки нефтесодержащих и химически загрязненных сточных вод как отдельно, так и в смеси с хозяйственно-бытовыми сточными водами при соотношении 1:1. Важнейшим условием, обеспечивающим достаточно высокий эффект биохимической очистки сточных вод НПЗ, является степень их предварительной подготовки на сооружениях механической и физико-химической очистки.

При общем удовлетворительном эффекте очистки сточных вод на биохимических сооружениях ХПК очищенных сточных вод, как правило, остается высоким - 200 мг O_2/л и выше, в то время как БПК их составляет лишь 15-20 мг O_2/л. Такой разрыв в показателях свидетельствует о наличии в очищенных сточных водах стабильных

органических соединений, не поддающихся биохимическому окислению на очистных сооружениях.

Были проведены опыты по санитарно-токсикологической оценке сточных вод, прошедших биохимическую очистку, на подопытных животных в течение длительного времени (10-12 мес., т.е. более половины жизни экспериментального животного). В результате показано, что только после разбавления сточных вод в 30-60 раз удается достичь предела, когда они становятся безвредными.

При невозможности по санитарным требованиям сброса в водоем биохимически очищенных сточных вод для доочистки рекомендуются *биологические или буферные пруды*. За время пребывания сточных вод в прудах (до 10 суток) состав сточных вод улучшается. В ряде случаев доочистка в прудах может быть достаточной для сброса сточных вод в водоем. Биологические пруды играют положительную роль в *обогащении воды кислородом*. Так, при исследовании кислородного режима трехсекционного биологического пруда оказалось, что содержание кислорода в воде повышалось с 0,4 мг/л на входе в пруд до 8,3 мг/л после пребывания воды в третьей секции пруда в течение 5 суток.

Недостатком биологических прудов является то, что для их строительства требуются большие земельные площади. Кроме того, они служат источниками загрязнения атмосферного воздуха. Пруды с искусственной аэрацией, осуществляемой пневматическими или механическими устройствами, занимают значительно меньшие земельные участки.

Среди других методов глубокой доочистки нефтесодержащих сточных вод, прошедших биохимическую очистку, рекомендуют такие, как *фильтрование (микрофильтры, песчаные фильтры), сорбцию на активированных углях, озонирование.*

Локальная очистка

Для очистки сточных вод, содержащих специфические вещества в концентрациях, затрудняющих очистку общего потока, предусматривают сооружения локальной очистки. Такие установки оборудуют специальной технологической аппаратурой для регенерации, очистки или обезвреживания сточных вод. В зависимости от загрязняющих веществ локальные очистные сооружения разделяют на следующие виды:

для очистки сернисто-щелочных сточных вод;

для обезвреживания серосодержащих сточных вод;

для нейтрализации неорганических кислот и их соединений и щелочей;

для очистки от органических соединений;

для очистки от парафинов и жирных кислот;

для очистки от нефтепродуктов с тетраэтилсвинцом.

Как показал анализ состава сточных вод НПЗ, наиболее загрязненными из них являются *сернисто-щелочные сточные воды*. В них содержание сернистых соединений достигает 50 г/л, нефтепродуктов - 3 г/л, щелочи - 10 г/л и фенолов - 1-10 г/л; эти сточные воды отличаются высокими значениями ХПК (более 100 г O_2/л) и $БПК_{полн}$ (80-90 г O_2/л). Сернистые органические соединения, важнейшими из которых являются меркаптаны и сульфиды, имеют общее свойство - крайне неприятный запах.

В настоящее время основная масса сернисто-щелочных сточных вод подвергается биохимической очистке в составе второй системы канализации. Успех биохимической очистки сернисто-щелочных сточных вод в значительной степени зависит от надежного усреднения расхода и концентрации.

Для удаления из сернисто-щелочных сточных вод сероводорода рекомендуется *метод карбонизации.* Сущность метода заключается в вытеснении из сточных вод сероводорода и других сернистых соединений с помощью диоксида углерода. Необходимый для процесса диоксид углерода выделяют из дымовых газов.

Другим способом обезвреживания (удаления сероводорода) сернисто-щелочных вод является окисление кислородом воздуха сульфидов в тиосульфаты при повышенной температуре и давлении.

В *технологических конденсатах*, образующихся в производстве при конденсации водяного пара, содержатся в больших концентрациях сульфиды. Технологические конденсаты могут быть сброшены во вторую систему канализации после окисления сульфидов в тиосульфаты или в первую систему канализации при применении других методов очистки от сероводорода, которые не вызывают повышения содержания солей в технологических конденсатах.

Сточные воды, содержащие *неорганические кислоты и их соединения, а также щелочи*, нейтрализуют на локальных нейтрализационных установках. Кислые и щелочные воды, загрязненные нефтепродуктами, перед нейтрализацией очищают. Шлам с установок нейтрализации направляют в шламонакопители, а нейтрализованные сточные воды - в сеть второй системы канализации.

Сточные воды, содержащие *органические соединения* (фенол, крезол, фурфурол, бензол, дихлорэтан, дихлорметан, метанол, метилэтилкетон и др.), поступают на общезаводские сооружения биохимической очистки непосредственно или в отдельных случаях

после локальной очистки, если указанные соединения содержатся в концентрациях выше допустимых норм. Сброс этих сточных вод в первую или вторую систему канализации решается в зависимости от загрязнения их солями.

Сточные воды, загрязненные *парафинами и водонерастворимыми жирными кислотами*, очищают на локальных продуктоловушках, аналогичных по устройству нефтеловушкам. В продуктоловушках сточные воды подогревают для поддержания парафинов и водонерастворимых жирных кислот в жидком состоянии. Собранные парафины и жирные кислоты используют в производстве после соответствующей переработки. Сточные воды, имеющие кислую реакцию, нейтрализуют известью и направляют на биохимическую очистку.

Сточные воды, загрязненные *нефтепродуктами с тетраэтилсвинцом (ТЭС)*, проходят локальную очистку перед сбросом в сеть второй системы канализации. Без полного извлечения тетраэтилсвинца спуск этих вод в канализацию не допускается. Для удаления тетраэтилсвинца из сточных вод используют метод экстракции ТЭС бензином или метод озонирования.

4.4. Выбросы в атмосферный воздух

Среди загрязняющих атмосферу веществ основными являются *углеводороды и сернистый газ*. Степень загрязнения воздушной среды зависит от применяемой техники и технологии, а также от качества нефти и масштабов ее переработки.

Потери углеводородов (%), включая сернистые соединения, происходят за счет:

1) испарения (63), в том числе испарения:

- из резервуаров и емкостей для хранения нефти и нефтепродуктов (40);
- с поверхности сточной жидкости в нефтеловушках и различных прудах, с сооружений биологической очистки сточных вод, включая испарение из канализационных колодцев и открытых градирен (19);
- при наливе в цистерны и при других товарных операциях (на эстакадах открытого типа) (1,3);
- прочие источники испарения, утечки через неплотности (2,7);

2) сжигания на факелах (17);

3) сжигания кокса с катализаторов, от разливов и утечек в грунт, с газами разложения на АВТ и битумных установках (19);

4) потерь со сточными водами до биологической очистки (1).

Все эти операции загрязняют окружающую среду *углеводородами и сернистыми соединениями*.

Кроме этого атмосферный воздух загрязняют *оксидами углерода, азота и серы* дымовые газы трубчатых печей технологических установок.

Установки термического крекинга загрязняют атмосферу *непредельными углеводородами*.

Сернокислотная очистка светлых нефтепродуктов, парафина и масел, сульфирование при получении поверхностно-активных веществ и многие другие процессы связаны с выбросом *сернистых газов в атмосферу*.

Оборудование установок гидроформинга и депарафинизации является источником загрязнения атмосферы *бензолом и другими ароматическими углеводородами,* холодильных отделений установок депарафинизации - *аммиаком.*

Установки каталитического крекинга, контактной очистки масел и коксования являются также очагами выделения *пыли.*

Факельные системы являются значительными источниками загрязнения атмосферного воздуха *оксидами углерода, азота и серы и другими вредными газам, дымом и копотью*. Особенно много сажи выделяется при сжигании сбросных газов, содержащих тяжелые непредельные углеводороды. На факельные установки направляют горючие и горюче-токсические газы и пары из технологического оборудования и коммуникаций, а также «сдувки» из предохранительных клапанов и других предохранительных устройств, если эти сбросы невозможно использовать в качестве топлива. Кроме того, на факел направляют горючие и горюче-токсические газы и пары в аварийных случаях, в период пуска оборудования, при остановке оборудования на ремонт и наладке технологического режима (периодические сбросы).

Среди веществ, содержащихся в сырой нефти и нефтепродуктах, присутствуют *ароматические полициклические соединения,* концентрация которых возрастает в процессе термической переработки нефти. Например, концентрация 3,4-бензпирена в нефтепродуктах возрастает по сравнению с сырой нефтью до 0,03 %. При оценке концентрации канцерогенных соединений на промплощадке НПЗ оказалось, что наименьшие концентрации их на территории атмосферно-вакуумной и крекинг- установок. Более значительное выделение наблюдалось в процессе переработки высококипящих нефтепродуктов: мазута, гудрона и особенно велики - на установке коксования, где переработка продуктов осуществлялась при 500 °С при отсутствии герметизации технологического оборудования.

Таким образом, на современных нефтеперерабатывающих заводах имеется большое число источников газовыделений, рассредоточенных по разным высотам. Загрязнения воздушного бассейна определяются технологическими особенностями установок, степенью герметизации оборудования, количеством и качеством потребляемого топлива и размещением отдельных объектов.

4.5. Мероприятия по охране атмосферного воздуха

Увеличение объема переработки нефти, в том числе сернистой и высокосернистой, выдвигает перед нефтеперерабатывающей промышленностью неотложную проблему сокращения загрязнения атмосферы токсичными соединениями. Можно выделить два основных направления по обеспечению чистоты атмосферы:

сокращение абсолютных выбросов газов;

обезвреживание выбросов, содержащих вредные вещества.

Первое направление связано с применением более прогрессивных технологических схем процессов, позволяющих использовать все материальные потоки в замкнутом цикле, и применением оборудования повышенной герметичности;

второе направление связано с применением сорбционных методов очистки выбросов при утилизации извлекаемых компонентов, а в отдельных специфических случаях – с применением сжигания.

Важным фактором оздоровления атмосферы является *укрупнение и комбинирование* установок по основным и вторичным процессам.

Другим фактором, не только обеспечивающим безопасность ведения технологических процессов, но и предотвращающим загрязнение атмосферы, является *автоматизация* технологического процесса.

Углеводороды относятся к основным вредным выбросам нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятий. Мероприятия по снижению их выбросов в атмосферу можно разделить на четыре группы:

1) совершенствование организации хранения и транспортирования углеводородов нефти и газа (хранение углеводородов под слоем инертного газа, применение резервуаров со специальными крышками, максимальное (95-98 %) заполнение резервуаров, использование адсорбционно-адсорбционных методов улавливания);

2) совершенствование технологических процессов (герметизация оборудования, уплотнение движущихся деталей, строгое соблюдение технологического режима);

3) рекуперация углеводородов и их производных. Рекуперация предназначена для улавливания углеводородов из производственных или вентиляционных газов и повторного их использования. Метод рекуперации выбирают в зависимости от концентрации углеводорода: при больших применяют конденсацию охлаждением до минус 10-15 ^{o}C (обычно используют рассол хлористого кальция), средних - абсорбцию (обычно используют минеральные масла с молекулярной массой 280-300), низких - адсорбцию (активный уголь, силикагель, цеолиты);

4) каталитический дожиг выбросов (применяют для вентиляционных выбросов с повышенной концентрацией углеводородов, рабочая температура 400 ^{o}C, эффективность очистки 98-100 %).

Для очистки атмосферных выбросов от *диоксида серы* наиболее распространены аммиачные методы, которые одновременно с очисткой позволяют получать сульфит и бисульфит аммония, и каталитические методы, основанные на окислении диоксида серы в присутствии катализаторов с получением разбавленной серной кислоты.

Несмотря на то, что в настоящее время на НПЗ поступают в основном сернистые и высокосернистые нефти, выбросы *сероводорода и оксидов серы* в атмосферу резко сократились. Это объясняется организацией на НПЗ производства серной кислоты и серы из сернистых соединений, содержащихся в нефтях. На одних НПЗ сероочистка предшествует газофракционированию, на других - очистке подвергают сухие газы после газофракционирования. Во втором варианте значительны потери сероводорода; кроме того, преждевременно выходит из строя компрессорное оборудование и другая аппаратура, увеличивается расход свежей и, соответственно, объем отработанной щелочи при очистке готовых фракций, ухудшаются санитарные условия труда обслуживающего персонала. Централизованная очистка газовых потоков НПЗ позволяет увеличить масштабы производства серной кислоты из сероводорода, значительно улучшить технико-экономические показатели работы производства, уменьшить загрязнение атмосферного воздуха.

С целью уменьшения выбросов сероводорода и углеводородов через *барометрические конденсаторы смешения* их заменяют на поверхностные с водяным или воздушным охлаждением.

Сжигание газовых выбросов на факельных установках позволяет значительно уменьшить загрязнение воздушного бассейна. Но утилизация сбросных газов на факельных установках не является рациональным методом защиты окружающей среды. Поэтому необходимо снижение сбросов газов на факел различными путями: повышение культуры производства, строгое соблюдение технологического регламента, своевременный ремонт оборудования, совершенствование технологического процесса с целью снижения газовых выбросов, уменьшение потерь углеводородов на объектах общезаводского хозяйства, разработка и усовершенствование методов контроля и очистки выбросов в атмосферу.

К факельным установкам предъявляются следующие требования:

полнота сжигания, исключающая образование альдегидов, кислот и других вредных продуктов,

безопасное воспламенение, бесшумность и отсутствие яркого свечения,

отсутствие дыма и сажи,

устойчивость факела при изменении количества и состава газовых выбросов.

Для уменьшения выбросов от нефтеловушек, нефтеотделителей необходимо использовать *нефтеловушки закрытого типа*, а также нефтеловушки с отсосом газов на сжигание, герметизировать колодцы. Для оздоровления атмосферного воздуха НПЗ необходимо своевременно удалять нефтепродукты с зеркала прудов-накопителей и нефтеловушек, вовремя очищать нефтеловушки, а также перерабатывать или утилизировать нефтяные остатки.

При невозможности или высокой стоимости извлечения вредных веществ из выбросов НПЗ, невозможности полной герметизации производства прибегают к *рассеиванию* вредных выбросов в атмосфере. Задача рассеивания состоит в том, чтобы выбрасываемые вещества перемешивались в большом объеме воздуха, и концентрация их на уровне земли не превышала ПДК.

4.6. Обезвреживание и переработка шламов

Нефтяные шламы - основные отходы нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий. Они образуются в процессе очистки нефтесодержащих сточных вод на очистных сооружениях и при чистке резервуаров. Шламы представляют собой тяжелые нефтяные остатки,

содержащие в среднем (по массе) 10-56 % нефтепродуктов, 30-85 % воды, 1,3-46 % твердых примесей.

Шламонакопители, представляющие собой открытые земельные емкости для хранения шламов, занимают большие территории, пожароопасны, являются источником загрязнения окружающей среды вследствие испарения нефтепродуктов и загрязнения грунтовых вод. Поэтому обезвреживание и утилизация нефтяных шламов является острейшей проблемой.

В настоящее время применяются следующие методы обезвреживания и переработки нефтяных шламов:

сжигание в виде водных эмульсий и утилизация выделяющегося тепла (это самый распространенный, наиболее простой, надежный и малоотходный метод);

обезвоживание и сушка с возвратом нефтепродуктов в производство (процесс по сравнению со сжиганием более прогрессивный);

переработка в газ и парогаз (позволяет повысить коэффициент использования нефти, но для промышленной реализации процесса газификации нефтяного шлама требуются большие капитальные затраты, что сдерживает его широкое применение).

Кроме того, на предприятиях нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности образуется большое количество производственных шламов. Большую часть производственных шламов составляют кубовые остатки и различные некондиционные жидкие продукты. *Кубовые остатки* - продукты, образующиеся в технологических процессах при выпаривании, экстракции, ректификации, фильтрации и др. *Некондиционные продукты* - жидкости, не соответствующие ТУ и ГОСТам, использование и переработка которых экономически нецелесообразны. Также накапливаются различные *сыпучие отходы, отработанные адсорбенты и катализаторы, заводской мусор, жидкие и твердые отходы*, затаренные в бочки. Шлам образуется также при нейтрализации химически загрязненных сточных вод (например, производства синтетических жирных кислот) известковым молоком, аммиаком перед биохимической очисткой. Кальциевый шлам станций нейтрализации содержит 50-55 % органических соединений (кальциевые соли различных жирных кислот, спирты, сложные эфиры, углеводороды) и 45-50 % минеральных веществ (диоксид кремния, гидроксид кальция и др.).

Скапливание таких отходов на производственных территориях может привести к интенсивному загрязнению почвы, воздуха и

грунтовых вод. Предотвратить это можно рациональным складированием и захоронением отходов, обезвреживанием их и использованием для различных целей в народном хозяйстве. Захоронение необходимо в том случае, если утилизация или ликвидация таких отходов в сложившихся условиях невозможна.

Складирование отходов возможно в поверхностных хранилищах. Отходы, складируемые в поверхностных хранилищах, как правило, не токсичны, однако при неправильном хранении они могут стать источником загрязнения почвы и водоемов. Кроме того, наземные хранилища занимают значительные площади. Основной тип наземных хранилищ на химических и нефтехимических предприятиях - *шламонакопители.* Сооружение *специальных полигонов* - наиболее рациональный метод захоронения производственных шламов. В составе полигона предусмотрены: завод по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов, участок захоронения промышленных отходов.

Способы обезвреживания и утилизации кубовых остатков и некондиционных жидких продуктов выбирают на основе классификации этих отходов, так как по количеству и составу они чрезвычайно разнообразны, а также с учетом экономичности процесса, возможности дальнейшего их использования.

В связи с ужесточением требований к качеству сбрасываемых отходов многие производственные отходы, предназначавшиеся ранее для захоронения, теперь *утилизируют*. Это позволяет эффективно решать вопросы охраны окружающей среды и резко повысить рентабельность производства.

ГЛАВА 5
ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

В современной технике наибольшее применение находят сплавы железа. Так, например, в машиностроении на их долю приходится более 90 % от общей массы применяемых металлов. Важнейшими сплавами железа являются чугун и сталь.

Черная металлургия - отрасль тяжелой промышленности по производству чугуна, стали, проката, ферросплавов, а также стальных и чугунных изделий.

5.1. Источники загрязнения атмосферы

Загрязнения атмосферы воздуха выбросами предприятиями черной металлургии с полным металлургическим циклом следует рассматривать по отдельным видам производства:

- коксохимическое,
- доменное,
- сталеплавильное.

Выбросы коксохимического производства

Коксование - метод переработки жидких и твердых горючих ископаемых нагреванием при 900-1050 ^{o}C без доступа воздуха. Топливо при коксовании разлагается с образованием летучих веществ (до 25%) и твердого остатка. Основные продукты коксохимии: *кокс каменноугольный* (76-78 %), *коксовый газ* (14-15 %), *различные химические продукты* (5-6 %), например бензол, нафталин, антрацен, инден-кумароновые смолы, каменноугольные масла.

В коксохимическом производстве основными процессами, связанными с наибольшими выбросами в атмосферу, являются подготовка шихты, ее транспортировка, загрузка шихты в камеры коксовых печей, коксование, выгрузка готового кокса, его охлаждение, а также производство побочных продуктов коксования.

Уголь из бункера ленточными транспортерами подается в смеситель, а затем в дробилку. После дробления готовая для коксования шихта транспортируется в угольные башни, откуда в вагонах подается к камерам коксовых печей. Коксовые батареи отапливают смесью доменного и коксового газов. Продукты сгорания этих газов выбрасывают в атмосферу через дымовую трубу. Коксовые батареи являются источниками выброса пыли, смол и токсичных газов.

Горячий кокс выгружается в тушильные вагоны, которые доставляют его к тушильным башням, где осуществляется охлаждение его водой. После прохождения через тушильные башни охлажденный кокс сбрасывают на рампу, где он продолжает охлаждаться. На всех вышеперечисленных стадиях происходит значительное выделение пыли, газов и загрязненных паров воды.

Коксовый газ полностью или частично используют для производства различных химических соединений, и это производство также является источником загрязнения атмосферы.

Выбросы от коксохимического производства содержат *оксид углерода* (на порядок больше других примесей), *угольную и коксовую пыль, сернистый ангидрид, цианиды, ароматические углеводороды,*

аммиак, фенол, сероводород (соединения расположены в порядке снижения их содержания).

Выбросы агломерационного производства

Вторым после коксохимического производства по количеству выбросов источником загрязнения при производстве чугуна является отделение подготовки шихты (смесь руды, кокса, флюса) для доменной плавки, основным объектом которого является агломерационная фабрика.

Переработка железных руд с небольшим содержанием железа (40-46 %) связана со значительным расходом топлива, флюсов, снижением производительности доменных печей и, следовательно, с увеличением себестоимости. Поэтому «бедные руды» подвергают обогащению, в результате чего удаляется значительная часть пустой породы и вредных примесей. В зависимости от свойств руды применяют гравитационный, магнитный, флотационный способы обогащения. В результате обогащения получают концентраты с содержанием железа до 65-67 %, представляющие тонкодисперсную фракцию, которая по своим физическим свойствам не может использоваться в доменном процессе. Следовательно, следующим этапом рудоподготовки является агломерация.

Схема процесса спекания (образование агломерата) следующая: из бункеров руда вместе с коксом и флюсами с помощью ленточного транспортера подается к зажигательному горну. Кислород воздуха, просасываемый через шихту, поддерживает горение угля в шихте, необходимое для агломерации. Агломерат с транспортера сбрасывается в дробилку, из которой поступает на грохот (сито) для отделения мелочи. Далее куски определенного размера попадают в роторный холодильник, где охлаждаются воздухом, а мелкие удаляются в контейнер. Охлажденный агломерат подается в накопители агломерата, откуда в вагонах транспортируются в доменный цех.

К крупным источникам пыли при подготовке шихты относятся участки разгрузки руды, размола и грохочения известняка, размола доломита, коксика, руды, дробления агломерата, транспортировки агломерата к вагонам и возвращение остатков агломерата. Причиной повышенного пылевыделения являются низкая влажность шихтовых материалов, которая не должна превышать 8-10 %, и их повышенная сыпучесть. Пыль, образующаяся на складах, крупнозернистая, ее свойства зависят от свойств и состава отдельных шихтовых материалов.

Следует отметить, что свойства выбросов резко отличаются на разных металлургических предприятиях. Даже при агломерации количество выбросов различно по длине агломерационной ленты: в первой половине количество пыли невелико из-за повышенной влажности шихты и недостаточной газопроницаемости шихты

(слипшаяся шихта); во второй половине влажность снижается, агломерат растрескивается, следовательно, увеличивается пылевыделение. Максимальное пылевыделение происходит при сбрасывании агломерата с транспортера (длина транспортера примерно 60 м, ширина 3-5 м, высота шихты 0,3 м). Отходящие агломерационные газы сильно загрязнены *сернистым ангидридом, пылью, содержат оксид и диоксид углерода, кислород*; температура газа 110-145 °С. Пыль содержит примерно 38 % связанного железа (Fe_3O_4, Fe_2O_3), 0,37 % металлического железа, оксиды и карбонаты кальция и магния $CaO+CaCO_3$, MgO, оксиды натрия и калия Na_2O+K_2O, оксиды кремния и алюминия SiO_2, Al_2O_3, соединения марганца цинка, фосфора MnO_2, ZnS, P_2O_5.

При сбрасывании агломерата с транспортерной ленты с температурой 500-700 °С и дальнейшем его охлаждении воздухом также выделяется пыль.

Выбросы на участке агломерации составляют 10-20 % от количества загрязнений всего предприятия.

Выбросы доменных цехов

Процесс выплавки чугуна в доменной печи заключается в восстановлении оксидов железа углеродом, оксидом углерода и водородом. Углерод поступает в доменную печь в составе кокса, пылевидного топлива, вдуваемых газов, водород - в составе природного газа, мазута и других добавок.

Доменную печь сверху последовательно загружают шихтой: железной рудой, смешанной с флюсами, затем коксом, опять железной рудой и т. д. Снизу вдувают нагретый воздух, обогащенный кислородом; кокс сгорает:

$$\mathbf{C + O_2 = CO_2 + 402\ кДж}$$

В результате этой экзотермической реакции температура достигает 1850 °С. Образующийся диоксид углерода, поднимаясь, соприкасается с раскаленным углем и реагирует с ним:

$$\mathbf{CO_2 + C = 2CO}$$

Оксид углерода является основным восстановителем железа из его оксидов, хотя в этом процессе участвует также и твердый углерод, содержащийся в коксе. Восстановление железа оксидом углерода происходит последовательно: $\mathbf{Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4\ (Fe_2O_3 \cdot FeO) \rightarrow FeO \rightarrow Fe.}$

Частично восстанавливаются также из оксидов марганец, кремний, фосфор и сера. Восстановленное железо в жидком состоянии растворяет эти вещества, и образуется жидкий чугун.

В железной руде содержатся тугоплавкие примеси. Для того чтобы их расплавить и удалить, к загружаемым в доменную печь железной руде и коксу добавляют так называемые *флюсы* или *плавни.* Они образуют с примесями легкоплавкие соединения, называемые *шлаками.* Обычно руда содержит оксид кремния (SiO_2), потому в качестве флюсов применяют известняк или доломит, взаимодействующий с оксидом кремния с образованием легкоплавкого силиката кальция — одной из составных частей шлака:

$$\mathbf{CaCO_3 = CaO + CO_2}$$
$$\mathbf{CaO + SiO_2 = CaSiO_3}$$

Основным продуктом доменного процесса является *чугун*, содержащий кроме железа 3-5 % C; 0,3-2,5 % Si; 0,5-6,0 % Mn; 0,08-2,2 % P; 0,03-0,12 % S. Дополнительными продуктами процесса являются *доменный газ*, содержащий 60 % N_2, 30 % CO, 10 % CO_2 и много пыли. После удаления пыли этот газ используют для подогрева воздуха и как горючий газ. Кроме этого, дополнительным продуктом является *доменный шлак*, состоящий из алюмосиликата кальция и используемый для приготовления щебня, гравия, шлакобетона, пенобетона, шлаковаты и др.

Доменное производство сопровождается выделением больших количеств пыли и газов в процессе загрузки шихты, выпуска шлака и чугуна из доменной печи. При загрузке шихты в доменную печь выделяется большое количество пыли (десятки кг/ч, размер частиц 0,2-100 мкм). Выпуск чугуна и шлака из печи сопровождается выделением оксида углерода, диоксида серы, различных углеводородов, цианистых соединений. Источниками газовыделения могут быть также трещины в кладке и кожухе доменной печи, неплотности соединений отдельных элементов конструкций.

Временным фактором является также наличие высоких концентраций пыли в воздухе рабочей зоны при выпуске чугуна и шлака. Максимальные пылевыделения наблюдаются из главного желоба при выпуске чугуна. В зоне чугуновозного ковша образуется облако пыли, состоящее в основном из графита мелких фракций. Наиболее эффективным средством борьбы с пылью является устройство аспирации.

Вместе с доменным газом из печи выносится пыль, внесенная вместе с шихтой, и пыль, образующаяся при трении столба шихты в самой доменной печи (механическая пыль). Пыль состоит из оксидов железа, кремния, алюминия, магния, кальция, марганца, может быть и сера. Основные составляющие доменного шлака (CaO, MgO, SiO_2, Al_2O_3) обладают очень высокой температурой плавления, и в доменной печи нет условий для их возгонки. В доменной шихте содержится небольшое количество цинка, который уже при 900 °С испаряется, пары его в верхней части печи окисляются и оседают на стенках колошника (конденсирующаяся пыль), образуя наросты, мешающие работе печи. Часть оксидов цинка и цинк в пылеобразном состоянии удаляются вместе с газами в газопровод.

В доменной печи создаются условия для перехода оксидов и силицидов калия и натрия в карбонаты, цианиды, иногда в сульфиды и хлориды. Карбонаты и цианиды образуются в зоне высоких температур, могут вступать в реакции со шлаком и чугуном и частично уноситься газами.

Расплавленные чугун и шлак являются источником интенсивных тепловых излучений. Конструкционные элементы доменной печи также являются источником значительных тепловых выделений в производственное помещение. Для снижения вредного воздействия тепла на организм человека устанавливают стационарные или неподвижные вентиляционные установки, чаще всего с устройствами для водораспыления.

К вредным производственным факторам относятся также повышенные уровни шума, вибраций при проведении некоторых операций, однако доля воздействия их на формирование условий труда по сравнению с остальными вредными факторами производства является незначительной.

Выбросы сталеплавильных цехов

В сталеплавильном производстве образование токсичных выбросов связано в основном с выплавкой стали в конверторах, в мартеновских и электросталеплавильных печах. Сюда же следует отнести и вспомогательные отделения сталеплавильных цехов.

Передел чугуна в сталь основан на удалении из него серы и фосфора, а также снижении содержания углерода и кремния посредством окисления. Эти примеси нежелательны, так как сера придает стали *красноломкость* (при горячей механической обработке в ней образуются трещины), а фосфор - *хладноломкость* (хрупкость при обработке в обычных условиях).

Процесс окисления примесей, содержащихся в чугуне, довольно сложный. Объясняется это тем, что при соприкосновении кислорода с жидким чугуном окисляются не только примеси, но и железо:

$$S+O_2 \rightarrow SO_2$$
$$4P+5O_2 \rightarrow 2P_2O_5$$
$$Si+O_2 \rightarrow SiO_2$$
$$2C+O_2 \rightarrow 2CO$$
$$2Fe+O_2 \rightarrow 2FeO$$
$$2Mn+O_2 \rightarrow 2MnO$$

Образовавшийся оксид железа (2+) тоже принимает участие в окислении примесей. Для удаления оксидов кремния и фосфора к перерабатываемому чугуну добавляют известь:

$$CaO+SiO_2 \rightarrow CaSiO_3$$
$$3CaO+P_2O_5 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2$$

Образовавшиеся силикат и ортофосфат кальция - легкоплавкие вещества, они в виде шлака всплывают на поверхность расплавленной стали. После окончания окислительных реакций обычно в стали еще остается некоторое количество оксида железа (2+), который ухудшает ее свойства. Для его удаления в расплавленную сталь добавляют так называемые *раскислители,* например ферромарганец. Силикат марганца (2+) удаляется в виде шлака:

$$FeO+Mn \rightarrow MnO+Fe$$
$$MnO+SiO_2 \rightarrow MnSiO_3$$

Существует несколько способов переработки чугуна в сталь. Все они основываются на рассмотренных выше окислительно-восстановительных реакциях.

Кислородно-конверторный способ

При переработке чугуна в сталь по этому методу процесс окисления примесей осуществляется в больших металлических сосудах грушевидной формы, так называемых конверторах. Основное достоинство этого способа заключается в том, что он экономичен. Для поддержания нужной температуры в конверторе не требуется сжигать топливо. Необходимая температура (около 1700 °С) достигается в результате экзотермических реакций окисления примесей. При замене воздуха кислородом окисление примесей протекает очень быстро.

После окончания процесса наклоняют конвертор, сливают шлак и выпускают готовую сталь.

В этом процессе имеют место следующие вредные производственные факторы: тепловыделения от технологического оборудования и расплавленных металла и шлака; выделение газов, образующихся при продувке конвертора; выделение пыли, образующейся при транспортировке сыпучих материалов, продувке конвертора, сливе стали и шлака из конвертора, ломке футеровки конвертора и ковшей.

В современных конверторных цехах содержание газов в воздушной среде незначительно, токсичные газы (CO, SO_2) в основном выделяются при продувке конвертора, сушке отремонтированных конверторов и ковшей, при выпуске чугуна и стали. В конверторных газах до 90 % CO, поэтому его направляют после очистки от пыли в котлы-утилизаторы, а оставшийся газ сжигают или используют как топливо или химическое сырье.

Среднее количество пыли, содержащейся в конверторных газах, составляет 25-30 кг/т. Около 80 % пыли имеет размер до 5 мкм, 5-15 % - 1 мкм. Образующаяся в период продувки бурая пыль почти на 100 % состоит из оксидов железа. В небольшом количестве в ней содержатся следующие соединения: Na_2O, CaO, MnO, ZnO, PbO, Cr_2O_3. Пыль также выделяется при перегрузке шихтовых материалов, кладке конверторов и ковшей, при ремонте.

Мартеновский способ

При производстве стали этим способом окисление примесей осуществляется в мартеновской печи. Температура в печи составляет 1700-1750°С. Но в мартеновской печи в отличие от кислородного конвертора воздух (или воздух, обогащенный кислородом) пропускают не через расплавленный чугун, а над ним, следовательно, примеси окисляются только с его поверхности. Внутри расплавленной массы окисление примесей происходит за счет кислорода оксидов железа, содержащихся в железном ломе. Преимущество мартеновского способа заключается в том, что процесс переработки чугуна в сталь можно легко контролировать и получать стали различных марок. В мартеновских печах удобно перерабатывать и железный лом.

При выплавке стали выделяются значительные количества пыли и газа в производственное помещение, кроме этого к вредным производственным факторам относятся тепловые и световые излучения, а также шум и вибрация.

Высокая температура в рабочем пространстве мартеновской печи приводит к испарению металла и шлака и последующей конденсации с образованием пыли мелких фракций. В печи создается постоянное избыточное давление, поэтому часть газов, а следовательно, пыли выходит через различные неплотности. При заливке чугуна в печь, выпуске, раскислении и разливке стали также выделяется много пыли, количество которой, ее химический и гранулометрический составы зависят от состава и свойств шихтовых и заправочных материалов, топлива и применяемых для футеровки огнеупоров. Пыль в основном состоит из *оксидов железа*. Если в состав шихты входит обрезь белой жести, то в пыли, выносимой из печи, до 50 % оксида цинка. Кроме этого в пыли обычно содержатся SiO_2, CaO, MgO, Al_2O_3, MnO, реже P_2O_5, CuO, Cr_2O_3, SnO_2, SbO_3, TiO_2, CaF_2. В пыли и газах могут присутствовать и соединения серы, содержащиеся в мазуте, применяемом для отопления печей. В отечественной и зарубежной практике еще не найдены удовлетворительные конструктивные решения по организации пылеулавливания при заливке чугуна в печь и выпуске из нее стали.

Выделение газов происходит при открывании окон печи, при выпуске и раскислении стали в ковше, а также в результате неплотностей огнеупорной кладки, нарушения целостности газовых коммуникаций. Газы содержат: 14-18 % CO_2, 2-5 % O_2, 0,5 % CO, 70 % N_2. Наиболее опасный газ CO образуется в результате неполного сгорания топлива, химических реакций в процессе плавки, а также является составной частью коксового газа, идущего на отопление мартеновской печи.

Твердые отходы - шлак спускают через отверстие в полу рабочей площадки в коробки и ковши.

Источниками излучения являются факел пламени, нагретая до высоких температур огнеупорная футеровка внутреннего пространства печи и поверхность расплавленного металла (шлака), воздействие которых проявляется при открытых окнах печи. Кроме того, источниками излучений являются заливаемый чугун, жидкий шлак, скачиваемый из печи, расплавленный металл при выпуске и разливке стали. Все источники излучения имеют температуру более 500 ^{o}C, поэтому спектр излучения содержит световые и инфракрасные лучи. Вредное воздействие теплового излучения мартеновских печей выше, чем в других цехах. Для защиты от тепловых излучений и создания необходимых условий труда в мартеновских цехах применяют: тепловую изоляцию поверхностей, излучающих тепло; ускоренное проведение операций, связанных с заливкой чугуна, скачиванием

шлака, выпуском и разливкой стали; тепловую изоляцию рабочих мест; естественную и механическую вентиляцию и водораспыление на рабочих местах.

Производство стали в электропечах

В электропечах необходимая температура (около 2000 °С) достигается с помощью *дугового метода*. Это позволяет получать высококачественные легированные стали с высокими температурами плавления. Кроме того, сооружение электропечей обходится значительно дешевле, чем мартеновских.

В период плавления в дуговой печи загрязняющие вещества образуются как под влиянием механических воздействий, так и в результате влияния высокой температуры. Высокая температура дуги приводит к образованию мелкодисперсной пыли. Вследствие нестабильности горения дуги происходит разбрызгивание металла и шлака, что приводит к дополнительному шлакообразованию. Независимо от технологии плавки в пыли всегда присутствует оксид железа (3+).

В период плавки в результате окисления углерода образуется оксид углерода. Увеличение объема газов в рабочем пространстве и увеличение температуры приводит к выделению газообразных продуктов через неплотности в кладке и арматуре. Запыленность газов низкая, колеблется в пределах 0,04-5 г/м^3, что объясняется большим избытком подсасываемого воздуха.

5.2. Очистка газообразных выбросов

Очистка выбросов на коксохимических заводах

Основными источниками загрязнения окружающей среды газами и пылью на коксохимических заводах является оборудование цеха углеподготовки и загрузки угля в коксовые батареи, выбросы коксовых печей, установки тушения кокса, выбросы цеха улавливания химических продуктов коксования.

Для борьбы с запыленнотью в цехе углеподготовки дробильные и помольные установки, узлы пересыпки, сортировки угля и другое оборудование снабжаются аспирационными системами с очисткой воздуха перед выбросом в атмосферу в сухих и мокрых центробежных циклонах.

Для уменьшения вредных выделений из коксовых печей в процессе их загрузки шихтой в последнее время стали применять бездымную загрузку. Сущность ее состоит в создании большого разрежения в

загрузочных отверстиях, которое в значительной мере уменьшает вынос газа с пылью в окружающую среду.

При выдаче готового кокса выделяется много пыли и газа, но применяемые способы борьбы пока малоэффективны. Для уменьшения вредных выделений при тушении кокса его осуществляют сухим способом с использованием инертного газа или воздуха. Установка сухого тушения оборудуется аспирационной системой с очисткой воздуха перед выбросом в атмосферу.

Коксовый газ также подвергается очистке от смол и летучих продуктов, после чего он передается потребителю, а уловленные из него продукты являются ценным химическим сырьем.

Очистка выбросов на агломерационных фабриках

Агломерационные газы поступают в коллектор для выравнивания концентраций поступающих газов и предварительной очистки от крупных примесей, а затем на газоочистку. При очистке газов, отводимых от агломерационных лент, необходимо учитывать наличие сернистого ангидрида в газах. При применении сухих аппаратов газоочистки сернистый ангидрид выбрасывается в атмосферу, при применении мокрых способов очистки часть сернистого ангидрида растворяется в орошающей жидкости, поэтому перед сбросом в канализацию шламовые воды должны подвергаться нейтрализации.

Разгрузочный конец аглоленты закрывают кожухом и оборудуют системой газоочистки, применяют сухие и мокрые способы очистки в циклонах, скрубберах, рукавных фильтрах.

Очистка доменного газа

В процессе выплавки чугуна в доменной печи образуется запыленный газ, его очищают и используют в качестве топлива. Лишь небольшой объем газа, находящийся в межконусном пространстве доменной печи (колошниковый газ), в период загрузки в печь шихтовых материалов выбрасывается в атмосферу. В последнее время появились установки для очистки от пыли и этого газа, направляемого после очистки в коллектор очищенного доменного газа.

Для обеспыливания воздуха, используемого в процессе транспортировки и подготовки шихтовых материалов, применяют аспирационную систему с очисткой воздуха в сухих пластинчатых электрофильтрах.

При сливе чугуна в ковш на литейном дворе печи место слива оборудовано аспирационным укрытием с отсосом воздуха и очисткой его в электрофильтрах.

Очистка выбросов сталеплавильных цехов

Очистка мартеновских газов

Дымовые газы от мартеновской печи отводятся в регенератор, на газоочистку, затем дымососом выбрасываются через дымовую трубу в атмосферу. Для очистки дымовых газов, поступающих от мартеновских печей, используют сухие электрофильтры и скоростные пылеуловители с трубами Вентури. Для безопасности ведения процесса оксид углерода (CO), содержащийся в мартеновском газе, дожигается в специальной камере перед котлом утилизатором.

В миксерном отделении в местах слива чугуна в миксер делают укрытия типа зонтов. Отсасываемый из каждого укрытия воздух очищают в сухих центробежных циклонах или батарейных циклонах. Для достижения ПДК в приземном слое сооружают высокие дымовые трубы, так как сухие центробежные циклоны не улавливают пыль размером меньше 10 мкм. Графитовая пыль плохо смачивается, следовательно, очистка в мокрых аппаратах недостаточно эффективна.

Очистка газов дуговых электросталеплавильных печей

Образующиеся в процессе плавки газы содержат оксид углерода CO, поэтому перед направлением их на очистку CO дожигают в специальном устройстве. Газы содержат и пыль, состоящую из оксидов железа, кремния, алюминия, марганца и кальция. Отходящие газы очищают в сухом пластинчатом электрофильтре или в тканевом рукавном фильтре.

Очистка конверторных газов

В конверторном газе содержится большое количество CO. Поэтому после очистки газ можно использовать как топливо, в этом случае он поступает в специальные емкости, называемые газгольдерами. Если конверторный газ не используется как топливо, содержащийся в нем оксид углерода дожигают и после очистки газ выбрасывается в атмосферу. Конструкция газоотводящего тракта и методы очистки зависят от того, используется ли конверторный газ в качестве топлива или нет.

Газ, отводимый от конвертора с дожиганием оксида углерода, очищается от пыли в системах газоочистки с применением скоростных пылеуловителей с трубами Вентури, тканевых фильтров, сухих и мокрых электрофильтров. В этом случае в газоход подсасывается воздух, приводящий к сгоранию конверторных газов, и на систему

газоочистки поступают продукты сгорания конверторных газов, в газе отсутствует CO, следовательно, обеспечивается безопасная работа.

Отвод конверторного газа без дожигания осуществляется без доступа воздуха в газовый тракт (герметизируют газоход). Ввиду того, что количество конверторных газов в несколько раз меньше продуктов их сгорания, дымовой тракт и система газоочистки получаются меньшими по размеру, а их стоимость и эксплуатационные расходы ниже, чем при отводе и очистке газа с дожиганием CO. Очистку газов по условию взрывобезопасности проводят в аппаратах мокрого типа. Очищенный газ собирают в газгольдеры, а затем используют как топливо.

5.3. Характеристика сточных вод и их очистка

Черная металлургия является одним из крупных потребителей воды. Сточные воды образуются при охлаждении прокатного оборудования, доменных и мартеновских печей, конверторов (49 %); при обработке и отделке металла (12 %); очистке технологических газов и аспирационного воздуха (26 %); гидротранспортировке пыли различной пыли, золы и других материалов (11 %); при обогащении руд, грануляции шлаков и т.д. (2 %).

К условно чистым, т.е. имеющим только повышенную температуру, относятся 60-70 % сточных вод.

Рудообогатительные предприятия

Сточные воды рудообогатительных и агломерационных фабрик характеризуются содержанием хлоридов, сульфатов, ионов кальция и магния. Взвесь сточных вод содержит железо, оксиды кальция, углерод. Размеры частиц велики, взвесь быстро осаждается, но для получения достаточной степени осветления оборотной воды необходима коагуляция. В настоящее время на предприятиях внедряют замкнутую систему водоснабжения на основе повторного использования сточных вод благодаря устройству локальных систем очистки и доочистки.

Коксохимическое производство

Сточные воды образуются в химических цехах (фенольные сточные воды), в процессе тушения кокса, при охлаждении газа коксовых печей (объем воды на орошение газа составляет 5-6 $м^3$/ 1 т шихты, эти стоки используются повторно).

В химических цехах при выделении различных соединений, например бензола из поглотительного масла используют острый пар,

что приводит к образованию сточных вод. Они образуются также в процессе фракционной возгонки смолы, мойке оборудования, пола. Следует отметить, что лишь 3-5 % сточных вод коксохимических производств сбрасывают за пределы заводов. В основном они используются для мокрого тушения кокса, что позволяет сократить или предотвратить поступление вредных веществ в водоемы.

Водоотведение коксохимического производства представляет следующие потоки:

шламовые воды углеобогащения и пылеулавливания на объектах углеподготовительного и коксового цехов,

фенолсодержащие сточные воды – содержание фенолов 0,02 г/л. Кроме летучих с водяным паром одноатомных фенолов, в сточных водах содержатся нелетучие с паром двухатомные фенолы (пирокатехин, резорцин),

загрязненные ливневые стоки.

Наибольший объем загрязненных стоков принадлежит фенолсодержащим сточным водам. В общезаводском стоке коксохимического производства кроме фенолов содержатся *аммиак, сероводород, цианиды, бензолы, смолы*, являющиеся основными носителями канцерогенных веществ (бензпиренов).

В практике очистки сточных вод на отечественных предприятиях используют, как правило, паровую (эвапарационную) и «микробную» (биохимическую) очистку. Первый метод основан на отдувке из сточных вод фенолов острым паром, второй - на использовании специфических культур микроорганизмов.

Паровой метод считается экономичным при исходной концентрации фенолов в воде более 1,8 г/л. К недостаткам этого метода следует отнести сравнительно небольшую степень извлечения летучих фенолов (85-90 %).

Устойчивая работа биохимической очистки на коксохимических заводах и высокая активность бактерий возможны при условии достаточно полного предварительного удаления масел и смол, губительно действующих на фенолоразрушающие культуры. Поэтому первым этапом очистки является осветление, т.е. отделение нерастворимых примесей (взвешенных веществ, смол и масел) в отстойниках. Для улучшения очистки сточных вод от смол и масел применяют коагулянты, например сульфат железа (2+). Затем на маслоотделителях проводят аэрацию воды, при этом отделяются не только эмульгированные масла, но и происходит эффективное окисление сероводорода:

$$2H_2S+O_2=2H_2O+2S+530 \text{ кДж}$$

Уменьшению содержания в сточной воде масел и смол способствует обработка их окислителями (озон, $KMnO_4$).

Доочистка сточных вод осуществляется в биологических прудах (применяют каскад из 3-х прудов) - при этом улучшаются органолептические, санитарные и другие показатели воды.

Доменное производство

Сточные воды образуются при газоочистке доменного газа, гидравлической сборке осевшей пыли в помещении, а также от установок грануляции доменного шлака и разливочных машин.

При очистке газа в скрубберах задерживается до 70 % пыли. Вода увлекает за собой механические примеси (частицы руды, кокса, известняка) и химические соединения (сульфаты, хлориды), а также газы. Стоки окрашены в красно-бурый или коричневый цвет, имеют температуру 40-45 ^oC, для них характерно высокое содержание взвешенных частиц.

Стоки остальных операций (мойка, транспортировка, грохочение и дозировка шихты) загрязнены только механическими примесями.

При грануляции доменного шлака (охлаждение его водой) образуется незначительное количество сточных вод, загрязненных взвешенными частицами и имеющих повышенную температуру до 40 ^oC.

Сточные воды разливочных машин получаются при охлаждении чугуна, разлитого в формы (мульды). Порожние мульды смачивают известковым молоком, предохраняющим от приваривания к ним чугуна при следующей заливке. Поэтому в сток наряду с осколками застывшего чугуна и окалины попадает много негашенной извести, что приводит к высокой щелочности стоков.

Систему водоснабжения доменной газоочистки осуществляют с оборотом воды, ее очисткой в радиальных отстойниках и охлаждением на градирнях или брызгальных бассейнах. Вследствие высокой концентрации свободной углекислоты в доменном газе, переходящей в воду при газоочистке, образуется соответствующее количество карбонатных (CO_3^{2-}) и гидрокарбонатных (HCO_3^-) ионов. Указанные ионы вступают в реакцию с уловленными из шихты ионами кальция и цинка, а также других элементов и кристаллизуются в виде карбонатных отложений $CaCO_3$ на всех сооружениях системы. Борьбу с отложениями ведут механически или гидропневматической очисткой трубопроводов и градирен.

На металлургических заводах действует единая система оборотного водоснабжения для гидроуборки помещений, гидротранспорта пыли от вентиляционных систем и технологических агрегатов. После очистки в отстойниках осветленная вода стекает в резервуар для последующего использования. Обезвоженный шлам, содержащий 50-60 % Fe, является ценным технологическим продуктом.

Сталеплавильное производство

Сточные воды образуются при очистке газов мартеновских печей, конверторов и электросталеплавильных печей, охлаждении и гидроочистке изложниц, установок непрерывной разливки стали и обмывке котлов-утилизаторов.

Сточные воды газоочистки содержат значительное количество взвешенных частиц, взвесь характеризуется мелкодисперсностью и плохо смачивается водой.

Для утилизации тепла отходящих газов почти за всеми мартеновскими, многими прокатными печами и конверторами устанавливают котлы-утилизаторы. В результате периодической обмывки их образуются сточные воды, загрязненные механическими и химическими примесями. Химические загрязнения представляют собой растворимые продукты шихтового уноса.

Для осветления сточных вод газоочисток необходимы отстойники, отстойники-сгустители для первичного сгущения шлама, откачиваемого из отстойников, фильтр-прессы для обезвоживания шлама и, наконец, сушильный барабан для окончательной сушки шлама. Шлам после обезвоживания и сушки вывозят на аглофабрику.

5.4. Отходы металлургического производства

На металлургическом предприятии образуется значительное число отходов (около 3 млн т), из них утилизируется и обезвреживается всего 34 %. Источниками лома и отходов являются доменное производство - выпуск и разливка чугуна на канавах и в чугуновозных ковшах (остатки, брак чушкового чугуна); сталеплавильное - выпуск и разливка стали (литники, недоливки, бракованные слитки, остатки металла в ковшах), зачистка слитков (стружка). Металлургическое предприятие является также и потребителем металлического лома. Для производства мартеновской стали применяется лома до 500 кг/т, кислородно-конвертерной – до 250 кг/т, электростали – до 940, чугуна – до 120 кг/т.

ГЛАВА 6
МАШИНОСТРОЕНИЕ

Оборудование для всех отраслей народного хозяйства, многие предметы потребления изготовляются на машино- и приборостроительных заводах.

Производственный процесс включает в себя как основные действия и процессы, непосредственно направленные на изготовление изделий, так и вспомогательные, обеспечивающие возможность изготовления продукции:

1) получение, транспортировка и хранение материалов и полуфабрикатов;

2) подготовка производства к выпуску продукции;

3) изготовление заготовок (литье, ковка, штамповка и др.);

4) механическая обработка заготовок (изготовление деталей машин);

5) термическая и др. виды обработки, направленные на изменение свойств и эксплуатационных качеств деталей машин;

6) сборка и испытание машин;

7) консервация и упаковка готовой продукции для отправки потребителю.

Технологический процесс изготовления изделий включает литье, обработку давлением, сварку, пайку, термическую, химико-термическую, механическую, гальваническую, электрохимическую обработку и т.д. Кроме этого, в состав машиностроительных предприятий входят испытательные станции, ТЭЦ и вспомогательные подразделения.

Машиностроительное производство отличается исключительным разнообразием создаваемых им загрязнений как материальных, так и энергетических, что обуславливается не меньшим разнообразием исходных материалов, применяемых технологических процессов и видов выпускаемой продукции. При этом характер воздействия разных подразделений завода на окружающую среду различен. Так, цехи металлургического цикла загрязняют главным образом атмосферу, тогда как отходы гальванических и травильных цехов представляют основную опасность для гидросферы, образование же твердых отходов, а также шума и вибрации характерно для большинства технологических процессов машиностроительного производства.

6.1. Загрязнения атмосферы и производственные сточные воды

Литейное производство

Литейное производство - отрасль машиностроения, производящая фасонное и заготовительное литье из различных металлов и сплавов.

Фасонным литьем получают отливки, близкие по форме и размерам к готовым деталям. Заготовительное литье - это слитки, предназначенные для дальнейшей обработки давлением (прокатка, ковка, штамповка и др.) или механической обработки на металлорежущих станках.

Технология производства отливок слагается из следующих основных процессов: изготовления модели будущей отливки, изготовления формы, приготовления жидкого металла, заливки металла в формы, выбивки отливок из формы, обрубки и очистки отливок, контроля отливок.

Наибольшее количество литья производят из серого чугуна – 70 % от массы отливок; далее идет стальное литье (около 20 %), литье из ковкого чугуна (8 %), медных, алюминиевых, титановых и цинковых сплавов.

Чугун имеет относительно невысокую температуру плавления (1100-1200 ^{o}C), хорошую жидкотекучесть, малую усадку (около 1 %), однородную структуру в отливках. Для плавки чугуна применяют вагранки и электропечи. Вагранки представляют собой шахтные печи, в которые загружается шихта, составленная из чушкового чугуна, стального лома, ферросплавов, литейного кокса и флюсов (известняк, плавиковый шпат, бокситы). В нижнюю часть печи подают в качестве топлива кокс, природный газ или их смесь, воздух, подогретый и обогащенный кислородом. За счет тепла от сгорания кокса происходит плавление металлической части шихты, температура поднимается до 1450-1500 ^{o}C. Заливку форм производят при температуре плавления чугуна и выше (1250-1400 ^{o}C): металл выпускают в ковш из копильника вагранки, а затем разливают в литейные формы. В верхней части расплавленного металла скапливается шлак, как более легкий, состоящий из оксидов (SiO_2, MnO, FeO), примесей, вносимых шихтой (песок и др.), кусочков футеровки шахты (кирпич), флюсов, золы топлива.

Литейные свойства сталей ниже, чем у чугуна (усадка 2-3 %), жидкотекучесть стали хуже, чем у чугуна, сталь более тугоплавка (1400-1540 ^{o}C). Сталь для литья выплавляют в кислородных конверторах и в электрических дуговых (более 90 % стали) и индукционных печах.

Формы для заливки могут быть разовыми и многократными (кокиль). Многократные металлические, изготовленные из стали или чугуна, формы выдерживают сотни и тысячи заливок; многократные песчано-цементные, графитные, керамические формы выдерживают несколько десятков заливок (применяются для заливки станин станков, тяжеловесных плит и др.). Для изготовления разовых форм применяются формовочные и стержневые смеси, основной их составляющей, определяющей их огнеупорность, является кварцевый песок (SiO_2 - 90-98,5 %). В состав смеси входят также связующие (глина, цемент, жидкое стекло, термореактивные смолы, битум, канифоль), противопригарочные (молотый каменный уголь, циркон, хромистый железняк), газообразующие (компоненты, способствующие газопроницаемости и податливости смеси: древесные опилки, крупный речной песок с размером зерен 0,25-1,0 мм) составляющие.

Охлажденные отливки выбивают с помощью встряхивающих решеток, вибраторов и других машин; стержни (применяются для образования отверстий в форме) выбивают на пневматических машинах или в гидрокамерах струей воды под давлением 3-10 МПа. Литники от стальных заготовок отделяют газовой резкой, а от чугунных заготовок и от заготовок из цветного литья (сплавы цветного литья выплавляют в электрических дуговых печах, индукционных печах, плазменных газовых печах) - пилами, рубильными молотками. От остатков формовочных смесей отливки очищают обкатыванием их в барабанах или пескоструйными аппаратами, применяют пескогидравлическую очистку (вода и песок, P = 7 МПа), обдирочно-шлифовальные станки с крупнозернистыми шлифовальными кругами.

Наиболее крупными источниками пыле- и газовыделения в атмосферу в литейных цехах являются вагранки, электродуговые и индукционные печи, участки складирования и переработки шихты и формовочных материалов, участки выбивки и очистки литья.

При плавке 1 т металла в открытых чугунолитейных вагранках выделяется 900-1200 м^3 колошникового газа, содержащего *оксиды углерода, серы, азота, пары масел, полидисперсную пыль* и др. Количество выбросов зависит от производительности вагранки и расхода дутья. Оксид углерода выделяется от вагранки и при разливе чугуна в формы. Оксид серы образуется при сжигании коксового газа в сушилках, печах и другом оборудовании. Химический состав ваграночной пыли зависит от состава металлозавалки, топлива, условий работы вагранки. Медианный размер пыли в открытых вагранках при холодном дутье - 70 мкм, при горячем - 20 мкм, а в закрытых вагранках - 35 мкм. При плавке стали в индукционных печах по сравнению с

электродуговыми выделяется незначительное количество газов и в 5-6 раз меньше пыли, по размеру более крупной.

Источниками интенсивного пылеобразования является также оборудование землеприготовительного отделения (дробилки, мельницы, сита и др.), транспортное оборудование, выбивные решетки, очистные барабаны, обдирочно-шлифовальные станки. Установлено, что литейный цех с годовой программой 100 тыс. т литья, оборудованный пылеуловителями со степенью очистки 70-80 % выбрасывает в окружающий воздух до 1 тыс. т пыли в год.

Местными выделениями пыли сопровождаются погрузочно-разгрузочные операции с песком, сушка форм и обрубка отливок. Использование вибрационных машин, гидропескоструйных установок и пневматического ручного инструмента приводит к загрязнению воздуха рабочей зоны литейных цехов (обрубочно-очистных отделений) мелкодисперсной силикозной пылью. Запыленность воздушной зоны достигает 10-50 мг/м^3, доходя иногда до 150 мг/м^3, что в десятки раз превышает ПДК. Сухая пескоструйная очистка отливок в литейном производстве запрещена вообще как процесс наиболее опасный в гигиеническом отношении.

При литье под действием теплоты жидкого металла из формовочных смесей выделяются *бензол, фенол, формальдегид, метанол и другие токсичные вещества*, количество которых зависит от состава формовочных смесей, массы и способа получения отливки и ряда других факторов. Основное количество (80 %) всех газовыделений приходится на первые двадцать минут после заливки металла в формы. К концу первого часа газовыделение практически прекращается.

Основными видами загрязнений сточных вод на машиностроительных предприятиях являются механические взвеси (песок, окалина, металлическая стружка и пыль, флюсы, волокна хлопчатки и т.п.) и минеральные масла.

В литейных цехах вода используется главным образом для охлаждения печей. Основными примесями образующихся сточных вод являются *взвешенные вещества и масла***.** Также вода используется на операциях гидравлической выбивки стержней, транспортировки и промывки формовочной земли в отделениях регенерации, а также на гидротранспорт отходов горелой земли. Образующиеся при этом сточные воды загрязнены глиной, песком, зольными остатками от выгоревшей части стержневой смеси и связующими добавками формовочной смеси. Массовая концентрация взвесей может достигать 5 кг/м^3.

Обработка металлов давлением

Обработкой давлением называют процесс получения изделий, основанный на использовании пластических свойств металлов и их сплавов. Под пластичностью понимают способность металла изменять при давлении свою форму (деформироваться) без разрушения, полученная новая форма сохраняется после снятия нагрузки.

К способам обработки давлением относят прокатку, волочение, прессование, ковку и штамповку.

Для *прокатки* нагретые или холодные заготовки пропускают между вращающимися валками прокатных станов.

Прессование (выдавливание) - металл выдавливают из замкнутой полости через отверстие, в результате чего получается изделие с сечением в форме отверстия. Прессуют медь, свинец, цинк, алюминий, магний и их сплавы, а также сталь из мерных заготовок, нарезанных из сортового проката. Все металлы и сплавы, кроме свинца, прессуют горячими.

Волочение применяют преимущественно для изготовления проволоки диаметром 0,002-4,0 мм. Волочение заключается в протягивании под действием силы заготовки (обычно в холодном состоянии) через отверстие, сечение которого меньше исходного сечения заготовки.

Ковка - обработка металла, находящегося в пластическом состоянии под действием бойков молота (динамическое воздействие). Изготовляют небольшие партии различных по форме и габаритам поковок.

Штамповка позволяет увеличить производительность в десятки раз по сравнению с ковкой, при этом достигается и более высокая точность размеров, и низкая шероховатость поверхности. Но штамповка выгодна лишь в серийном, массовом производстве, когда окупаются затраты на изготовление сложных форм (штампов).

Одним из способов очистки поверхности металла от оксидов является *травление*, сущность которого состоит в химическом растворении оксидов в соответствующих кислотах, а в некоторых случаях в щелочах или в расплавленных солях. При высокой температуре и свободном доступе кислорода на поверхности стальных заготовок образуется окалина, состоящая из трех оксидов: FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4. Указанные оксиды растворяются в травильных ваннах с разной скоростью: скорость уменьшается в ряду FeO, Fe_3O_4, Fe_2O_3. С повышением температуры и концентрации кислоты в травильной ванне скорость увеличивается.

Обычно серная кислота в травильных ваннах применяется в следующих концентрациях: в свежем растворе 15-20 %, в использованном - 4-5 %. Раствор считается непригодным, если концентрация $FeSO_4$ достигает 300-400 г/л. По мере уменьшения концентрации кислоты температуру раствора поднимают от 40 до 80 ^{o}C.

Скорость растворения оксидов железа в соляной кислоте значительно больше, чем в серной, поэтому процесс ведут при комнатной температуре, что предупреждает потери легко летучей кислоты. В свежем травильном растворе содержание соляной кислоты составляет 12-18 %, а в отработанном около 2-4 %.

В последние годы повысился интерес к травлению стали фосфорной кислотой, что определяется высоким качеством очистки поверхности изделия. Более высокая стоимость фосфорной кислоты требует регенерации ее в замкнутой системе травильной ванны.

Для очистки и полирования поверхности специальных сталей и цветных металлов используют травильный раствор из смеси таких кислот, как серная, фосфорная, азотная и плавиковая.

Заготовки из легированных и, в частности, из хромистых и хромоникелевых сталей подвергают в основном электрохимическому травлению, так как с помощью только этого процесса можно получить хорошо очищенную поверхность.

В прокатных цехах источниками загрязнения атмосферы являются прокатные станы, машины огневой зачистки металла, травильные отделения.

При прокатке *пыль* образуется главным образом в результате измельчения окалины валками, при этом 20 % пыли имеет размер частиц менее 10 мкм. Выброс пыли составляет в среднем 200 г на 1 т товарного проката. Если в цехе проката применяется огневая зачистка поверхности заготовки, при которой с помощью горелок на поверхности металла создается температура до 2000 ^{o}C, в результате чего поверхностный слой металла толщиной 1-3 мм расплавляется и частично сгорает, то выход пыли возрастает до 500-2000 г/т. При этом в процессе сгорания образуется большое количество мелкодисперсной пыли (60-65 % пыли с размером частиц 0,5-1,0 мкм), состоящей на 75-90 % из оксидов железа.

Для удаления окалины с поверхности изделий применяют травление в различных кислотах. Суммарное количество воздуха, отсасываемое из аппарата непрерывного травления, составляет 14000-18000 м^3/ч, а среднее содержание кислоты в удаляемом воздухе достигает 2,5-2,7 г/м^3.

При использовании в кузнечно- прессовых цехах пламенных печей в атмосферу выбрасываются *оксиды углерода, серы, азота и другие продукты сгорания.*

Основными примесями сточных вод, используемых для охлаждения технологического оборудования, поковок, гидросбива металлической окалины и обработки помещения, являются *частицы пыли, окалины и масла*. Например, при прокатке металлов образуется 2-4 % окалины от массы прокатываемого металла, при этом масса частиц размером более 1 мм составляет примерно 90 % всей массы окалины.

Сточные воды травильных отделений и гальванических цехов, использующих в технологических целях химические и электрохимические процессы, содержат отходы, наиболее опасные в санитарном отношении. Вода, применяемая для приготовления технологических растворов при травлении деталей, а также для промывки деталей и ванн после сброса отработанных растворов, содержит *пыль, металлическую окалину, щелочи, кислоты, неорганические соли тяжелых металлов - хрома, цинка, никеля, меди*.

В любом травильном отделении образуется два вида сточных вод: концентрированные и разбавленные. Первые являются отходами травильных ванн (отработанные растворы), вторые - промывными водами (в современных травильных отделениях часто применяют противоточную многованную промывку, что обеспечивает рациональное использование воды).

В травильных отделениях, использующих сернокислотный травильный раствор, среднее количество концентрированных сточных вод достигает 10 $м^3$ на 1 т расходуемой кислоты или 0,3-0,6 $м^3$ на 1 т протравленных стальных заготовок. Количество промывных вод в значительной степени зависит от системы промывки вида заготовок. В обычных условиях количество промывных вод колеблется в пределах 0,4-50 $м^3$ на 1 т стальных заготовок.

Механическая обработка металлов

Для обеспечения установленной чертежом точности размеров и шероховатости поверхности большинство деталей машин и механизмов обрабатывают на станках снятием стружки. Стружку снимают с заготовки лезвийными (резцы, сверла) и абразивными инструментами. Обработка металлов снятием стружки включает следующие операции: точение, фрезерование, сверление, строгание, шлифование.

Механическая обработка металлов на станках сопровождается выделением *пыли, стружки, туманов масел и эмульсий.* При работе металлорежущего оборудования всех видов с применением смазочно-

охлаждающих жидкостей (эмульсий, масел) воздух загрязняется аэрозолями этих веществ. За 1 час работы металлорежущего станка в расчете на 1 кВт мощности установленного электродвигателя выделяется 0,2 г масляного тумана или 6,3 мг тумана эмульсола и 150 г паров воды.

Пыль, образующаяся в процессе абразивной обработки, состоит на 30-40 % из материала абразивного круга и на 60-70 % из материала обрабатываемого изделия. Количество выделяющейся пыли зависит от размеров и твердости обрабатываемого материала, диаметра круга (с увеличением диаметра круга возрастает количество выделяемой пыли: при диаметре 300 мм – 155 г/ч, а при 900 мм – 310 г/ ч) и окружной скорости круга, а также способа подачи изделия.

Значительное выделение пыли наблюдается при механической обработке древесины, стеклопластиков, графита и других неметаллических материалов. При механической обработке полимерных материалов одновременно с пылеобразованием могут выделяться *пары различных химических соединений* (фенола, формальдегида, стирола и др.), входящих в состав обрабатываемых материалов.

Вода используется для приготовления смазочно-охлаждающих жидкостей, для гидравлических испытаний оборудования и обработки помещения. Основными примесями сточных вод являются *пыль, металлические и абразивные частицы, сода, масла, мыла.* Содержание в стоках нефтепродуктов может доходить до 1200 мг/л.

Сварка, резка, пайка металлов

Сварка и пайка металлов предназначаются для получения неразъемных соединений заготовок.

Простейший способ сварки (ручная дуговая) основан на использовании электрической дуги. К одному полюсу источника тока гибким проводом присоединяется держатель, к другому – свариваемое изделие. В держатель вставляется металлический электрод. При коротком прикосновении электрода к изделию зажигается дуга, которая плавит основной металл и стержень электрода, образуя сварочную ванну, дающую при затвердении сварочный шов.

При дуговой сварке кислород и азот воздуха активно взаимодействуют с расплавленным металлом, образуя оксиды и нитриды, снижающие прочность сварного шва. Существуют внутренние и внешние способы защиты места сварки: введение различных веществ в материал электрода и электродного покрытия (внутренняя защита);

введение в зону сварки инертных газов, покрытие места сварки сварочными флюсами (внешняя защита).

Наибольшее значение имеет электродуговая сварка без внешней защиты покрытыми плавящимися электродами. Обмазки электродов бывают стабилизирующими, защитными и легирующими. Стабилизирующие обмазки способствуют устойчивому горению дуги (в состав обмазки входит мел, из которого в плазме дуги выделяется кальций, способствующий устойчивому горению дуги). Состав защитных обмазок подбирается так, чтобы вокруг электрода создавалась газовая среда, защищающая металл от окисления и растворения в нем газов. По мере плавления электродов обмазка шлакуется, и шлак, покрывая шов, защищает его от окисления и насыщения азотом. Таким образом, в состав обмазок входят ионизирующие (мел), газообразующие (мука), шлакообразующие (полевой шпат) вещества и легирующие компоненты.

Дуговая сварка в среде защитных газов (диоксида углерода, аргона, гелия) обеспечивает лучшую, чем при сварке покрытыми электродами, защиту шва от воздействия кислорода и азота воздуха, лучшее использование тепла дуги.

Автоматическая сварка под слоем флюса, защищающего наплавляемый металл от воздуха, в 5-10 раз производительнее ручной сварки.

Пайка, как и сварка, предназначена для получения неразъемных соединений заготовок. Особенность пайки состоит в применении припоя, имеющего температуру плавления ниже температуры плавления припаиваемых частей. Части заготовки соединяются вследствие смачивания, взаимного растворения и диффузии припоя и основного материала в зоне шва. Для защиты припаиваемых поверхностей от окисления служат флюсы. Припои для низкотемпературной пайки (до 400 ^{o}C) - олово, свинец, сурьма, цинк, сплав олова и свинца, сплав олова, свинца, висмута и кадмия; для высокотемпературной (выше 400 ^{o}C) - медь ($T_{пл.}$=1083 ^{o}C), серебро ($T_{пл.}$=635-870 ^{o}C). В зависимости от спаиваемых поверхностей применяют различные флюсы, температура плавления флюса ниже температуры плавления припоя:

для пайки стали, меди, никеля используются пасты на основе вазелина, содержащие 10-15 % хлористого цинка или хлористого аммония;

для высокотемпературной пайки стали, чугуна требуются флюсы, содержащие химически активные вещества для удаления оксидов и защиты зоны шва при температурах пайки - флюсы, содержащие буру

$Na_2B_4O_7$, борную кислоту H_3BO_3, фтористый кальций или калий и другие соли.

Резка технологически отлична от сварки и противоположна ей по смыслу; но оборудование, материалы, приемы выполнения операций близки к применяемой сварочной технике. Под термической или огневой резкой подразумевают процессы, при которых металл в зоне резки нагревается до высокой температуры и самопроизвольно вытекает или удаляется в виде размягченных шлаков и оксидов. Наиболее важный и практически распространенный способ – *кислородная резка*, основанная на способности железа сгорать в кислороде. *Дуговая резка* производится угольным или металлическим электродом, резка осуществляется за счет плавления, а не выжигания металла. *Плазменная резка* - наиболее производительный вид термической резки, при котором носителем тепловой энергии являются потоки ионов, а также потоки нейтральных молекул и атомов, образующихся при пропускании аргона, азота, аммиака, воздуха через дуговой разряд в плазменных горелках, называемых плазмотронами. Плазменная струя имеет температуру 5000 - 30000 ºС.

На участках сварки и резки металлов состав и масса выделяющихся вредных веществ зависят от вида и режимов технологического процесса, свойств применяемых сварочных и свариваемых материалов. Наибольшие выделения вредных веществ характерны для процесса ручной электродуговой сварки покрытыми электродами. При расходе 1 кг электродов в процессе ручной дуговой сварки образуется до 40 г пыли, 2 г фтористого водорода, 1,5 г оксидов углерода и азота, в процессе сварки чугунов - до 45 г пыли и 1,9 г фтористого водорода.

При полуавтоматической и автоматической сварке (в защитной среде и без нее) общая масса выделяемых вредных веществ меньше в 1,5-2,0 раза, а при сварке под флюсом - в 4-6 раз.

Сварочная пыль на 99 % состоит из частиц размером от 10^{-3} до 1 мкм. Химический состав выделяющихся при сварке загрязняющих веществ зависит в основном от состава сварочных материалов (проволоки, покрытий, флюсов) и в меньшей степени от состава свариваемых металлов. Сварочный аэрозоль включает *соединения марганца, оксиды хрома, оксид кремния, фториды и др.*

В вентиляционный воздух на участках пайки выделяются токсичные газы (оксид углерода, фтористый водород), аэрозоли (свинец и его соединения), продукты сгорания изоляции проводов (оксиды углерода) и других веществ на поверхности соединяемых деталей (при обжиге фторопластовой изоляции выделяется на 1 г изоляции 3 мг фтористого водорода).

Газовая и плазменная резка металлов сопровождаются выделением пыли и вредных газов. Пыль представляет собой конденсат оксидов металлов, размер частиц которого не превышает 2 мкм. Химический состав определяется в основном маркой разрезаемого материала. При резке обычно выделяются *токсичные соединения хрома, никеля, марганеца, оксиды углерода и азота, а при плазменной резке образуется еще и озон.*

Следует отметить, что в сварочных, монтажных, сборочных цехах сточные воды содержат *механические примеси, маслопродукты, кислоты* в значительно меньших концентрациях, чем в ранее рассмотренных цехах.

Термическая и химико-термическая обработка

Целью термической обработки является изменение свойств сплава путем изменения его структуры в результате теплового воздействия. Сталь с низкой твердостью и прочностью после термической обработки может получить высокие прочностные характеристики, и наоборот, твердая сталь, с трудом поддающаяся обработке, может стать мягкой и пластичной и иметь хорошую обрабатываемость.

Основными видами термической обработки являются закалка, отпуск и отжиг. После отливки, прокатки, ковки и других видов обработки заготовок они охлаждаются неравномерно, результатом чего является неоднородность структуры и свойств в различных частях заготовки, а также появление внутренних напряжений.

Отжигом называют операцию нагрева, выдержки при заданной температуре и охлаждения заготовок. Эта операция приводит к снятию внутренних напряжений, при этом заготовки переходят из неравновесного состояния в равновесное. Температура процесса зависит от вида отжига и колеблется в пределах 200-400 - 1100-1200 ^{o}C. Но при этом нельзя допускать пережога, т. к. при этом кислород воздуха окисляет железо, проникает в толщу его, в результате образуются кристаллиты, разобщенные оксидными оболочками. Пережженные заготовки являются неисправимым браком.

Целью *закалки* стали является повышение твердости и прочности заготовок. Закалка - операция, при которой изделие выдерживается в печи при заданной температуре для полного прогрева по сечению и завершения структурных превращений, охлаждение выполняют в различных закалочных средах (вода, 5 %-й водный раствор $KMnO_4$, 10 %-й раствор NaOH), машинное масло.

Отпуск смягчает действие закалки, снижает или уменьшает остаточные напряжения, уменьшает твердость и хрупкость стали,

повышает вязкость. Проводится после закалки путем выдерживания стали при температуре 200-300 ^{o}C.

Кроме термической обработки для получения поверхностного слоя стальных изделий, обладающего повышенными твердостью, износоустойчивостью, жаропрочностью или коррозионной стойкостью, проводят химико-термическую обработку. Для этого нагретые заготовки подвергают воздействию среды, из которой путем диффузии в поверхностный слой заготовок переходят нужные для получения заданных свойств элементы: углерод, азот, алюминий, хром, кремний и др. Наиболее распространенными видами химико-термической обработки стали являются цементация, азотирование, цианирование.

Цементацией называют процесс поглощения углерода поверхностным слоем заготовки, который после закалки становится твердым, а в середине заготовка остается вязкой. Цементации подвергают изделия, работающие на истирание и удар. При цементации твердыми веществами (карбюризаторами) применяют древесный уголь (С) и карбонаты ($BaCO_3$, Na_2CO_3, K_2CO_3, $CaCO_3$). Заготовки помещают в стальные ящики, засыпают карбюризатором, закрывают ящики (промазывают их глиной) и выдерживают в печи 5-10 часов при температуре 930-950 ^{o}C:

$$\mathbf{BaCO_3 + C = BaO + 2CO}$$

Образующийся оксид углерода диссоциирует на поверхности стальных заготовок с выделением активного атомарного углерода, который адсорбируется и диффундирует в поверхностный слой заготовки.

При газовой цементации применяют газы и газовые смеси, цементацию проводят в герметически закрытых печах при 900-950 ^{o}C.

Азотирование - придание поверхностному слою деталей высокой твердости, износостойкости и коррозионной стойкости.

Азотирование проводят в печах при 500-600 ^{o}C. Активный азот, выделяющийся при диссоциации аммиака, диффундирует в поверхностный слой и образует очень твердые химические соединения - нитриды железа и легирующих элементов (FeN, AlN, MoN). Азотирование на глубину 0,2-0,5 мм продолжается 25-60 ч, и в этом его основной недостаток. Температура процесса относительно низкая по сравнению с цементацией, а твердость поверхности выше.

Цианирование - насыщение поверхности одновременно углеродом и азотом. Различают жидкостное и газовое цианирование. Жидкостное цианирование производится в ваннах с расплавами цианистых солей

натрия, калия, кальция при температуре, достаточной для разложения их с выделением активных углерода и азота:

550-600 °С - низкотемпературное цианирование, расплавы чистых цианидов;

800-850 °С - высокотемпературное цианирование, 20-40 %-е расплавы цианидов с нейтральными солями (хлорид натрия, карбонат натрия) для повышения температуры плавления.

Газовое цианирование отличается от газовой цементации тем, что к газу цементации добавляется аммиак, дающий активные атомы азота.

Вентиляционный выброс из термических цехов обычно загрязнен *парами и продуктами горения масла, аммиаком, цианистым водородом* и другими веществами, поступающими в систему местной вентиляции от ванн и агрегатов для термической обработки. Источниками загрязнения в термических цехах являются также нагревательные печи, работающие на жидком и газообразном топливе, а также дробеструйные и дробеметные камеры, где металл очищается после термической обработки. Концентрация *пыли* в воздухе, удаляемом из этих камер, достигает 2-7 г/м^3. При закалке и отпуске деталей в масляных ваннах в отводимом от ванн воздухе содержится до 1 % паров *масла* от массы металла. При цианировании выделяется до 6 г/ч *цианистого водорода* на один агрегат цианирования.

Для приготовления технологических растворов, используемых при закалке, отпуске и отжиге деталей, а также для промывки деталей и ванн после сброса отработанных растворов и для обработки помещения используют воду. Основные примеси сточных вод - *пыль минерального происхождения, металлическая окалина, тяжелые металлы, цианиды, масла и щелочи.*

Защита металлов от коррозии

На практике применяются следующие способы защиты металлических изделий от коррозии: нанесение металлических и неметаллических покрытий; применение ингибиторов коррозии; использование электрохимической защиты.

Металлические покрытия наносят следующими способами:

горячий способ - погружение в расплавленный металл;

металлизация - нанесение расплавленного металла в газовом пламени или в электрической дуге сжатым воздухом или газом;

плакирование - получение биметаллической ленты, листов, проволоки (основной металл совместно с защитным подвергается прокатке, при которой в результате диффузного взаимодействия создается прочное покрытие);

гальванический способ.

Гальванотехнические методы применяют главным образом для получения защитных, декоративных или обладающих определенными свойствами покрытий из хрома, никеля, меди, цинка, олова, кадмия, а также серебра, золота и других благородных или редких металлов. Гальванические покрытия получают при осаждении на изделии (катоде) положительно заряженных ионов металлов из электролитов при пропускании через них постоянного тока. В качестве анодов применяют металлы покрытия (хром, никель, медь, цинк, олово, серебро, золото), которые в ходе процесса растворяются в электролите и пополняют его катионами, разряжающимися на катоде.

К *неметаллическим* относятся покрытия лаками, красками, эмалями, а также резиной и эбонитом. Лакокрасочные покрытия имеют самое широкое применение для защиты металлоконструкций. Технологический процесс нанесения покрытия заключается в подготовке поверхности, приготовлении лакокрасочных материалов, нанесении покрытий и сушке. Лак - пленкообразующие вещества, растворенные в органических растворителях. При добавлении к лакам пигментов (охра, сурик железный, белила цинковые и свинцовые, окись хрома) получают эмалевые краски.

Для снижения коррозии металлических изделий непосредственно в агрессивную среду вносят *ингибиторы коррозии*.

Электрохимическая защита состоит в искусственном создании на поверхности изделий защитных неметаллических пленок. Чаще всего наносятся оксидные пленки за счет окисления поверхностного слоя металла. Этот процесс называется оксидированием. Наведение оксидных пленок на железе и стали называется воронением в связи с сине-черным цветом покрытия. Для воронения стали наиболее распространен способ погружения заготовок в растворы азотно-кислых солей при 140 ^{o}C. Кроме оксидных пленок на стальных изделиях наводят пленки фосфорно-кислых солей железа и марганца (фосфатирование).

В воздухе, удаляемом из гальванических цехов, вредные вещества находятся в виде *пыли, тонкодисперсного тумана, паров и газов*. Так, при фосфатировании изделий выделяется фтористый водород, концентрация которого в отводимом воздухе достигает 1,2-15 г/м^3. Концентрации HCl, H_2SO_4, HCN, Cr_2O_3, NO_2, NaOH и др. в удаляемом от гальванических ванн воздухе колеблются в значительных пределах, что требует специальной очистки воздуха перед выбросом в атмосферу (локальная очистка). При проведении подготовительных операций в гальванических цехах (механическая очистка и обезжиривание

поверхностей) выделяются *пыль, пары бензина, керосина, трихлорэтилена, туманы щелочей.*

Анализ дисперсного состояния показал, что размер частиц находится в пределах 5-6 мкм при травлении, 8-10 мкм при хромировании и 5-8 мкм при цианистом цинковании.

Токсичные вещества в окрасочных цехах выделяются в процессе обезжиривания поверхностей органическими растворителями перед окраской, при подготовке лакокрасочных материалов, при их нанесении на поверхность изделий и сушке покрытия. Воздух, удаляемый вентиляционными отсосами от окрасочных камер, сушильных установок и других устройств, всегда загрязнен *парами растворителей* (до 10 г/м^3), а при окраске распылением еще и *окрасочным аэрозолем* (до 1 г/м^3). При окраске изделий порошковыми полимерными материалами в вентиляционном воздухе содержится пыль. Концентрация вредных веществ в вентиляционных выбросах, удаляемых с мест окраски, зависит от состава и расхода лакокрасочных материалов, способа их нанесения на окрашиваемую поверхность, устройства вентиляции, окрасочного оборудования, метода окрашивания.

Для выбора технологии очистки сточных вод гальванотехнические операции чаще всего классифицируют, исходя из химического состава электролитов, являющихся источником образования стоков. Гальванические операции делят на три группы, соответствующие трем видам сточных вод:

- операции, при которых образуются растворы или промывные воды, содержащие цианистые соединения; к ним относятся основные процессы электрохимического выделения металлов из их *цианистых солей* (цинкование, кадмирование, меднение, серебрение), а также операции промывки после этих процессов;

- операции, при которых растворы или промывные воды содержат *хромистые соединения;* к ним относятся процессы хромирования, хромистой пассивации и операции промывки после этих процессов;

- операции, при которых растворы и промывные воды (имеющие преимущественно кислую реакцию) не содержат цианистых или хромистых соединений, к ним относятся некоторые вспомогательные работы - обезжиривание и травление.

Химический состав и концентрация загрязняющих веществ в сточных водах варьируются в широком диапазоне в зависимости от характера производства. Около 40 % стоков составляют хромсодержащие сточные воды. По концентрации сточные воды гальванических цехов, аналогично стокам травильных отделений,

разделяются на концентрированные (электролиты) и разбавленные (промывные воды). Количество первых значительно меньше, чем вторых, однако массовая концентрация загрязняющих веществ (200-250 г/л) в сотни раз выше, чем в промывных водах (100-200 мг/л), что обусловливает целесообразность регенерации содержащихся в электролитах ценных компонентов.

Концентрация примесей *(органические растворители, масла, краски)*, поступающих в сточные воды из окрасочных отделений, колеблется в пределах 0,1-0,3 кг/м^3.

Таким образом, анализ состава загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу машиностроительными предприятиями, показывает, что кроме основных примесей атмосферы (CO, SO_2, NO_x, C_nH_m, пыль) в выбросах содержатся и другие токсичные соединения, которые почти всегда оказывают отрицательное воздействие на окружающую среду. Концентрация вредных веществ в вентиляционных выбросах часто невелика, но из-за больших объемов вентиляционного воздуха валовые количества вредных веществ, поступающие в атмосферу, весьма значительны. В течение суток выбросы производятся неравномерно. Из-за небольшой высоты выброса, рассредоточенности и, как правило, плохой очистки они сильно загрязняют воздух на территории предприятий. Поскольку ширина санитарно-защитных зон для машиностроительных заводов обычно не превышает 100 м даже при наличии в составе завода литейных цехов, то возникают большие трудности в поддержании чистоты воздуха зон, примыкающих к предприятию.

Основными загрязняющими веществами сточных вод машиностроительных предприятий, за исключением отделений травления и гальванотехнических покрытий, являются механические взвеси и минеральные масла.

6.2. Загрязнение почвы отходами машиностроительных предприятий

Твердые отходы имеют ограниченную номенклатуру и довольно постоянны по составу, хотя количество отходов того или иного вида может колебаться в широких пределах в зависимости не только от масштабов производства, но также от характера применяемой технологии и выпускаемой продукции.

Твердые отходы содержат амортизационный лом, образующийся при модернизации оборудования, инструмента; отходы от производства

проката (обдирочная стружка, обрезки, стружки, окалины); отходы производства литья (литники, шлаки, сор и др.); отходы механической обработки (обрезки, стружки, опилки); шлаки, золы, шламы, осадки и пыли (отходы систем очистки воздуха). Твердые отходы составляют 260 кг на 1 т металла, иногда эти отходы составляют 50 % массы обрабатываемых заготовок. Безвозвратные потери на 1т потребляемых черных металлов составляют: 5,4 кг - при обдирке, шлифовке, распиловке и других видах обработки; 2,1 кг – при ковке, горячей штамповке и термической обработке (потери от окалины); 14 кг – при травлении металла; 15,2 кг - за счет неполного сбора отходов. Окончательными отходами считаются такие, переработка которых нерентабельна из-за незначительного содержания в них металлов. Эти отходы переводятся в отвальные шлаки.

Шламы из отстойников очистных сооружений и прокатных цехов содержат большое количество твердых материалов, концентрация которых составляет от 20 до 300 г/л. После обезвреживания и сушки шламы используют в качестве добавки к агломерационной шихте или удаляют в отвалы. Шламы термических, литейных и других цехов содержат токсичные соединения свинца, хрома, меди, цинка, а также цианиды.

В небольших количествах промышленные отходы могут содержать ртуть, вылитую из вышедших из эксплуатации приборов и установок. Отходы производства, технология переработки которых еще не разработана, складируют и хранят до появления новой (рациональной) технологии переработки отходов.

6.3. Энергетическое загрязнение

По шуму и вибрациям машиностроение является «чемпионом» среди других отраслей промышленности. Технологические процессы, сопровождаемые интенсивным шумом, используются практически на всех этапах производственного цикла. В ряде случаев уровни звукового давления на рабочих местах превышают допустимые по санитарно-гигиеническим нормам значения на 10-30 дБ. Нередко применяемое технологическое оборудование и механизированный инструмент создают также сильные вибрации.

В сталеплавильном производстве главным источником шума является основное оборудование - печи и конверторы. В мартеновских цехах уровни звукового давления находятся в пределах 74-103 дБ. Уровень звукового давления при работе электропечи лежит в пределах 104-115 дБ.

Прокатные цехи являются наиболее шумными по сравнению с другими цехами, звуковое давление в прокатном производстве может достигать 118-122 дБ.

В литейных цехах источниками интенсивного шума и вибрации являются формовочные машины и выбивные решетки, колебания металлических частей которых, возникающие при ударах встряхивающего механизма о станину, создают шум с уровнем 105-115 дБ в широком спектре частот. Не меньше шума создают шаровые мельницы, пескометы, вибрационные сита и трамбовки. Весьма шумным является участок обрубки и зачистки отливок пневмозубилами и наждачными кругами.

Шум основного технологического оборудования кузнечно-прессовых и штамповочных цехов, оказывающего на заготовки ударное действие молотов и механических прессов, является наиболее интенсивным по сравнению со всеми другими шумами машиностроительных предприятий, достигая 115-130 дБ. Паровоздушные и пневматические молоты издают помимо механических также аэродинамические шумы. Кроме того, это оборудование вызывает значительную общую вибрацию.

Весьма шумными являются и другие виды кузнечно-прессового оборудования, особенно те из них, на которых пластическая деформация осуществляется в холодном состоянии: рубильные машины, ножницы, обрезные, гвоздильные и другие автоматы и полуавтоматы. Уровень шума при их работе достигает 105-115 дБ.

Значительного уровня (105 дБ) может достигать шум, создаваемый сварочной аппаратурой.

Общий уровень звукового давления в механических, ремонтных и инструментальных цехах, создаваемый металлорежущим оборудованием, находится в пределах 85-100 дБ. Наиболее высокие уровни шума зарегистрированы при работе крупных токарных, сверлильных, фрезерных и шлифовальных станков (шум средне- и высокочастотный). Основными источниками шума при работе металлорежущих станков являются элементы их приводов – электродвигатели, зубчатые и ременные передачи, подшипники, особенно при наличии износа, перекосов и дисбаланса движущихся частей, а также сам процесс резания и вибрации. На участках заточки режущего инструмента общий уровень шума составляет 85-90 дБ.

Широко применяемые на различных этапах обработки и сборки ручные механизированные инструменты, главным образом пневматические (сверлильные машины, перфораторы, зубила),

являются источниками не только интенсивного шума (88-118 дБ), но также сильной локальной вибрации.

Источниками шумов и вибраций высоких уровней являются также вентиляционные системы, насосы, компрессорные установки. Последние создают особенно большой шум, производимый выходящими в атмосферу засасывающими и стравливающими воздуховодами и корпусами компрессоров.

6.4. Очистка выбросов в атмосферу

Следует отметить, что каких-либо универсальных рецептов, радикально решающих проблему борьбы с загрязнением окружающей среды, пока, к сожалению, не существует.

Задача промышленной газоочистки заключается в извлечении вредных веществ из организованных газовых выбросов от стационарных источников.

Во многих случаях, например при работе конверторов, вагранок, дробилок, грохотов, травильных и гальванических ванн, при обрубке и зачистке отливок, при обработке резанием текстолита, пластмасс, стеклопластиков и других хрупких пылящих материалов, необходимо принятие специальных мер во избежание выделения вредных веществ непосредственно в атмосферу цехов и производственных помещений. Улавливание вредных примесей непосредственно в источнике их выделения является залогом не только улучшения гигиенических условий труда, но и высокой эффективности пыле- и газоочистных установок. Так, в сварочных цехах наряду с традиционными местными отсосами в виде вытяжных зонтов применяются усовершенствованные конструкции местных отсосов, а также малогабаритные вакуумные пылегазоприемники, встроенные непосредственно в сварочное оборудование (например, в газовую горелку). Такие устройства компактны, дешевы и имеют высокую эффективность.

При различных процессах обработки пылящих материалов резанием: точении, сверлении, фрезеровании, шлифовании, полировании целесообразно использовать полые резцы, свела, фрезы и другие режущие инструменты, являющиеся одновременно стружкопылеприемниками, через которые образующиеся отходы отсасываются из зоны резания.

При проектировании новой или модернизации существующей установки следует стремиться полностью изолировать источник выделения загрязняющих веществ воздуха от окружающей среды. В качестве примера можно привести новый способ борьбы с испарениями

гальванических ванн. Так, на поверхности зеркала испарения ванн хромирования создается постоянно действующее укрытие: поверхность электролита покрывают слоем шариков и линз, изготовленных из стойких пластмасс, или вводят в ванну дополнительные химические вещества для образования устойчивой пены.

Многочисленные способы очистки промышленных газов от механических примесей основаны на применении двух групп методов: механических и физических. К механическим методам очистки относятся гравитационная и инерционная сепарация, мокрая очистка (промывка) газов, фильтрация через различные пористые материалы. К числу физических методов относятся осаждение в электрическом поле и акустическая коагуляция. Осуществляемую в обеспыливающих устройствах очистку можно разделить на грубую и тонкую. Для грубой очистки, позволяющей удалять частицы с размером более 10 мкм, применяются гравитационные и сухие инерционные пылеуловители, а также некоторые фильтры контактного действия. Тонкая очистка, при которой задерживаются частицы размером менее 10 мкм, выполняется инерционными пылеуловителями с применением воды, скрубберами Вентури, большей частью контактных фильтров и электрофильтрами.

Химическая очистка технологических и дымовых газов от содержащихся в них газообразных компонентов (диоксида серы, сероводорода, хлора, хлористого водорода) осуществляется методами адсорбции, абсорбции и хемосорбции (химической абсорбции).

Адсорбция представляет собой процесс поглощения газов или паров поверхностью твердых тел (активированного угля, силикагеля) и применяется при незначительном содержании паро- и газообразных компонентов в очищаемом газе.

При абсорбции происходит конвективная диффузия паро- и газообразных компонентов очищаемого газа в жидкие поглотители. Абсорбцию применяют в основном для очистки вентиляционного воздуха, отсасываемого от травильных и гальванических ванн.

Хемосорбция заключается в промывке очищаемого газа растворами, вступающими в химические реакции с содержащимися в газе отдельными газообразными компонентами, что позволяет извлечь их. Применяется в основном для очистки технологических газов от сероводорода, хлора, а главное, от диоксида серы.

В машиностроении чаще используют абсорбцию и хемосорбцию.

6.5. Очистка производственных сточных вод

Для очистки стоков машиностроительных предприятий применяются механические (процеживание, отстаивание, фильтрование), химические (нейтрализация, коагуляция, флокуляция), физико-химические (флотация, отдувка, электрохимические методы) и комбинированные методы.

Все стоки машиностроительных предприятий можно разделить на 5 групп, объединяющих различные по химической природе, но одинаковые с точки зрения технологических приемов очистки стоков загрязняющие вещества:

группа 1 - механические примеси, в том числе гидроксиды металлов;

группа 2 - нефтепродукты и эмульсии;

группа 3 - летучие нефтепродукты;

группа 4 - моющие растворы и эмульсии;

группа 5 - растворенные токсичные соединения неорганической и органической природы (ионы металлов, цианиды, соединения хрома).

Для 4 и 5 групп стоков необходима локальная очистка, для первых трех групп локальная очистка возможна, но не обязательна. Для выравнивания качественной и количественной неоднородности общих стоков в схемах очистки предусматриваются специальные емкости - усреднители, после которых следует основная очистка стоков известными методами.

Удаление взвешенных частиц и нефтепродуктов (группы 1 и 2) производят различными методами, к числу которых относятся отстаивание в гравитационном поле (в отстойниках) и в поле центробежных сил (в гидроциклонах), флотация и фильтрование. Выбор того или иного метода осветления зависит от концентрации взвешенного вещества, степени дисперсности его частиц и требований, предъявляемых к очищенной воде. Содержащиеся в сточной воде взвешенные примеси и минеральные масла полидисперсны. При условии приемлемой продолжительности отстаивания эффект очистки от взвесей составляет 50-60 %, а от нефтепродуктов - 50-70 %.

Остаивание, являющееся основным и часто единственным способом очистки от взвешенных частиц и нефтепродуктов, имеет ряд существенных недостатков. Ввиду этого для осветления сточных вод, загрязненных легкими и высокодисперсными взвесями, широко используется флотация. Преимуществом флотации является высокая степень очистки (до 90-98 %) при незначительном пребывании сточных вод (20-40 мин) во флотационных установках. Но даже при самых

эффективных методах флотации содержание взвешенных частиц в воде составляет не менее 10-15 мг/л.

Для сброса в водоемы и для некоторых объектов оборотного водоснабжения такой степени очистки недостаточно, и в этих случаях единственным приемлемым методом дальнейшей очистки является фильтрование через слой зернистого или пористого материала (чаще всего кварцевого песка). Для наиболее тонкой очистки могут быть использованы другие фильтрующие материалы (антрацит, керамзит, пенополистиролы и полиуретаны).

Отстаиванием, флотацией и фильтрованием из сточных вод могут быть удалены взвешенные частицы размером не менее 5 мкм. Для удаления более мелких частиц и для интенсификации осаждения частиц диаметром более 5 мкм применяется реагентная обработка с помощью коагулянтов и флокулянтов. Неорганические коагулянты (сернокислый алюминий, железный купорос, хлорное железо, бентонит) гидролизуются в воде с образованием хлопьев гидроксидов, которые в процессе осаждения сорбируют тонкодисперсные загрязнения, включая коллоидные, тем самым ускоряется процесс осветления. На машиностроительных заводах можно использовать отработанные травильные растворы, содержащие сульфат железа. В этом случае для нормального хода коагуляции и выделения хлопьев гидроксида железа необходимо повышение pH раствора до 8,5-9,0, что достигается добавкой извести в виде 10 %-го известкового молока. Флокулянты (полиакриламид, активированная кремниевая кислота) способствуют образованию более крупных и прочных хлопьев либо интенсифицируют процесс самокоагуляции частиц. Применение реагентной обработки позволяет достичь высокого эффекта очистки сточных вод – на 99,5 % от нефтепродуктов и на 100 % от взвешенных примесей. Однако такая обработка существенно усложняет эксплуатацию очистных сооружений и поэтому целесообразна лишь в тех случаях, когда к очистке предъявляются повышенные требования, - при сбросе очищенных стоков в водоемы и направлении их в разветвленные системы чистой охлаждающей воды.

Пыль, выбрасываемая из сталеплавильных печей и других агрегатов и загрязняющая сточные воды при мокрой очистке газов, содержит до 60 % железа и его оксидов. В этой связи перспективной представляется безреагентная коагуляция ферромагнитных мелкодисперных взвесей, осуществляемая воздействием на сточные воды магнитными полями. Наряду с магнитными коагуляторами в системах очистки железосодержащих сточных вод могут найти широкое

применение и другие магнитные аппараты - фильтры, фильтроотстойники, фильтроциклоны.

Растворенные в воде газы и летучие органические вещества (группа 3) удаляются из сточной воды путем ее аэрирования, т. е. продуванием через сточную воду диспергированного воздуха. При барботировании воздуха через сточную воду пар растворенного компонента диффундирует внутрь воздушных пузырьков и выносится ими на поверхность воды. Такой процесс называется десорбцией или отдувкой. Отдувка допускает утилизацию извлекаемых из сточных вод летучих веществ (например, сорбционными способами). Если утилизация продукта из-за малого его количества нецелесообразна, рекомендуется отработанный газ после скруббера направлять на установку для каталитического сжигания органических паров.

Методы очистки сточных вод (группа 4), содержащих поверхностно-активные вещества (ПАВ), включают: ионный обмен, адсорбцию на инертных материалах и природных сорбентах, коагуляцию с добавлением различных коагулянтов, экстракцию, пенную сепарацию, химическое осаждение в виде нерастворимых соединений, деструктивное разрушение. Выбор и эффективность метода очистки сточных вод от ПАВ зависят от типа и концентрации ПАВ, состава других загрязняющих веществ, требований к степени очистки.

Стоки *гальванических цехов и травильных отделений* (группа 5) представляют собой сравнительно концентрированные отработанные растворы кислот, щелочей, солей и промывных вод. Перед сбросом в водоем в сточные воды добавляются такие вещества, под влиянием которых содержащиеся в стоках кислоты или щелочи нейтрализуются, а другие загрязнения, в основном соли тяжелых металлов, выпадают в осадок. В малых травильных отделениях концентрированные и разбавленные сточные воды смешивают и подвергают нейтрализации и осветлению. В больших травильных отделениях сточные воды разделяют на концентрированные и разбавленные.

Основным реагентом для нейтрализации кислот в сточных водах является гашеная известь (5-10 %-й раствор). При доведении pH до 8-9 наступает нейтрализация содержащихся в стоках кислот и происходит выделение железа и других металлов в виде нерастворимых гидроксидов:

$$H_2SO_4 + CaO + H_2O \rightarrow CaSO_4 + 2\ H_2O$$
$$FeSO_4 + CaO + H_2O \rightarrow CaSO_4 + Fe(OH)_2$$

Другие реагенты (щелочи, сода, аммиачная вода) обычно используются лишь в тех случаях, когда они содержатся в твердых или жидких отходах предприятия. Нейтрализация сернокислотных стоков известью осложняется образованием пересыщенного раствора сульфата кальция, который в виде кристаллического дигидрата (гипса) интенсивно отлагается на стенках трубопроводов, приводя в конечном итоге к их зарастанию, поэтому в таких случаях рекомендуют использование винипластовых или полиэтиленовых труб, регулярное промывание трубопроводов.

Сточные воды, образующиеся в *гальванических отделениях*, подразделяют не только на концентрированные и разбавленные, но также и на соответствующие группы:

- хромистые сточные воды,
- цианистые сточные воды,
- разные сточные воды (кислые и щелочные).

Хромсодержащие стоки обезвреживаются путем восстановления высокотоксичного шестивалентного хрома до менее токсичного трехвалентного раствором сульфита или бисульфита натрия в кислой среде. Трехвалентный хром осаждается в щелочной среде в виде хлопьев гидроксида.

Восстановление соединений Cr^{6+} до Cr^{3+} с помощью $FeSO_4$ протекает по реакции

$$\mathbf{6\ FeSO_4 + 6\ H_2SO_4 + 2\ H_2CrO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 3\ Fe_2(SO_4)_3 + 8\ H_2O}$$

Несмотря на свою дешевизну, сульфат железа все реже применяют в качестве восстановителя, что связано со многими технологическими трудностями. Прежде всего, в процессе хранения в неблагоприятных условиях $FeSO_4$ легко окисляется до $Fe_2(SO_4)_3$, что впоследствии затрудняет правильное дозирование раствора соли железа. Большим недостатком применения солей железа в процессе восстановления хроматов является необходимость использования их с большим избытком, а также образование больших количеств осадков в процессе нейтрализации сточных вод, особенно при применении сульфата железа в качестве восстановителя и известкового молока для нейтрализации сточных вод:

В настоящее время для восстановления соединений Cr^{6+} применяют соответствующие сульфиты или газообразный диоксид серы:

$$\mathbf{6\ NaHSO_3 + 3\ H_2SO_4 + 4\ H_2CrO_4 \rightarrow 2\ Cr_2(SO_4)_3 + 3\ Na_2SO_4 + 10\ H_2O;}$$

$$\mathbf{3\ Na_2SO_3 + 3\ H_2SO_4 + 2\ H_2CrO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 3\ Na_2SO_4 + 5\ H_2O;}$$

$$3\ SO_2 + 2\ H_2CrO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 2\ H_2O$$

Кинетика приведенных реакций в сильной степени зависит от pH реакционной среды. Реакция восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} протекает с удовлетворительной скоростью в сильно кислой среде при pH ниже 3. Исследования показали, что в растворе с pH=2-2,5 Cr^{6+} полностью восстанавливается до Cr^{3+} в течение нескольких минут при использовании 200-250 %-го избытка восстановителя.

Так как восстановление Cr^{6+} до Cr^{3+} протекает в очень кислой среде, то к сточным хромистым водам, реакция которых преимущественно лишь слегка кислая (pH=4-5), добавляют соответствующее количество кислоты. В этом случае нецелесообразно увеличение объема сточных хромистых вод в результате смешивания их с остальными слегка кислыми сточными водами, так как это приведет к значительному расходу кислоты, которая должна быть впоследствии нейтрализована.

Как и в случае цианистых сточных вод хромистые сточные воды после восстановления Cr^{6+} до Cr^{3+} не подвергают индивидуальной нейтрализации, а смешивают с остальными сточными водами и вместе с ними они нейтрализуются. При такой технологии существует опасность повторного окисления Cr^{3+} до Cr^{6+} в том случае, когда количество активного хлора, образующегося в цианистых сточных водах, будет значительно больше количества продуктов нейтрализации хромистых сточных вод. Такая ситуация вполне возможна, хотя на практике и редко встречается. Ее возникновение предупреждают подачей соответственно большего количества восстановителя ($NaHSO_3$) к хромистым сточным водам или устранением избытка активного хлора в цианистых сточных водах с помощью тиосульфата натрия. Для выделения $Cr(OH)_3$ в виде осадка сточные воды нейтрализуют до pH=8,5-9,5.

Цианистые сточные воды

Весьма токсичными являются стоки, содержащие *цианиды.* Самый старый метод основан на выделении ионов CN^- в виде труднорастворимой комплексной соли (осадок берлинской лазури $Fe_4^{3+}[Fe^{2+}(CN)_6]_3$ или турнбулевой сини $Fe_3^{2+}[Fe^{3+}(CN)_6]_2$), образующейся в основной среде в присутствии ионов Fe^{2+}. Качественное удаление цианидов из сточных вод с помощью этого метода возможно лишь в случае очень точной выдержки всех установленных условий реакции и в особенности pH реакционной среды.

Применяемый метод удаления цианистых соединений из сточных вод базируется на их окислении хлором (либо гипохлоритом) в основной среде. Наиболее часто для этой цели применяют гипохлорит натрия, хлорную известь и газообразный хлор.

Реакция окисления цианидов до цианатов протекает в две стадии: сначала образуется хлорциан, который гидролизуется до цианата:

$$CN^- + HOCl \rightarrow CNCl + OH^- \qquad (а)$$

$$CNCl + 2\ OH^- \rightarrow CNO^- + Cl^- + H_2O \qquad (б)$$

Так как хлорциан является сильно отравляющим газом, то в реакционной среде необходимо иметь такие условия, чтобы скорость реакции (б) была больше скорости реакции (а). Такие условия наблюдаются в том случае, когда концентрация цианидов в сточных водах не превышает 1 г/л, температура сточных вод меньше 50 °С и pH выше 8,5.

Несмотря на то, что цианаты примерно в 1000 раз менее токсичны по сравнению с цианидами, все же они требуют дальнейшей нейтрализации, которая может протекать путем дальнейшего окисления до CO_2 и N_2 при pH=7,5-8,5; либо путем их гидролиза до солей аммония при pH ниже 3:

$$CNO^- + 2\ H_2O + 2\ H^+ \rightarrow NH_4^+ + H_2CO_3$$

Гипохлоритный метод окисления цианидов до цианатов применяют при очистке сточных вод гальванических отделений, в которых концентрация цианидов (в пересчете на ионы CN^-) не превышает 100-200 мг/л. Сточные воды с более высокой концентрацией цианидов требуют соответствующего разбавления или других методов нейтрализации ввиду опасности выделения очень ядовитого цианида хлора.

Процесс очистки цианистых сточных вод не заканчивается нейтрализацией содержащихся в них цианистых соединений, так как в них остаются еще соединения тяжелых металлов (цинка, меди, кадмия и других). Когда сточные воды очищают методом полного окисления цианидов, то создаются благоприятные условия для полного выделения гидроксида металла в виде взвеси. При проведении же процесса гидролиза цианатов до солей аммония в кислой среде необходима добавочная нейтрализация кислот для создания условий, благоприятствующих образованию и выделению взвеси гидроксида металла.

Так как в полнопрофильных гальванических отделениях образуются также и остальные две группы сточных вод (хромовых и кислых с основными), то индивидуальное выделение и удаление взвеси гидроокиси тяжелых металлов из цианистых сточных вод не применяют. Эту операцию проводят на смешанных сточных водах. Поэтому наиболее часто применяют обработку сточных цианистых вод методом гидролиза до солей аммония, чем их окисление до CO_2 и N_2. Этот метод более простой и дешевле в эксплуатации.

Кислые и щелочные сточные воды

Эти группы сточных вод образуют промывные воды и периодически сливаемые отработанные электролиты, в которых не образуются цианистые и хромистые соединения. Это в основном растворы, служащие для обезжи-ривания, травления, никелирования, лужения, фосфатирования и т. д. Характерной чертой таких вод является содержание детергентов и сэмульгированных жиров, образующихся при обезжиривании металлических предметов, подвергаемых гальванотехнической обработке. Эти вещества, хотя и не затрудняют процесса нейтрализаци сточных вод, но оказывают влияние на качество их очистки. Вероятно, в отношении детергентов проблема может быть решена с помощью так называемых мягких детергентов, легко поддающихся биологическому разложению в водохранилищах. Масляную эмульсию же можно задержать путем фильтрации очищенных сточных вод через кокс или другой подобный пористый материал. Учитывая, однако, трудности, связанные с удалением масляной эмульсии из смешанных сточных вод, необходимо избегать подачи замасленных обезжиривающих растворов в канализационную сеть. Их следует направлять за пределы гальванических отделений на специально отведенную для этой цели площадку.

Для нейтрализации сточных вод, а более точно для коррекции их реакции, применяют 10 %-й раствор известкового молока или 10-20%-й раствор серной или соляной кислоты. Часто применяют отходы химической промышленности. Нейтрализованные сточные воды подвергаются затем осветлению в отстойниках или в центрифугах.

Смешанные сточные воды

Как уже было отмечено, основной целью смешивания предварительно очищенных цианистых и хромистых сточных вод с кислыми и основными сточными водами является использование способности взаимно частичной нейтрализации этих сточных вод. pH смешанных сточных вод может быть изменен в широких пределах: от

кислой до основной.

Коррекция реакции сточных вод до заданного значения pH имеет целью создание условий, обеспечивающих полное выделение гидроксодов тяжелых металлов, часто присутствующих в сточных водах гальванотехнических ванн. В области значений pH от 8,6 до 9 концентрация ионов металлов, образующихся в сточных водах гальванических процессов, находится ниже 10^{-5} моль/л, за исключением ионов Pb^{2+}, Zn^{2+}, Cd^{2+} и Ni^{2+}. Такая степень очистки сточных вод, отводимых в городскую канализацию или в водоем, вполне достаточна. В тех случаях, когда необходимо дальнейшее снижение концентрации этих ионов (Pb^{2+}, $Zn^{2}+$, Cd^{2+} и Ni^{2+}), pH очищенных сточных вод повышают до 10, а затем, после выделения взвеси гидроксидов тяжелых металлов, корректируют реакцию сточных вод до значения pH=9. Для удаления взвеси, возникающей в процессе нейтрализации сточных вод, их направляют в отстойники или в сепараторы, откуда они после осветления поступают в водосборник.

Среди методов очистки сточных вод гальванических отделений, имеющих промышленное значение, внимание заслуживают, кроме уже упоминаемых химических методов, ионообменные и электрохимические методы.

6.6. Утилизация твердых отходов

Металлические отходы (металлолом и металлическая стружка) являются главным видом отходов машиностроения и металлообработки. При этом около 96 % всех отходов составляют черные металлы и только 4 % - цветные. Существует два пути утилизации металлических отходов: без переплава и с переплавом. Утилизация без переплава подразумевает перераскрой листового металла с целью изготовления мелких и средних по размерам деталей из отходов более крупных. Переработка металлических отходов с переплавом является основным путем их утилизации. Выплавка вторичных металлов из амортизационного лома представляет собой самую крупную сферу потребления твердых отходов в промышленности (1 т чугунного или стального лома может сберечь народному хозяйству 3,5 т минерального сырья: 2 т железной руды, 1 т кокса и 0,5 т известняка).

Образующиеся на машиностроительных предприятиях твердые органические отходы (древесина, пластмассы, резина, ветошь) в сравнительно чистом виде составляют относительно небольшую долю общих отходов. Однако эти же материалы являются основными

составляющими всевозможного производственного мусора. С целью облегчения переработки отходов необходимо организовать раздельный сбор образующихся отходов в специальные контейнеры, тем самым уменьшить количество мусора.

Разнообразные отходы древесины (обрезки, опилки, стружка, тара) могут быть использованы для производства технологической щепы и древесных плит, фанеры и картона.

Остальные твердые отходы встречаются в основном в виде мусора. Для металлосодержащих видов мусора применяется следующая типовая технологическая схема. Мусор пропускается через мусоросжигательную печь, в которой выгорают органические ингредиенты. Затем из остатка, измельченного дроблением, магнитной сепарацией выделяют металлы с последующим разделением черных и цветных металлов. Переработка производственного мусора органического происхождения осуществляется аналогично типовым схемам переработки бытовых отходов.

6.7. Борьба с шумом и вибрацией

В борьбе с производственным шумом и вибрацией применяются, не считая индивидуальных средств защиты, два основных метода: уменьшение шума в источнике его возникновения (активные методы борьбы) и ослабление шума на пути его распространения (пассивные методы).

Уменьшение шума в источнике его возникновения является наиболее радикальным и осуществляется за счет совершенствования технологических операций и применяемого оборудования. Основной способ снижения уровней механических шумов заключается в замене ударных процессов и механизмов безударными. Целесообразно заменять клепку сваркой, обрубку - резкой, ковку и штамповку - прессованием и др.

Ослабление шума на пути его распространения достигается строительно-акустическими способами и осуществляется по двум направлениям:

1) рациональной планировке предприятий и цехов, а также рациональному размещению оборудования;

2) акустической обработке помещений, звукоизоляции, экранированию источников шума, шумопоглощению.

Акустическая обработка помещения основана на использовании явления поглощения звука волокнисто-пористыми материалами. Звукопоглощение представляет процесс трансформации кинетической

энергии колеблющихся частиц воздуха в тепловую вследствие трения слоев воздуха о стенки пор в материале преграды (войлок, фетр, стекловолокно). В качестве звукопоглощающей облицовки обычно применяют изготовленные из однородного пористого материала маты или плиты, укрепляемые на внутренней поверхности ограждения.

Ослабление вибрации на пути ее распространения осуществляется тремя основными методами - виброизоляцией, виброгашением и вибропоглощением. Сущность *виброизоляции* заключается в том, что между источником вибрации и защищаемым объектом помещают упругие элементы - амортизаторы, препятствующие передаче колебаний. *Виброгашение* осуществляется за счет воздействия на защищаемый объект присоединенных к нему дополнительных колебательных систем с определенной массой (самостоятельный фундамент). *Вибропоглощение* заключается в использовании наносимых на вибрирующие поверхности специальных покрытий (пластмасса, фетр, войлок, резина, пенопласт), деформация которых трансформирует колебательную энергию в тепловую.

ГЛАВА 7
ТРАНСПОРТ

7.1. Общая характеристика воздействий транспорта на экосистемы

Транспортно-дорожный комплекс (ТДК) является важнейшим составным элементом экономики России. Однако функционирование транспорта сопровождается мощным негативным воздействием на природу.

Транспорт - один из основных источников загрязнения атмосферного воздуха. Его доля в общем объеме выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных и подвижных источников по России составляет 38 %, что выше, чем доля любой из отраслей промышленности.

По видам транспорта выбросы загрязняющих веществ распределяются следующим образом: 58 % от общего выброса приходится на автомобильный транспорт, 25 % - на железнодорожный, 14 % - на дорожно-строительный комплекс, около 2 % - на воздушный транспорт и менее 1 % - на речной и морской.

Потребление водных ресурсов на нужды транспорта невелико и составляет 1,2 % от суммарного объема водопользования в РФ. Объем сбрасываемых загрязненных сточных вод ТДК составляет малую долю в суммарном объеме сброса загрязненных вод всеми отраслями хозяйства. Например, в 1996 году на автомобильном транспорте было сброшено 7 млн $м^3$ (0,02 % от общего объема сброса), в то время как на объектах жилищно-коммунального хозяйства – 12 071,8 млн $м^3$, в промышленности - почти 7 444,0 млн $м^3$, в сельском хозяйстве – 2 574,1 млн $м^3$.

Земли, занятые под нужды транспорта составляют 12,5 % от общей площади земель несельскохозяйственного назначения.

Таким образом, воздействие транспорта на экосистемы выражается:

в загрязнении атмосферы, водных объектов и земель, изменении химического состава почв и микрофлоры, образовании производственных отходов, в том числе токсичных и радиоактивных, шламов, замазученного грунта, котельных шлаков, золы и мусора;

в потреблении природных ресурсов: атмосферного воздуха, необходимого для протекания рабочих процессов в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) транспортных средств; нефтепродуктов и природного газов, являющихся топливом для ДВС; воды для систем охлаждения ДВС, мойки транспортных средств, производственных и бытовых нужд предприятий транспорта; земельных ресурсов, отчуждаемых под строительство авто- и железных дорог, аэропортов, трубопроводов, речных и морских портов и других объектов инфраструктуры транспорта;

в выделении тепла в окружающую среду при работе ДВС и топливо-сжигающих установок в транспортных производствах;

в создании высоких уровней шума и вибрации;

в возможности активизации неблагоприятных природных процессов типа водной эрозии, заболачивания местности, образования селевых потоков, оползней, обвалов;

в травматизме и гибели людей, животных, нанесении большого материального ущерба при авариях и катастрофах;

в разрушении почвенно-растительного покрова и уменьшении урожайности сельскохозяйственных культур.

Деятельность транспортных предприятий связана с осуществлением перевозок, погрузочно-разгрузочных операций, хранением грузов и выполнением работ по техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава и путей сообщения. Влияние транспорта на окружающую среду проявляется, прежде всего,

в процессе перевозок, при котором потребляются в большом количестве топливно-энергетические ресурсы и происходит значительное выделение загрязняющих веществ. Доля подвижных источников в загрязнении атмосферы, воды и почвы существенно выше (93,8 %), чем стационарных источников (6,2 %).

Основными потребителями природных ресурсов и источниками загрязнения окружающей среды являются транспортные средства. Например, один грузовой автомобиль при годовом пробеге 15 тыс. км сжигает 1,8 т бензина, на получение которого требуется около 3 т нефти. Для образования нормальной горючей смеси в двигателе на 1 кг бензина необходимо 15 кг воздуха. С учетом этого соотношения и процентной доли кислорода в воздухе расчетное количество расходуемого воздуха автомобилем составит 27 т (на 1,8 т бензина), в том числе 5,6 т кислорода.

Загрязнение атмосферы происходит в результате сжигания топлива. Химический состав выбросов зависит от вида и качества топлива, способа сжигания в двигателе и его технического состояния.

Транспортные средства для своей работы используют в основном топливо, получаемое из нефти. Продуктами полного сгорания топлива являются углекислый газ, водяной пар и диоксид серы. При недостаточном поступлении кислорода происходит неполное сгорание, в результате чего вместо углекислого газа образуется угарный газ (CO). Наиболее неблагоприятными режимами работы являются малые скорости и «холостой ход» двигателя, когда в атмосферу выбрасываются загрязняющие вещества в количествах, значительно превышающих выброс на нагрузочных режимах. Техническое состояние двигателя непосредственно влияет на экологические показатели выбросов. Отработавшие газы бензинового двигателя с неправильно отрегулированным зажиганием и карбюратором содержат оксид углерода в количестве, превышающем норму в 2-3 раза.

Отработавшие газы двигателя внутреннего сгорания содержат около 200 компонентов. Период их существования длится от нескольких минут до 4-5 лет. По химическому составу и свойствам, а также характеру воздействия на организм человека их объединяют в группы.

Первая группа. В нее входят нетоксичные вещества: азот, кислород, водород, водяной пар, углекислый газ и другие естественные компоненты атмосферного воздуха.

Вторая группа. К этой группе относят только одно вещество - продукт неполного сгорания топлива оксид углерода или угарный газ.

Третья группа. В ее составе оксиды азота, главным образом оксид азота и диоксид азота. Это газы, образующиеся в камере сгорания ДВС при температуре 2800 °С и давлении около 10 кгс/см^2. При обычных атмосферных условиях оксид азота полностью превращается в диоксид. Диоксид азота - газ бурого цвета с характерным запахом, тяжелее воздуха, поэтому собирается в углублениях, канавах и представляет большую опасность при техническом обслуживании транспортных средств.

Четвертая группа. В эту наиболее многочисленную по составу группу входят различные углеводороды, т. е. соединения типа C_xH_y. В отработавших газах содержатся углеводороды различных гомологических рядов: парафиновые (алканы), нафтеновые (цикланы) и ароматические (бензольные), всего около 160 компонентов. Они образуются в результате неполного сгорания топлива в двигателе. Несгоревшие углеводороды являются одной из причин появления белого или голубого дыма. Это происходит при запаздывании воспламенения рабочей смеси в двигателе или при пониженных температурах в камере сгорания.

Некоторые углеводородные соединения отработавших газов наряду с токсическими свойствами обладают канцерогенным действием. Особой канцерогенной активностью отличается ароматический углеводород бензпирен $C_{20}H_{12}$. Углеводороды под действием ультрафиолетового излучения Солнца вступают в реакцию с оксидами азота, в результате образуются новые токсичные продукты - фотооксиданты, являющиеся основой «смога» (от англ. smoke - дым и fog - туман).

Впервые появление смога было зафиксировано в Лос-Анджелесе в конце 40-х годов XX века. Причиной его явилось чрезмерное загрязнение воздуха промышленными и транспортными выбросами. В 1952 году явление смога, вызвавшее катастрофические последствия, наблюдалось в Лондоне. Его жертвами стали около 4000 человек, погибших из-за увеличения числа респираторных заболеваний.

Пятая группа. Ее составляют альдегиды. В отработавших газах присутствуют в основном формальдегид, акролеин и уксусный альдегид. Наибольшее количество альдегида образуется на режимах холостого хода и малых нагрузок, когда температуры сгорания в двигателе невысокие.

Шестая группа. В нее входят сажа и другие дисперсные части (продукты износа двигателей, аэрозоли, масла, нагар и др.). Сажа образуется при неполном сгорании и термическом разложении углеводородов топлива. Она не представляет непосредственной опасности для здоровья человека, но может раздражать дыхательные

пути. Создавая дымный шлейф за транспортным средством, сажа ухудшает видимость на дорогах. Наибольший вред сажи заключается в адсорбции на ее поверхности бензпирена, который в этом случае оказывает более сильное негативное воздействие на организм человека, чем в чистом виде.

Седьмая группа. Представляет собой сернистые соединения (сернистый ангидрид, сероводород), которые появляются в составе отработавших газов двигателей, если используется топливо с повышенным содержанием серы. Значительно больше серы присутствует в дизельных топливах по сравнению с другими видами топлив, используемых на транспорте.

Восьмая группа. Компоненты этой группы - свинец и его соединения встречаются в отработавших газах карбюраторных автомобилей только при использовании этилированного бензина, имеющего в своем составе присадку, повышающую октановое число.

В качестве присадки, повышающей октановое число, используют антидетонатор - этиловую жидкость, в состав которой входят собственно антидетонатор - тетраэтилсвинец $Pb(C_2H_5)_4$, выноситель - бромистый этил (C_2H_5Br) и α- монохлорнафталин (легкокипящее и легковозгоняемое соединения, образуюшие легколетучие комплексы с тетраэтилсвинцом), наполнитель - бензин, антиокислитель – *n*-оксидифениламин и краситель. При сгорании этилированного бензина выноситель способствует удалению свинца и его оксидов из камеры сгорания, превращая их в парообразное состояние. Они вместе с отработавшими газами выбрасываются в окружающее пространство и оседают вблизи дорог. Накопление свинца в придорожной полосе приводит к загрязнению экосистем и делает близлежащие почвы непригодными к сельскохозяйственному использованию. В настоящее время ставится задача отказаться от использования этилированных бензинов.

Негативное воздействие на экосистемы оказывают не только рассмотренные компоненты отработавших газов двигателей, выделенные в восемь групп, но и сами *углеводородные топлива, масла и смазки*. Обладая большой способностью к испарению, особенно при повышении температуры, пары топлив и масел распространяются в воздухе и отрицательно влияют на живые организмы. В местах заправки транспортных средств топливом и маслом происходят случайные разливы и намеренные сливы отработанного масла прямо на землю или в водоемы. На месте масляного пятна длительное время не произрастает растительность. Нефтепродукты, попавшие в водоемы, губительно воздействуют на их флору и фауну.

Загрязнение окружающей среды стационарными источниками на транспорте происходит от производств, обеспечивающих ремонт транспортных средств, вспомогательных производств, зданий и

сооружений хозяйственно-бытового назначения (котельных, гостиниц, вокзалов, столовых, заправочных станций, топливных складов), мест стоянок транспорта.

Процессы технического обслуживания и ремонта подвижного состава требуют энергетических затрат и связаны с большим водопотреблением и сбросом загрязняющих веществ в водоемы, выбросом загрязняющих веществ в атмосферу и образованием отходов, в том числе токсичных.

Используемые в процессах технического обслуживания и ремонта технологическое оборудование, станки, средства механизации и котельные установки являются *стационарными источниками выделения загрязняющих веществ* (табл. 3).

Газообразные выбросы попадают в воздух чаще в результате работы производственных вентиляционных систем. Отличительной особенностью этих выбросов является наличие в них большого количества *минеральной и органической пыли, аэрозолей, масляного тумана.*

Поверхностные стоки с территорий транспортных предприятий содержат жидкие нефтепродукты, остатки моющих, дезинфицирующих, антиобледенительных и противогололедных реагентов, формовочных смесей, растворов, используемых в металлообработке, отработанные электролиты аккумуляторных батарей, продукты разрушения искусственных покрытий и износа шин. Сточные воды содержат *жидкие токсичные вещества:* бензол, ацетон, кислоты, щелочи, растворенные металлы (алюминий, бериллий, хром и др.), нефтепродукты.

Таблица 3

Стационарные источники выделения загрязняющих веществ

Участок	Используемое оборудование	Выделяющиеся вредные вещества
Участок мойки подвижного состава	Механическая мойка (моечные машины), шланговая мойка	Пыль, щелочи, поверхностно-активные синтетические вещества; нефтепродукты, растворенные кислоты, фенолы

Участок	Используемое оборудование	Выделяющиеся вредные вещества
Зоны технического обслуживания, участок диагностики	Подъемно-транспортирующие устройства, смотровые канавы, стенды, оборудование для замены смазки, комплектующих, система вытяжной вентиляции	Оксид углерод, углеводороды, оксиды азота, масляный туман, сажа, пыль
Слесарно-механическое отделение	Токарный, сверлильный, строгальный, фрезерный, шлифовальный и другие станки	Пыль абразивно-металлическая, стружка, масляный туман, эмульсии
Электротехническое отделение	Заточной станок, электро-лудильные ванны, оборудование для пайки, стенды испытаний	Абразивная и асбестовая пыль, канифоль, пары кислот
Аккумуляторный участок	Ванны для промывки и очистки, зарядные устройства	Промывочные растворы, пары кислот, щелочной аэрозоль
Отделение топ-ливной аппаратуры	Проверочные стенды, специальная оснастка	Бензин, керосин дизельное топливо, ацетон, бензол, ветошь
Кузнечно-рессорное отделение	Кузнечный горн, термические ванны	Угольная пыль; сажа, оксиды углерода, азота, серы, загрязненные сточные воды
Медницкое отделение	Ножницы по металлу, оборудование для пайки	Пары кислот, наждачная и металлическая пыль и отходы
Сварочное отделение	Оборудование для дуговой сварки, ацетилено-кислородный генератор	Минеральная пыль, оксиды железа, оксиды марганца, азота, хрома, хлористый водород, фториды
Арматурное отделение	Электрический и ручной инструмент, сварочное оборудование	Пыль, сварочный аэрозоль, древесная и металлическая стружка, металлические и пластмассовые отходы
Участок шиномонтажа и ремонта шин	Стенды для разборки и сборки шин, оборудование для вулканизации	Минеральная и резиновая пыль, сернистый ангидрид, пары бензина
Участок лакокрасочных покрытий	Оборудование для пневматического или безвоздушного распыления, ванны, сушильные камеры	Пыль минеральная и органическая, пары растворителей и аэрозоли красок, загрязненные сточные воды

Участок	Используемое оборудование	Выделяющиеся вредные вещества
Участок обкатки двигателей	Стенд для обкатки	Оксиды углерода, азота, углеводороды, сажа, сернистый ангидрид
Стоянки и места отстоя подвижного состава	Оборудованная площадка открытого или закрытого хранения	Оксиды углерода, азота, углеводороды, сажа, сернистый ангидрид
Склад топливо-смазочных материалов (ТСМ)	Тара и емкости для хранения, весовое оборудование	Пары и жидкие разливы топлив и масел
Гальваническое отделение	Электролитические ванны	Соляная и серная кислоты, никель, медь, гидроксид натрия, хромовый ангидрид
Котельные	Водогрейные или паровые котлы, оборудование для химочистки воды	Зола, сажа, пыль, сернистый ангидрид, оксид углерода, углеводороды, пятиоксид ванадия

Таким образом, подвижные и стационарные источники ТДК выбрасывают в биосферу загрязняющие вещества всех классов опасности:

1 - чрезвычайно опасные (тетраэтилсвинец, свинец, ртуть и др.);

2 - высокоопасные (марганец, медь, серная кислота, хлор и др.);

3 - умеренно опасные (ксилол, метиловый спирт и др.);

4 - малоопасные (аммиак, бензин топливный, керосин, оксид углерода, скипидар, ацетон и др.).

7.2. Шумовое воздействие транспорта

Основным источником шума в городах является транспорт, и его шумовое воздействие постоянно растет.

Шумом называются любые нежелательные для человека звуки, мешающие труду или отдыху, создающие акустический дискомфорт.

Воздействие шума на живые организмы неоднозначно и отличается степенью восприятия. Объективными показателями шумового воздействия являются интенсивность, высота звуков и продолжительность воздействия.

Интенсивность характеризует величину звукового давления, которое оказывают звуковые волны на барабанную перепонку уха человека и измеряется в децибеллах (дБ).

На уровень шума влияет ряд факторов:

интенсивность транспортного потока

Наибольшие уровни шума регистрируются на магистральных улицах больших городов при интенсивности движения 2000-3000 авт/час. Так, в Москве по основным радиальным и кольцевым магистралям проходят 5000-7000 авт./ч. По данным опросов, автотранспортные шумы ощущают 2 млн. жителей столицы, железнодорожные шумы в черте города - 500 тыс. человек. Повышенную шумовую нагрузку испытывает примерно треть территории Москвы;

скорость транспортного потока

При увеличении скорости транспортных средств происходит возрастание шума двигателей, шума от качения колес по дороге и преодоления сопротивления воздуха;

состав транспортного потока

Грузовой транспорт создает большее шумовое воздействие по сравнению с пассажирским;

тип двигателя

Сравнение двигателей соизмеримой мощности позволяет провести их ранжирование по возрастанию уровня шума: электродвигатель, карбюраторный двигатель, дизель, паровой, газотурбинный двигатель;

тип и качество дорожного покрытия

Наименьший шум создает асфальтобетонное покрытие, затем по возрастающей: брусчатое, каменное и гравийное. Неисправное дорожное покрытие любого типа, имеющее выбоины, раскрытые швы и нестыковки поверхностей создает повышенный шум;

планировочные решения территорий

Извилистость улиц, наличие разноуровневых транспортных развязок и светофоров влияют на характер работы двигателей, а следовательно, и на создаваемый шум. Высота и плотность застройки определяют дальность распространения шума от магистралей. Так, ширина зон акустического дискомфорта вдоль магистралей в дневные часы может достигать 700-1000 м в зависимости от типа прилегающей застройки;

наличие зеленых насаждений

Вдоль магистралей с обеих сторон предусматривают санитарно-защитные зоны, в которых высаживают деревья. Лесопосадки препятствуют распространению шума на близлежащие территории.

Персонал транспортных предприятий, непосредственно занятый в перевозочном процессе и ремонте подвижного состава, работает в

условиях повышенной интенсивности шума. Значения шума, возникающего при движении транспортных средств, которому подвергаются водители и пассажиры, а также люди, оказавшиеся поблизости от движущегося транспорта, представлены в табл. 4. На ремонтных предприятиях транспорта многие производства характеризуются высокими уровнями шумового воздействия.

Высота звука - второй показатель воздействия шума - определяется частотой колебаний среды и измеряется в герцах (Гц). В зависимости от частоты звуковые колебания подразделяются на инфразвуковые (низкочастотные) с частотами менее 20 Гц; акустические (слышимые) с частотами от 20 до 20 000 Гц; ультразвуковые (высокочастотные) с частотами от 20 000 до10^9 Гц; гиперзвуковые (сверхвысокочастотные) с частотами 10^9-10^{13} Гц.

Таблица 4

Интенсивность шума от транспортных средств

Вид транспорта	Интенсивность шума, дБ
Легковой автомобиль	70-80
Грузовой автомобиль	80-90
Автобус	80-85
Поезд метрополитена	90-95
Железнодорожный состав (в 7 м от колеи)	95-100
Железнодорожный состав (у колес)	125-130
Реактивный самолет на взлете	130-160

Ухо человека воспринимает звуковые колебания большого диапазона частот. При превышении значений предела порога слышимости слуховой аппарат вместе со слуховым центром мозга может воспринимать звуковые колебания не только акустического, но ультразвукового и инфразвукового диапазонов.

Значительное физиологическое воздействие на организм человека оказывают неслышимые *инфразвуки,* особенно имеющие большие амплитуды колебаний, которые входят в резонанс с колебаниями внутренних органов и могут ощущаться как боль в ухе. В естественных экосистемах инфразвуковые колебания возникают при землетрясениях, ураганах, штормах и других природных катаклизмах. В искусственных экосистемах они проявляются при работе машин и механизмов: работа компрессорных установок тормозных систем поездов и грузовых автомобилей, тяговых электродвигателей, дизелей, газовых турбин и т. д.

В транспортных процессах инфразвуку, как правило, сопутствуют высокочастотные звуки акустического диапазона, поэтому инфразвук мало ощутим, но от этого не становится менее опасным.

Акустический диапазон включает шумы производственные и бытовые. В акустическом диапазоне высокочастотные шумы считаются более вредными. Транспортные средства создают преимущественно низко- и среднечастотный спектр шума. Например, при движении поезда высота звуков обычно составляет 500-800 Гц.

Ультразвук также вреден для человека, но его воздействие проявляется реже. Ультразвук неслышим для человека, но воспринимается и издается некоторыми животными (летучие мыши, рыбы, насекомые, птицы и др.). Он представляет собой механические колебания в газах, жидкостях и твердых телах. Используется в производственных процессах при металлообработке в ультразвуковых установках, для получения эмульсий, сушки, очистки, сварки, для целей дефектоскопии, навигации, подводной связи. Ультразвук возникает при работе станков, ракетных и иных двигателей. Влияние ультразвука низкочастотного диапазона, характерного для промышленного производства, оказывает действие на организм человека не только в зоне контакта, но и на всю поверхность тела и на вестибулярный аппарат. Даже небольшие дозы ультразвукового облучения этого диапазона при длительных и многократно повторяющихся воздействиях вызывают у работающих слабость, сонливость, снижение работоспособности.

Гиперзвук представляет упругие волны, сходные с ультразвуком. Получают его искусственно, генерируя с помощью специальных излучателей. Распространяется только в кристаллах, в воздухе сильно поглощается. Для транспортных процессов не характерен.

Продолжительность шумового воздействия - третий показатель влияния шума. Большая продолжительность воздействия шума оказывает вредное влияние на слух и общее здоровье человека.

7.3. Специфика влияния видов транспорта на окружающую среду

Автомобильный транспорт

Автомобильный парк России в 1996 году насчитывал 19,6 млн единиц, в том числе 14,7 млн легковых, 4,2 млн грузовых и около 0,7 млн автобусов. Отмечается устойчивая тенденция роста численности автотранспортных средств.

Специфика подвижных источников загрязнения (автомобилей) проявляется:

в высоких темпах роста численности автомобилей по сравнению с ростом количества стационарных источников;

в их пространственной рассредоточенности (автомобили распределяются по территории и создают общий повышенный фон загрязнения);

в непосредственной близости к жилым районам;

в более высокой токсичности выбросов автотранспорта по сравнению с выбросами стационарных источников;

в сложности технической реализации средств защиты на подвижных источниках;

в низком расположении источника загрязнения от земной поверхности, в результате чего отработавшие газы автомобилей скапливаются в зоне дыхания людей и слабее рассеиваются ветром по сравнению с промышленными выбросами и выбросами от стационарных источников транспорта, которые, как правило, имеют дымовые и вентиляционные трубы значительной высоты.

Перечисленные особенности передвижных источников приводят к тому, что автотранспорт создает в городах обширные зоны с устойчивым превышением санитарно-гигиенических нормативов загрязнения воздуха.

На долю автотранспорта в ряде регионов приходится свыше 50 % от общего объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Загрязнение атмосферы передвижными источниками автотранспорта происходит в большей степени *отработавшими газами* через выпускную систему автомобильного двигателя, а также, в меньшей степени, *картерными газами* через систему вентиляции картера двигателя и *углеводородными испарениями бензина* из системы питания двигателя (бака, карбюратора, фильтров, трубопроводов) при заправке и в процессе эксплуатации.

Отработавшие газы автомобилей с карбюраторными двигателями в числе наиболее токсичных компонентов содержат оксид углерода, оксиды азота и углеводороды, а газы дизелей - оксиды азота, углеводороды, сажу и сернистые соединения. Один автомобиль ежегодно поглощает из атмосферы в среднем более 4 т кислорода.

Количество *картерных газов* в двигателе возрастает с увеличением износа. Кроме того, оно зависит от условий движения и режима работы двигателя. На холостом ходу система вентиляции картерных газов, которой снабжены практически все современные двигатели, работает

менее эффективно, что ухудшает экологические показатели автомобилей.

Испарения бензина в автомобиле имеют место при работе двигателя и в нерабочем состоянии.

Испарения бензина в атмосферу возникают не только в передвижных источниках, но и в стационарных, к которым, в первую очередь, следует отнести *автозаправочные станции* (АЗС). Они получают, хранят и реализуют бензин и другие нефтепродукты в больших количествах. Это является серьезным каналом загрязнения окружающей среды, как в результате испарений топлива, так и в результате разливов.

Загрязнение атмосферы по «вине» автомобильного транспорта происходит, кроме того, в результате функционирования авторемонтных предприятий, асфальтобетонных заводов, баз дорожной техники и других объектов инфраструктуры транспорта.

Автодороги являются одним из источников образования пыли в приземном воздушном слое. При движении автомобилей происходит истирание дорожных покрытий и автомобильных шин, продукты износа которых смешиваются с твердыми частицами отработавших газов. К этому добавляется грязь, занесенная на проезжую часть с прилегающего к дороге почвенного слоя. Химический состав и количество пыли зависят от материалов дорожного покрытия. Наибольшее количество пыли создается на грунтовых и гравийных дорогах. Дороги с покрытием из зернистых материалов (гравийные) образуют пыль, состоящую в основном из диоксида кремния. На дорогах с асфальтобетонным покрытием в состав пыли дополнительно входят продукты износа вяжущих битумсодержащих материалов, частицы краски или пластмассы от линий разметки дороги на полосы. Под автодороги отчуждаются значительные земельные площади. Так, на строительство 1 км современной автомагистрали требуется до 10-12 га площади.

Железнодорожный транспорт

На долю железнодорожного транспорта приходится 75 % грузооборота и 40 % пассажирооборота. Такие объемы работ связаны с большим потреблением природных ресурсов и, соответственно, выбросами загрязняющих веществ в биосферу. Однако по абсолютным значениям загрязнение от железнодорожного транспорта значительно меньше, чем от автомобильного. Снижение масштабов воздействия железнодорожного транспорта на окружающую среду объясняется следующими основными причинами:

низким удельным расходом топлива на единицу транспортной работы (меньший расход топлива обусловлен более низким коэффициентом сопротивления качению при движении колесных пар по рельсам по сравнению с движением автомобильных шин по дороге);

широким применением электрической тяги;

меньшим отчуждением земель под железные дороги по сравнению с автодорогами.

Несмотря на перечисленные позитивные моменты, влияние железнодорожного транспорта на экологическую обстановку весьма ощутимо. Оно проявляется, прежде всего, в загрязнении воздушной, водной среды и земель при строительстве и эксплуатации железных дорог.

На железнодорожном транспорте имеется значительное количество стационарных источников выбросов в атмосферу: *локомотивные, вагонные депо, заводы по ремонту подвижного состава*. Более 90 % выбросов приходится на *котлоагрегаты* (котельные, кузнечные производства).

Специфическими для железнодорожного транспорта являются предприятия по подготовке и пропитке шпал, щебеночные заводы, промы-вочно-пропарочные станции.

Шпалопропиточные заводы (ШПЗ) производят подготовку и пропитку антисептиком деревянных шпал, идущих на ремонт и строительство железнодорожных путей. В состав антисептика входят каменноугольное и сланцевое масла. Основными источниками выделения загрязняющих веществ являются пропиточный цилиндр в период откачки антисептика, а также остывающие шпалы в процессе их транспортировки в вагонетках на склад. Процесс обработки шпал сопровождается выделением в воздушную среду *нафталина, антрацена, аценафтена, бензола, толуола, ксилола, фенола*, то есть веществ, относящихся в большинстве своем к 2-му классу опасности. Помимо атмосферы, на шпалопропиточных заводах происходит загрязнение почвы и водоемов. Сточные воды ШПЗ насыщены антисептиком, растворенными смолами, фенолами.

Предприятия по добыче и переработке щебня загрязняют атмосферу минеральной пылью, содержащей свыше 70 % *диоксида кремния*. Сточные воды щебеночного завода образуются при промывке щебня, при мокрой очистке воздуха в аспирационных системах. Они могут представлять опасность для экосистем при попадании в близлежащие водоемы.

В составе вагонных депо либо как самостоятельные предприятия функционируют *промывочно-пропарочные станции*, где производится

очистка цистерн от остаточных нефтепродуктов, сопровождающаяся выделением паров углеводородов в окружающую среду. Образующиеся при промывке цистерн сточные воды загрязнены *нефтепродуктами, растворенными органическими кислотами, фенолами*. Если в цистерне осуществлялась перевозка этилированного бензина, стоки содержат, кроме того, *тетраэтилсвинец.* Для обмывки используется оборотное водоснабжение.

Загрязненные сточные воды образуются и на *пунктах подготовки и обмывки грузовых и пассажирских вагонов.* В сточные воды переходят остатки перевозимых грузов, минеральные и органические примеси, растворенные соли, бактериальные загрязнения. Пункты в основном не имеют оборотного водоснабжения, что резко увеличивает потребление водных ресурсов и загрязнение природной среды.

Воздействие на экосистемы происходит и при строительстве железнодорожных линий.

Рассмотренные экологические последствия влияния железнодорожного транспорта не являются исчерпывающими и могут иметь другие проявления в конкретных ситуациях.

Воздушный транспорт

Специфика влияния воздушного транспорта на окружающую среду состоит в значительном шумовом воздействии и выбросе загрязняющих веществ.

Шум создают авиационные двигатели воздушных судов, вспомогательные силовые установки самолетов, спецавтотранспорт различного назначения, автомобили с тепловыми и ветровыми установками, сделанные на базе отработавших летный ресурс авиадвигателей, оборудование стационарных объектов, на которых производится техническое обслуживание и ремонт летательных аппаратов. Уровни шума достигают на перронах аэропортов 100 дБ, в помещениях диспетчерских служб от внешних источников - 90-95 дБ, внутри зданий аэровокзалов - 75 дБ.

Помимо шумового воздействия, авиация приводит к электромагнитному загрязнению среды. Его вызывает радиолокационная и радионавигационная техника аэропортов и летательных аппаратов, необходимая для наблюдения за полетами самолетов и метеообстановкой. Радиолокационные средства излучают в окружающую среду потоки электромагнитной энергии. Они могут создавать электромагнитные поля большой напряженности, представляющие реальную угрозу для людей.

Загрязнение биосферы продуктами сгорания авиатоплив - еще один аспект воздействия воздушного транспорта на экологическую ситуацию, однако авиация имеет ряд отличительных особенностей по сравнению другими видами транспорта:

использование, в основном, газотурбинных двигателей обусловливает иной характер протекающих в них процессов и структуру выбросов отработавших газов;

применение в качестве топлива керосина приводит к изменению компонентов загрязняющих веществ;

полеты самолетов на больших высотах и с высокими скоростями приводят к рассеиванию продуктов сгорания в верхних слоях атмосферы и на больших территориях, что снижает степень их влияния на живые организмы.

На отработавшие газы авиационных двигателей приходится 75 % всех выбросов гражданской авиации, включающих также атмосферные выбросы спецавтотранспорта и стационарных источников.

Водный транспорт

Снижение объемов грузовых и пассажирских перевозок обусловливает сокращение расходуемого топлива, следовательно, и выбросов загрязняющих веществ судами. Соответствующее сокращение выбросов произошло и на береговых объектах.

При морских перевозках происходит загрязнение моря нефтью и перевозимыми грузами, а также сточными водами, мусором. Помимо танкеров, большую потенциальную опасность представляют суда морского транспорта с атомными силовыми установками и суда атомно-технологического обслуживания. Они могут привести к радиоактивному загрязнению окружающей среды.

Выбросы от стационарных источников морского транспорта в атмосферу представляют в основном продукты сгорания угля, пыль и твердые частицы, образующиеся при перегрузке сыпучих грузов. Морские и речные порты создают локальные зоны загрязнения окружающей среды.

Сточные воды с судов, акватории порта и судоремонтных предприятий содержат хозяйственно-бытовые стоки, фекальные и подсланевые воды. Они характеризуются высоким уровнем бактериального загрязнения. *Подсланевые воды* представляют собой конденсат водяных паров, образующийся из-за перепада температур снаружи и внутри машинного отделения в условиях высокой влажности, а также водные растворы, используемые для обмыва судовых механизмов с растворенными в них топливными фракциями,

отслоениями ржавчины и другими включениями. Попадание подсланевых вод в водоемы приводит к химическому загрязнению водной среды и донных грунтов.

Трубопроводный транспорт

Трубопроводный транспорт предназначен для перекачки нефти, нефтепродуктов, газа с места их добычи к местам потребления. Он включает в себя комплекс различных сооружений: трубопроводы, компрессорные, насосные, дожимные станции.

Воздействие трубопроводного транспорта на экологические системы происходит при строительстве его объектов, в процессе эксплуатации и при возникновении аварийных ситуаций.

Первым аспектом экологического воздействия являются отчуждение земельных ресурсов и вывод их из сельскохозяйственного оборота. Кроме того, нарушаются природные ландшафты. Самовосстановление нарушенного почвенно-растительного покрова в полосе отвода происходит в течение десятилетий, особенно длительны сроки восстановления в северных районах. Иногда полного возобновления растительности вообще не происходит.

Прокладка трубопроводов может осуществляться подземным, полуподземным, наземным и надземным способами.

Подземная и полуподземная прокладка велась на начальных этапах создания трубопроводного транспорта. Но оказалось, что трубопроводы, проложенные этими способами в районах вечной мерзлоты, вызывали оттаивание мерзлотных грунтов из-за нагрева их продуктами перекачки. В результате происходило проседание грунта, и трубы разрывались. Чтобы исключить это перешли на *наземный и надземный способы прокладки.* Наземный способ предполагает устройство специальной насыпи под трубопровод, а надземный - возведение опор. В числе прочих отрицательных моментов прокладка трубопроводов на поверхности земли нарушает миграцию диких животных: нитка трубопровода становится для животных непреодолимым препятствием. Даже трубопровод, проложенный над землей на опорах, отпугивает стада оленей. В настоящее время прокладка трубопроводов ведется подземным способом с применением надежной теплоизоляции. Транспортировка газа производится после предварительного сжатия на компрессорной станции, в результате которого температура газа поднимается до 60 °С, и последующего охлаждения газа до отрицательных температур. Поверхность трубопровода, по которому перекачивается охлажденный газ, также приобретает отрицательную температуру. Такое техническое решение,

исключающее тепловой поток от трубы в грунт, позволяет учесть экологические ограничения применительно к условиям Севера.

В период эксплуатации трубопроводов возможно углеводородное загрязнение атмосферы из-за просачивания газа через трещины, неплотности и разрывы трубопроводов, а также в результате «дыхания» резервуаров. Утечки жидких транспортируемых продуктов приводят к их растеканию и уничтожению флоры и фауны. Они часто сопровождаются пожарами, при которых в атмосферу выделяется большое количество токсичных продуктов сгорания.

Аварии на трубопроводах приводят к залповым выбросам нефти и газа и вызывают загрязнение больших площадей, экстремально высокие уровни вредных веществ в поверхностных водах и почве. Основными причинами аварий являются нарушения технологии изготовления труб и оборудования, коррозионные разрушения трубопроводов, внешние механические воздействия. Поэтому необходимо периодически проводить диагностику трубопроводов, что позволит избежать аварийных ситуаций и повысить экологическую безопасность трубопроводного транспорта.

7.4. Природоохранные мероприятия

Ключевыми проблемами обеспечения экологической безопасности на транспорте являются снижение загрязнения атмосферного воздуха, водных объектов, земельных ресурсов, защита от транспортного шума и вибраций, предупреждение экологических последствий чрезвычайных ситуаций, обеспечение экологической безопасности населения, снижение ущерба природным ресурсам, сохранение качества природной среды, обеспечивающее процессы саморегулирования.

Для реализации политики экологической безопасности проводится комплекс природоохранных мер, подразделяемых на четыре группы: организационно-правовые, архитектурно-планировочные, конструкторско-технические, эксплуатационные. Перечисленные группы мероприятий реализуются независимо друг от друга и позволяют достичь определенных результатов. Но комплексное их применение обеспечит максимальный эффект.

Организационно-правовые мероприятия

Включают создание нормативно-правовой базы экологической безопасности и меры государственного, административного и общественного контроля за выполнением функций по охране природы.

Они направлены на исполнение природоохранного законодательства на транспорте, разработку экологических стандартов, норм и нормативов.

Архитектурно-планировочные мероприятия

Для снижения загазованности воздуха в городах большое значение имеют планировочные мероприятия по застройке, реконструкции территорий и организации транспортного сообщения.

Снижение уровня экологической опасности от воздействия транспорта возможно путем

создания объездных кольцевых железнодорожных и автомобильных дорог;

строительства путепроводов, транспортных развязок на разных уровнях, тоннелей и пешеходных переходов;

расширения магистралей и развития улично-дорожной сети;

внедрения автоматизированных систем управления дорожным движением, позволяющих использовать принцип «зеленой волны» и сократить простои автотранспорта перед светофорами;

организации одностороннего движения на участках городской застройки с узкой проезжей частью;

выделения в центральной части городов территорий с запретом или ограничением на движение большегрузного автотранспорта.

Проблемы экологической безопасности находят свое отражение в *эколого-градостроительных планах* крупных городов.

Архитектурно-планировочные мероприятия по защите водных объектов подразумевают рациональную планировку портов, строительство каналов и шлюзов, проведение дноуглубительных работ, спрямлении фарватеров и судовых трасс.

Конструкторско-технические мероприятия

Направлены на улучшение экологических показателей транспортных средств и сокращение выбросов вредных веществ от стационарных источников.

Конструкторско-технические мероприятия, осуществляемые на подвижном составе, группируются по направлениям:

повышения экономичности двигателей,

снижения массы конструкции,

уменьшения сопротивления движению,

снижения токсичности отработавших газов,

использования экологически более чистых видов топлива,

применения комбинированных источников энергии.

Повышение экономичности двигателей достигается совершенствованием их конструкции и позволяет сократить потребление топлива и, соответственно, снизить выбросы загрязняющих веществ. Одновременно обеспечивается сбережение топливно-энергетических ресурсов, что является еще одной важной экологической задачей. Основой сокращения расхода топлива и выброса вредных веществ является улучшение процесса сгорания в двигателях транспортных средств.

Снижение расхода топлива имеет большое значение в первую очередь для грузовых автомобилей с карбюраторными двигателями большого рабочего объема. Применение на этих двигателях вихревого движения рабочей смеси, улучшающего качество смесеобразования и распределения по цилиндрам, способствует снижению расхода топлива на 5-6 %.

Улучшение рабочего процесса двигателя достигается применением различных устройств в карбюраторе, например, экономайзеры принудительного холостого хода снижают расход топлива на 2 %. Почти все современные карбюраторы оснащены автоматами пуска и прогрева, точное соблюдение температурного режима при пуске и прогреве двигателя способствует снижению расхода топлива.

На некоторых моделях автомобилей, в основном отечественного производства, используются двигатели с форкамерно-факельным зажиганием. При этом способе зажигания обедненная рабочая смесь в камере сгорания двигателя воспламеняется от факела продуктов неполного сгорания, выбрасываемых через сопловые отверстия из дополнительной камеры (форкамеры) малого объема. Это позволяет снизить расход топлива на 8-10 %, содержание оксидов азота и углеводородов в отработавших газах.

В современных условиях наилучшим техническим решением остается применение электронных систем впрыска топлива с точным дозированием топлива по отдельным цилиндрам на всех режимах работы двигателя. Применение таких систем также позволяет снизить расход топлива на 8-10 %.

Дизельный двигатель экономичнее карбюраторного на 20-30 %, токсичность отработавших газов дизеля значительно ниже, поэтому их широко применяют на большегрузных автомобилях, автобусах. Система питания дизельного двигателя обеспечивает более точное дозирование топлива по сравнению с карбюраторными двигателями при различных режимах работы, что наряду с высоким коэффициентом избытка воздуха и высокой степенью сжатия способствует боле полному сгоранию топлива в цилиндрах двигателя и снижению токсичности выбросов (табл. 5).

Высокая топливная экономичность может быть достигнута при использовании и дизельно-газовых двигателей, способных работать попеременно как на дизельном, так и на газовом топливе. Газодизельный двигатель не уступает по мощности дизелю и позволяет экономить в эксплуатации до 80 % дизельного топлива.

Таблица 5

Структура токсичных компонентов при сжигании 1 кг топлива

Основные компоненты отработавших газов	Карбюраторный двигатель		Дизельный двигатель	
	г	%	г	%
Оксид углерода	225	73,8	25	25,5
Оксиды азота	55	18,1	38	38,8
Углеводороды	20	6,6	8	8,2
Оксиды серы	2	0,7	21	21,4
Альдегиды	1	0,3	1	1,0
Сажа	1,5	0,5	5	5,1
Итого	304,5	100,0	98	100,0

Снижение массы конструкции транспортных средств может осуществляться за счет изменения конструкции агрегатов, совершенствования технологических процессов изготовления автомобилей и замены материалов на более легкие. Важность этого направления подтверждается таким примером: на каждую дополнительную тонну снаряженной массы автомобиля расходуется на 100 км пути 2,5 л бензина или 1,6 л дизельного топлива. Снижение собственной массы автомобиля дает экономию энергоресурсов на 8-10 %.

Уменьшение сопротивления движению является важным условием сокращения расхода топлива. Для автомобилей это направление определяется правильным выбором передаточных чисел главной передачи и коробки передач. С увеличением числа передач, применяемых на грузовых автомобилях, возрастают трудности в выборе оптимальной передачи при изменении условий движения, поэтому наблюдается перерасход топлива. Требуется разработка специальных автоматических приборов, сигнализирующих о необходимости включения нужной передачи, что повысит экономичность автомобилей.

При движении с высокой скоростью значительная часть энергии затрачивается на преодоление сопротивления движению в воздушной или водной среде. Эти затраты в воздушной среде прямо пропорциональны квадрату скорости и определяются фактором обтекаемости. Аэродинамические свойства автомобилей повышаются за счет придания обтекаемой формы, правильного расположения груза, установки специальных обтекателей (дефлекторов) на крыше кабины грузового автомобиля, что приводит, в конечном счете, к снижению расхода топлива.

Снижение токсичности отработавших газов достигается рядом технических решений, которые включают установку нейтрализаторов выхлопных газов, фильтров, присадок к топливу.

Системы нейтрализации отработавших газов применяются как дополнительное оборудование, которое без значительных изменений в конструкции двигателя легко встраивается в выпускной тракт двигателя. Различают следующие виды нейтрализации токсичных отработавших газов: термический, каталитический, жидкостный и комбинированный. В самостоятельную группу выделяют способы удаления из газов твердых частиц (сажи).

Термическая нейтрализация вызывает протекание реакций окисления оксида углерода и углеводородов и превращения их в продукты полного сгорания - углекислый газ и пар при высоких температурах.

Каталитическая нейтрализация помимо окислительных реакций предполагает использование и восстановительных - для восстановления оксидов азота в исходные вещества: кислород и азот. В окислительных и восстановительных реакциях могут применяться относительно дешевые оксидные катализаторы на основе меди, марганца, никеля, хрома, но они обладают малой долговечностью и эффективностью. Поэтому распространение получили платино-палладиевые катализаторы.

Жидкостные нейтрализаторы основаны на растворении или химическом связывании токсичных компонентов при пропускании отработавших газов через активную жидкость. В качестве активной жидкостии могут использоваться вода и водные растворы разных веществ, в частности 10 %-й водный раствор сульфита натрия, ингибированный гидрохиноном с целью замедления окисления сульфита натрия кислородом воздуха, и 10%-й водный раствор двууглекислой соды.

В отличие от термического и каталитического нейтрализаторов жидкостный не требует времени для перехода в рабочее состояние после пуска холодного двигателя. Недостатком жидкостного нейтрализатора являются большие масса и габариты, а также необходимость частой смены рабочего раствора.

Оборудование системы выпуска двигателей внутреннего сгорания фильтрами и специальными улавливателями способствует задержанию твердых частиц отработавших газов.

Применение присадок к топливу оказывает заметное влияние на процесс сгорания в дизелях и качество отработавших газов. По

характеру действия присадки к топливу подразделяют на присадки, интенсифицирующие горение, и антидымные.

Интенсификаторы горения повышают цетановое число и уменьшают количество светлого дыма, появляющегося при работе холодного двигателя. В качестве присадок могут использоваться метилацетат, ацетонпероксид, этилнитрат, изоамилнитрат и др. Их целесообразно добавлять к топливу с низким цетановым числом.

Антидымные присадки применяют для уменьшения темного дыма (сажи). Наиболее эффективны присадки, содержащие барий, метилциклопентадиенилтрикарбонилмарганца (МЦТМ) и тетраэтилсвинец. Эти металлосодержащие присадки практически не влияют на выделение дизельными двигателями оксида углерода, но существенно снижают выделение альдегидов, бензпирена и ускоряют выгорание сажи.

Использование экологически более чистых видов топлива на подвижном составе транспорта является радикальным средством снижения загрязнения атмосферного воздуха. С этой целью для карбюраторных и дизельных двигателей разработаны и успешно применяются системы питания, работающие на газовом топливе. В качестве газового топлива для ДВС используют сжиженный нефтяной газ (СНГ) и сжатый природный газ (СПГ).

Сжиженный нефтяной газ получают при переработке нефти как побочный продукт, состоящий в основном из пропан-бутановых фракций. Его выпуск составляет 2-3 % от выхода основной продукции при перегонке нефти. Но этого вполне достаточно для удовлетворения многих потребностей, включая потребности транспортных средств, переведенных на питание нефтяным газом. По калорийной способности нефтяной газ уступает не более чем на 3-4 % бензину, поэтому при переводе карбюраторного двигателя на газ его мощность снижается незначительно.

Сжатый природный газ в качестве основного компонента содержит метан и в небольшом количестве примеси других газов. Сжатый газ хранится в высокопрочных металлических баллонах под давлением 200 МПа. Калорийность природного газа ниже калорийности бензина на 10-15 %.

Применение СНГ и СПГ позволяет снизить токсичность отработавших газов по контролируемым веществам: оксиду углерода в 3-4 раза, оксидам азота в 1,2-2,0 раза, углеводородам в 1,2-1,4 раза.

Применение электрической энергии и комбинированных источников энергии на транспортных средствах позволяет улучшить их экологические показатели и способствует сохранению топливно-энергетических природных ресурсов.

На железнодорожном транспорте успешно используется перевод локомотивного парка на электрическую тягу. Электровозы работают на постоянном и переменном токе и практически не загрязняют атмосферный воздух.

На морских судах применяют энергоустановки, работающие от нескольких дизель-генераторов и обеспечивающие электропривод главного судового винта.

В течение многих лет создаются и испытываются экспериментальные образцы и опытные партии электромобилей, однако не созданы конструкции для серийного производства. Основным препятствием на пути широкого внедрения электромобилей является несовершенство источника энергии - аккумуляторных батарей. Представляет практический интерес комбинированная энергоустановка для автомобилей - сочетание буферного накопителя электроэнергии и мотор-генератора.

Конструкторско-технические мероприятия по защите водных объектов направлены на предотвращение и уменьшение последствий загрязнения водоемов, морей при функционировании транспорта. При разработке водоохранных мероприятий учитывается способность водных объектов к самоочищению, которое происходит в виде естественного процесса распада органических веществ в результате деятельности микроорганизмов. Процесс биохимического самоочищения нарушается токсичными веществами, например металлами, нефтепродуктами, что приводит к кислородному дисбалансу водоема. Поэтому технические мероприятия по борьбе с загрязнением воды должны прежде всего способствовать очистке от токсичных примесей известными методами.

Эксплуатационные мероприятия осуществляются в процессе эксплуатации транспортных средств и направлены на поддержание их технического состояния на уровне заданных экологических нормативов.

Важная роль отводится обеспыливанию дорог и аэродромов. Такая необходимость возникает на дорогах и аэродромах с гравийным, щебеночным, грунтовым покрытиями. Наиболее эффективным способом обеспыливания является нанесение на покрытия органических вяжущих материалов: вязких и жидких битумов, дегтя и смол, нефти, масел, эмульсий и других. В этом случае на поверхности дороги образуется эластичная поверхностная пленка.

Проводится работа по защите земель в полосе отвода транспортных магистралей. На землях полосы отвода железных и автодорог осуществляются лесонасаждение, рекультивация земель с подсыпкой плодородного слоя почвы.

На трубопроводном транспорте разрабатываются и осуществляются меры по ликвидации последствий утечек нефти и нефтепродуктов из трубопроводов и резервуаров. Это же относится и к утечкам газа, который создает взрывоопасные смеси с воздухом.

На стационарных источниках сокращение вредных выбросов достигается внедрением очистных сооружений.

Снижение транспортного шума и вибраций

На комплексное решение проблемы шума направлено составление карты шумового загрязнения города, куда наносятся стационарные и передвижные источники шума. Такая карта может стать основой градостроительных мер по защите жилой застройки от шума. *К градостроительным факторам* относятся этажность и композиция жилой застройки, рельеф местности, озеленение, ширина улицы в линиях застройки. *Транспортно-планировочными* факторами являются ширина проезжей части, ширина тротуара, газонов, разделительных полос, инженерные сооружения по защите окружающей среды.

Шумные промышленные производства и транспортные объекты следует выносить за пределы города на значительное удаление. В их числе аэропорты, крупные сортировочные и грузовые станции, авиаремонтные заводы. Вокруг них создаются санитарно-защитные зоны и зоны ограничения застройки.

Акустическое воздействие автотранспортных потоков, железнодорожных составов, самолетов гражданской авиации очень велико, поэтому постоянно ведутся поиски технических решений и конструкторские работы по снижению шума.

На автомобильном транспорте улучшение акустических показателей достигается за счет сокращения шума от основных источников его образования: двигателя, систем впуска воздуха и выпуска отработавших газов, агрегатов трансмиссии, шин и др. Уменьшение шума двигателя достигается применением в его конструкции нетрадиционных решений, широким использованием в узлах и деталях пластмассы, резины, керамики, алюминия и других композиционных материалов. Системы впуска воздуха оборудуют одно- и многоступенчатыми воздушными фильтрами, которые вместе с эффективной очисткой воздуха осуществляют функцию глушения шума впуска. Системы выпуска отработавших газов ДВС снабжают глушителями выпуска. В последнее время на зарубежных автомобилях устанавливают глушители-нейтрализаторы отработавших газов, обеспечивающие эффективное глушение шума и каталитическую нейтрализацию выбросов.

Шины автомобиля являются источником шума на скоростях движения свыше 50 км/ч. Уровень шума в значительной степени определяется рисунком протектора шины. Гладкий рисунок протектора предназначается для скоростных шин и создает меньший шум. Рельефный рисунок предназначен для движения в условиях низкокачественного дорожного покрытия с малыми скоростями. При движении с повышенными скоростями такие шины создают очень сильный шум.

Кузов автомобиля при движении контактирует своей внешней поверхностью с потоками воздуха, в результате чего образуется аэродинамический шум. Для снижения этого шума разработаны новые компоновочные схемы автомобилей, обтекатели на грузовых автомобилях.

Повышению комфортности и других потребительских качеств автомобилей служит шумоизоляция салона и кабины водителя с применением современных синтетических материалов. Этой же цели служат наносимые на днище и боковые панели кузова, двери, панели моторного отсека вибропоглощающие и противокоррозионные пасты.

Шумовое воздействие автомобильного транспорта во многом определяется профилем дороги и типом покрытия. Наименьший шум регистрируется при движении по асфальтобетону. Другие виды покрытий вызывают прирост шума, особенно на больших скоростях движения. Ведутся работы по совершенствованию технологии строительства, ремонта и содержания автодорог.

На железнодорожном транспорте к конструкторским мероприятиям относятся оборудование маневровых тепловозов глушителями шума, применение резиновых подрельсовых прокладок, переделка звеньевого пути на бесстыковой, совершенствование тормозных устройств, уменьшение массы подвижного состава и др.

На морском и речном транспорте меры по снижению шумового воздействия направлены на защиту пассажиров и команды судна. С этой целью внутренняя планировка составляется с учетом требования максимально возможного удаления кают и салонов от источников шума - гребных винтов, машинного отделения и др. Осуществляется звуко- и виброизоляция помещений.

На воздушном транспорте для снижения шума от двигателей летательных аппаратов применяют конструкторские меры, которые реализуются как на стадии проектирования газодинамического тракта, так и при изготовлении узлов и деталей двигателя в целом. Эти меры, обеспечивая определенный эффект снижения шума, приводят к повышению расхода топлива и увеличению выброса вредных веществ.

Своевременное техническое обслуживание транспортных средств способствует поддержанию деталей конструкций не только в исправном состоянии, но и на заданном уровне шума. Наиболее простой способ снижения шумового воздействия - рассредоточение источников шума по территории аэропорта и их максимально возможное удаление от мест пребывания людей, технологически не связанных с выполнением необходимых работ.

Таким образом, ТДК вносит определяющий вклад в загрязнение атмосферного воздуха России. Особенно существенна его доля по выбросам оксида углерода и углеводородов (3/4 общероссийского объема). Вклад ТДК в загрязнение водных объектов незначителен.

ГЛАВА 8
ЭНЕРГЕТИКА

Бытовые и производственные энергопотребности удовлетворяются следующими видами энергии:

- тепловой (технологические процессы, отопление, кондиционирование воздуха),
- электрической (привод машин, электроаппаратуры, освещение),
- электромагнитной (радиосвязь, телефонная связь, телевидение, приборы).

Электрическая энергия, наиболее универсальная, обеспечивает потребность в электромагнитной и в значительном количестве в тепловой энергии. В настоящее время большая часть энергопотребления покрывается за счет непосредственного сжигания органического топлива в печах. Для объективного выбора приоритета того или иного вида электростанций (тепловых, атомных или гидроэлектростанций) для конкретной территории страны совершенно необходимо иметь четкое представление о экологическом воздействии каждой из них на окружающую среду как конкретного «малого» региона, где они непосредственно расположены, так и дальних соседних регионов.

8.1. Тепловые электростанции

Предприятия, вырабатывающие электроэнергию на базе сжигания органического топлива, называются *тепловыми электростанциями* (ТЭС).

При сжигании топлива химическая энергия превращается в тепловую энергию пара, которая затем в паровой турбине переходит в механическую энергию, а турбогенератор делает ее уже электрической. Тепловой КПД обычной ТЭС весьма низкий и составляет 37-39 %. Почти 2/3 тепловой энергии и остатков бывшего топлива в буквальном смысле вылетают в трубу, нанося вред окружающей среде.

Предприятия, вырабатывающие как электрическую, так и тепловую энергию, называются *теплоэлектроцентралями* (ТЭЦ). Электрическая энергия ТЭЦ подается в электросеть, а тепловая – в теплопроводы. На производство электроэнергии тепловыми электростанциями расходуется менее четверти всех добываемых горючих ископаемых, остальная часть расходуется в основном на получение промышленной и бытовой тепловой энергии.

При сжигании органического топлива в топках *промышленных и коммунальных котлоагрегатах и теплогенераторах* производится тепловая энергия: водяной пар или горячая вода на отопление или горячее водоснабжение.

8.1.1. Выбросы загрязняющих веществ

Тепловые электростанции и теплоэлектроцентрали, вырабатывающие электрическую и тепловую энергию на базе сжигания органических видов топлива, оказывают значительное отрицательное воздействие на окружающую среду. С дымовыми газами электростанций в воздушный бассейн выбрасывается большое число твердых и газообразных загрязняющих веществ, среди которых такие вредные вещества как *зола, оксиды углерода, серы и азота*. Помимо этого в воздушный бассейн попадает огромное количество *диоксида углерода и водяных паров*. При сжигании твердого, жидкого и газообразного топлива вся его масса превращается в отходы, причем количество продуктов сгорания в несколько раз превышает массу использованного топлива за счет включения азота и кислорода (количество отходов в 5 раз больше массы исходного топлива при сжигании газа, в 4 раза больше при сжигании угля).

Существенное влияние на состав образующихся вредных веществ при сжигании топлива оказывают его *вид* и *режим горения*.

Влияние вида топлива

На тепловых электростанциях используется твердое, жидкое и газообразное топливо.

Твердое топливо

В качестве твердого топлива в теплоэнергетике используют угли (бурые, каменные, антрацитовый штыб), горючие сланцы и торф.

Горючая часть топлива включает органическую, состоящую из углерода, водорода, кислорода, органической серы, и неорганическую части (в состав горючей части топлива ряда месторождений входит пиритная сера FeS_2).

Негорючая (минеральная) часть топлива состоит из влаги и золы. Основная часть минеральной составляющей топлива переходит в процессе сжигания в летучую золу, уносимую дымовыми газами. Другая часть в зависимости от конструкции топки и физических особенностей минеральной составляющей топлива может превращаться в шлак.

Зольность отечественных углей колеблется в широких пределах (10-55 %). Соответственно изменяется и запыленность дымовых газов, достигая для высокозольных углей 60-70 г/м^3.

Химический состав золы твердого топлива достаточно разнообразен. Обычно зола состоит из *оксидов кремния, алюминия, титана, калия, натрия, железа, кальция, магния. Кальций* в золе может присутствовать в виде свободного *оксида*, а также в составе *силикатов, сульфатов* и других соединений. Более детальные анализы минеральной части твердых топлив показывают, что в золе в небольших количествах могут быть и другие элементы, например, *германий, бор, мышьяк, ванадий, марганец, цинк, уран, серебро, ртуть, фтор, хлор*. Микропримеси перечисленных элементов распределяются в различных (по размерам частиц) фракциях летучей золы неравномерно, и обычно их содержание увеличивается с уменьшением размеров этих частиц. В составе золы твердых видов топлива могут присутствовать *радиоактивные изотопы калия, урана и бария*. Эти выбросы практически не влияют на радиационную обстановку в районе ТЭС, хотя их общее количество может превышать выбросы радиоактивных аэрозолей на АЭС той же мощности.

Твердое топливо может содержать *серу* в составе молекул органической части топлива, в виде пиритной серы и в виде сульфатов в минеральной части. Соединения серы в результате горения превращаются в оксиды серы, причем около 99 % составляет сернистый ангидрид SO_2. Сернистость углей в зависимости от месторождения составляет 0,3-6,0 %. Наибольшую сернистость имеют топлива европейской части, сибирские угли имеют небольшое содержание серы.

Сернистость горючих сланцев достигает 1,4-1,7 %, торфа – 0,1 %.

Жидкое топливо

В качестве жидкого топлива в теплоэнергетике применяются мазут, сланцевое масло, дизельное топливо.

В состав *золы мазута* входят пентаоксид ванадия (V_2O_5), а также Ni_2O_3, $A1_2O_3$, Fe_2O_3, SiO_2, MgO и другие оксиды. Зольность мазута не превышает 0,3 %. При полном его сгорании содержание твердых частиц в дымовых газах составляет около 0,1 г/м^3, однако это значение резко возрастает в период очистки поверхностей нагрева котлов от наружных отложений.

В жидком топливе отсутствует пиритная сера (FeS_2). *Сера в мазуте* находится преимущественно в виде органических соединений, элементарной серы и сероводорода. Ее содержание зависит от сернистости нефти, из которой он получен. В мазуте, сжигаемом в котельных и на ТЭЦ, содержится много сернистых соединений. При переработке высокосернистой нефти только 5-15 % серы переходит в дистилляционные продукты, остальная часть серы остается в мазуте, сжигание которого в больших количествах на установках нефтеперерабатывающих заводов и крупных ТЭЦ, расположенных вблизи них, связано с большой концентрацией оксидов серы в отходящих дымовых газах.

Газообразное топливо представляет собой наиболее «чистое» органическое топливо, так как при его полном сгорании из токсичных веществ образуются только оксиды азота. При неполном сгорании в выбросах присутствует и оксид углерода (CO).

ТЭС на природном газе экологически чище угольных, мазутных и сланцевых, но нельзя забывать о вреде, который наносит природе добыча газа и прокладка тысячекилометровых трубопроводов, особенно в северных районах страны, где сосредоточены месторождения газа (ущерб тайге, тундре, оленеводству).

Влияние режима горения

При сжигании органического топлива различают 4 режима горения:

- нейтральное (стехиометрическое или полное сгорание топлива при коэффициенте избытка воздуха $\alpha=1$),
- окислительное (полное сгорание при небольшом избытке воздуха $\alpha>1$),
- восстановительное (неполное сгорание при недостатке воздуха $\alpha<1$),
- смешанное (окислительно-восстановительное, характерное для

горения твердого топлива при неравномерном взаимодействии поверхностей его частиц с воздухом, когда $\alpha>1$).

Перечисленные факторы влияют на выброс всех вредных веществ, содержащихся в дымовых газах – золы, оксидов азота, углерода, серы, оксидов ванадия.

Объемы вредных выбросов ТЭС в атмосферу для примера можно характеризовать данными материального баланса угольной ТЭС мощностью 2400 МВт, работающей на угле типа донецкого антрацитового штыба. На такой ТЭС в час сжигается до 1060 т угля (калорийностью порядка 22,7 МДж/кг, зольностью 23 %, сернистостью 1,7 %), из топок котлов удаляется 34,5 т/ч шлака и из бункеров электрофильтров (очищающих дымовые газы от золы на 99 %) - 193,5 т/ч уловленной золы. Уловленная зола и шлак в количестве 228 т/ч попадают в золоотвал электростанции, засоряя и загромождая огромные территории. При этом часовой выброс дымовых газов составляет около 8 млн. $м^3$, содержащих 2350 т углекислого газа, 251 т водяных паров, 34 т сернистого ангидрида, 9,3 т оксидов азота, 2 т летучей золы (при степени очистки золоуловителем 99 %).

Диоксид углерода и пары воды – основные по массе отходы производства – поступают в атмосферу, включаются в природные циклы и поглощаются растительностью в процессе синтеза органических соединений и регенерации кислорода. В этом качестве эти отходы нельзя признать вредными. Однако масштабы использования органического топлива и соответственно выброса диоксида углерода по некоторым оценкам превышают регенерационные возможности растительного мира. В результате наблюдается возрастание в атмосфере удельного веса диоксида углерода, влияние которого выражается не только в токсическом действии на живые организмы, но и в способности поглощать инфракрасные лучи.

Зола, оксиды серы, азота и многие другие компоненты дымовых газов являются вредными веществами, превышение концентрации которых над санитарными нормами в воздушном бассейне недопустимо.

Количество *твердых веществ,* выбрасываемых в атмосферу, определяется зольностью топлива, полнотой сгорания горючей массы, глубиной золоочистки.

При горении сера, присутствующая в органическом топливе, превращается в *диоксид серы*, количество которого определяется сернистостью используемого топлива.

Оксиды азота образуются при горении за счет окисления азота воздуха только при высоких температурах и за счет азота сложных органических соединений, находящихся в топливе. В оксид азота (II) NO переходит 10-30 % топливного азота. На выходе из дымовой трубы диоксид азота (NO_2) составляет 10-15 %, остальные 85-90 % составляет в основном NO. Далее при движении дымового факела в атмосфере количество диоксида азота увеличивается до 60-70 %. Диоксид азота

токсичнее, чем оксид.

В результате сложных реакций в диапазоне температур 700-800 ^{o}C при недостаточном количестве кислорода, подаваемого в зону горения, в дымовых газах образуется полициклический углеводород *бенз(а)пирен* $C_{20}H_{16}$, обладающий канцерогенными свойствами. Агрегатное состояние бенз(а)пирена в дымовых газах – аэрозольное.

При неполном сгорании жидкого топлива в дымовых газах образуются крупнодисперсные липучие *частицы сажи*, состоящие преимущественно из углерода. Сажа способна адсорбировать бенз(а)пирен, в результате чего ее частицы приобретают канцерогенные свойства.

К вредным воздействиям ТЭС следует отнести и выбросы *теплоты*, приводящие к тепловому загрязнению окружающей среды. Энергетический баланс угольной ТЭС складывается таким образом, что потребителю отдается только 30-35 % энергии, полученной при сжигании топлива. Примерно 10 % теплоты уходит в атмосферу с дымовыми газами, а более 50 % отводится в процессе охлаждения конденсаторов турбин либо водой, забираемой из рек или водоемов, либо в градирнях. Происходящее при этом тепловое загрязнение водоемов при недостаточности защитных мер способно нарушить условия обитания водной флоры и фауны, привести к развитию в водоемах нежелательных биологических процессов (разрастанию сине-зеленых водорослей и т. п.). Тепловые выбросы ТЭС воздействуют на окружающую среду, меняя микроклимат в районе ее размещения, а при большой мощности ТЭС могут привести также к изменению циркуляции воздушных масс, их температуры и влажности.

Таким образом, участие энергетических предприятий, сжигающих органическое топливо, в загрязнении окружающей среды продуктами сгорания, твердыми отходами и низкопотенциальным теплом весьма значительно.

8.1.2. Охрана атмосферного воздуха

Для снижения вредного воздействия энергетики на воздушный бассейн может быть использовано как минимум три пути:

- уменьшение количества и улучшение качества органического топлива, сжигаемого для производства электроэнергии и теплоты;
- подавление образования и улавливание вредных компонентов дымовых газов и, следовательно, сокращение выбросов электростанциями вредных веществ в атмосферу;
- уменьшение концентрации вредных веществ в приземном слое

атмосферы в результате рассеивания выбросов высокими трубами электростанций, более рационального их размещения, усиления контроля за выбросами и экологическое управление режимами энергетических предприятий.

Уменьшение количества и улучшение качества сжигаемого топлива

Глобальным направлением в этой области является *повышение коэффициента полезного действия* (КПД) электростанций и соответствующего снижения удельных расходов топлива. Для усиления этого процесса необходимо не только совершенствовать оборудование, но и интенсифицировать демонтаж и реконструкцию устаревшего оборудования, доля которого в энергосистемах страны с каждым годом увеличивается.

Основное направление в повышении КПД топливоиспользования на электростанциях в настоящее время связывается с развитием парогазовых установок (ПГУ). Достигнутый в настоящее время КПД тепловых электростанций находится на уровне, близком к 40 %. Отечественные и зарубежные оценки показывают, что при сжигании природного газа КПД ПГУ может быть доведен до 50-56 %, т. е. экономия топлива и соответственно снижение выбросов при использовании таких установок могут составить 27,5-40 % по сравнению с обычными ТЭС.

Важным природоохранным мероприятием является и *повышение качества используемого топлива*. С позиций охраны воздушного бассейна преимущества имеют те виды топлива, которые содержат меньше нежелательных примесей, в первую очередь золы, серы и азота.

Наиболее чистым органическим топливом является природный газ. При его сжигании не выделяются твердые частицы и практически отсутствуют выбросы сернистых соединений. В связи с этим переориентация газомазутных электростанций на сжигание преимущественно природного газа и сокращение доли высокосернистого мазута (содержание серы до 3,5 %) может привести к такому же результату, как установка на электростанциях, сжигающих высокосернистые топлива, дорогостоящих сероочистных сооружений.

Для мазутных ТЭС наиболее целесообразным путем сокращения выбросов диоксида серы является облагораживание топлива в процессе его производства на нефтеперерабатывающих заводах со снижением содержания серы до 1 % и менее. При этом затраты оказываются в 1,3-2 раза ниже, чем при установке на электростанциях сероочистных

сооружений с одновременным упрощением эксплуатации электростанций.

Дополнительного уменьшения выбросов оксидов серы можно достичь повышением доли использования малосернистых твердых топлив. С экологической точки зрения важное значение имеют *обогащение и переработка твердого топлива*, повышающие его качества, в том числе снижающие содержание в нем золы и серы. Расчеты показывают, что при снижении зольности 1 млн. т угля на 1 % можно сократить выброс золы примерно на 10 тыс. т. За рубежом, особенно в США и ФРГ, осуществляются *газификация* твердого топлива и получение на этой базе транспортабельного газообразного топлива с высокой удельной теплотой сгорания. Получение энергетического газа из твердого топлива представляет интерес и для нашей страны, например, в связи с освоением месторождений бурых углей Канско-Ачинского бассейна.

Методы подавления и улавливания вредных компонентов дымовых газов на электростанциях

Для охраны воздушного бассейна наиболее важными являются мероприятия, сокращающие выбросы с дымовыми газами электростанций твердых частиц (золы), оксидов серы и азота.

Методы борьбы с выбросами твердых частиц

Количество твердых частиц золы и недожога топлива (твердые частицы несгоревшего топлива), образующихся в топках котлов и уносимых из топки дымовыми газами, пропорционально количеству сжигаемого топлива, его зольности и степени шлакоулавливания.

Количество летучей золы, выбрасываемой в атмосферу энергетическими установками, определяется степенью очистки газов в золоуловителях. Для очистки выбросов используются электрофильтры, мокрые инерционные, сухие инерционные золоуловители.

Наиболее дешевы *мокрые золоуловители*. Ими оснащена половина электростанций страны. Такие аппараты относительно компактны, работают устойчиво, обеспечивая степень очистки газов 95-97 %. Основные трудности эксплуатации этих аппаратов связаны с износом футеровки, а также с обеспечением надлежащего качества орошающей воды.

Наиболее надежны и удобны в эксплуатации *сухие инерционные* золоуловители. Однако область их применения ограничивается сравнительно низкой эффективностью.

Широко используются для очистки выбросов ТЭС *электрофильтры.* Степень очистки выбросов в электрофильтрах может быть доведена до 99- 99,5 %.

Несмотря на то, что методы обеспыливания дымовых газов в настоящее время наиболее разработаны, действующие и вновь устанавливаемые аппараты очистки во многих случаях не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям. В настоящее время средняя по стране эффективность золоочистки находится на уровне 95 %. При этом следует отметить, что большинство применяемых золоуловителей избирательно улавливают относительно крупные фракции золы, тогда как именно в мелких фракциях концентрируются тяжелые металлы и другие токсичные компоненты. Установлено, что по дисперсному составу зола в известной мере копирует угольную пыль, и поэтому степень помола угля непосредственно влияет на очистку газа, так как крупная зола лучше улавливается. Таким образом, уже на этапе топливоподготовки можно предусматривать мероприятия, обеспечивающие снижение выброса золы.

При сжигании мазута дополнительно с твердыми частицами в атмосферу выделяется сажа, которая является носителем кислых примесей и канцерогенов. Поэтому, несмотря на сравнительно небольшое количество выбрасываемой золы, на электростанциях, работающих на мазуте, необходимо применение золоулавливающих установок специальных типов. За рубежом для этих целей используются электрофильтры, сухие инерционные аппараты, скрубберы мокрой очистки и тканевые фильтры со степенью улавливания твердых частиц 80-99 %. Для отечественных мазутных котлов имеются специальные золоулавливающие установки (батарейные циклоны, электрофильтры) для очистки дымовых газов при высоких температурах (350-400 ^{o}C).

Тепловые электростанции, работающие на твердом топливе, складируют свои *золошлаковые отходы* на специально построенных золоотвалах, которые представляют определенную опасность для окружающей природной среды, поскольку загрязняют воздух, почву, грунтовые воды в связи с пылением и инфильтрацией.

Существуют различные способы пылеподавления золоотвалов. Наиболее распространенным является увлажнение их поверхности (дождевание), поддержание в секциях золоотвалов более высокого уровня воды путем подачи в них осветленной воды. В тех случаях, когда обводнение золоотвала невозможно, его засыпают привозным грунтом и засевают травой.

Важным природоохранным мероприятием, приносящим существенный экономический эффект, является утилизация

золошлаковых отходов. Основными направлениями их использования является известкование кислых почв, добавки в бетоны и растворы, обвалование дамб золоотвалов и др. В настоящее время предлагается использование золы и золошлаков для производства различных строительных материалов: бетонов, в том числе ячеистых, глиноземного керамзита, иглопористого гравия, шлакоблоков и др. К сожалению, утилизация этих отходов в нашей стране находится на уровне 10 % от ежегодных отходов, что совершенно недостаточно.

Защита от оксидов серы

Тепловые электростанции вносят существенный вклад в загрязнение воздушного бассейна выбросами диоксида серы. В районах расположения крупных ТЭС наблюдается повышенное содержание сульфатов в почвах, в связи с чем снижается их продуктивность. Вредное влияние диоксида серы усиливается при наличии в воздухе оксидов азота, поэтому санитарными нормами введено требование учета суммации концентраций оксидов серы и азота.

Основное количество серы в дымовых газах находится в виде диоксида серы (до 99 %*)* и только 1 % приходится на триоксид серы. Однако концентрация именно SO_3 в дымовых газах определяет коррозию элементов газовоздушного тракта. Доля SO_3 в газе снижается с ростом температуры и с уменьшением избытка воздуха в топке. Такое ведение процесса горения возможно при поддержании точного соотношения между количествами топлива и воздуха.

Существует большое количество методов очистки дымовых газов от SO_2, основанных на селективном поглощении диоксида серы различными соединениями. Наиболее экономичные мокрые способы очистки имеют один существенный недостаток – ухудшают способность дымовых газов рассеиваться, в результате чего зачастую концентрация SO_2 в приземном слое электростанции, несмотря на очистку, оказывается выше допустимых норм.

К особенностям сероулавливающих установок электростанций относится их крупномасштабность (площадь, занимаемая сероулавливающими установками, соизмерима с площадью основных сооружений электростанции). Очистка отходящих газов от диоксида серы экономически выгодна при содержании 0,5-2,5 об. %. Поэтому удаление SO_2 из дымовых газов дело трудное, т. к. необходимо переработать огромное количество газа, нагретого до высокой температуры и с малым содержанием диоксида серы 0,1-0,4 об.%. Методы очистки дороги и малоэффективны.

Для очистки газов от сернистых соединений наиболее полно

разработаны три метода, основанные на селективном поглощении диоксида серы химическими реагентами: известковый, аммиачно-циклический, магнезитовый.

Известковый метод

После очистки от пыли газ поступает в скруббер, орошаемый известковым раствором:

$$SO_2+Ca(OH)_2=CaSO_3+H_2O$$
$$CaCO_3+SO_2=CaSO_3+CO_2$$
$$CaSO_3+1/2\ O_2=CaSO_4$$

К недостаткам данного метода относится образование шлама, содержащего сульфит и сульфат кальция, которые плохо растворяются в воде, непрореагировавшую известь или известняк (CaO, $CaCO_3$). Этот шлам не используют и сбрасывают в отвал. За рубежом разработана технология, позволяющая получать из шлама влажный гипс, который после соответствующей подготовки отвечает требованиям строительной промышленности. Степень очистки этим методом достигает 98 %.

Аммиачный метод

Метод основан на взаимодействии диоксида серы с водными растворами сульфита аммония.

$$SO_2+2NH_3+H_2O=(NH_4)_2SO_3$$
$$SO_2+(NH_4)_2SO_3+H_2O=2NH_4HSO_3$$

В зависимости от способа разложения бисульфита аммония различают несколько вариантов этого метода:

аммиачно-циклический метод заключается в поглощении диоксида серы растворами сульфита, бисульфита аммония при низкой температуре и выделении его при нагревании, степень извлечения диоксида серы – 90 %;

аммиачно-автоклавный – после поглощения сульфит и бисульфит аммония нагревают в автоклаве при 140-160 ^oC с получением товарных продуктов (серы и сульфата аммония);

аммиачно-сернокислотный метод – при обработке бисульфита аммония серной кислотой выделяющийся диоксид серы используют для производства серной кислоты;

аммиачно-азотнокислотный (фосфорнокислотный) – при обработке бисульфита аммония азотной (фосфорной) кислотой образуется диоксид серы, азотные и фосфорные удобрения.

Аммиачные методы относительно экономичны и эффективны, недостаток их – безвозвратные потери дефицитного аммиака.

Магнезитовый метод

Метод основан на взаимодействии диоксида серы с суспензией оксида магния:

$$MgO+SO_2+6H_2O=MgSO_3\ 6H_2O$$

Сульфит магния отфильтровывают, сушат и разлагают термически (900-1000 ^oC), при этом получается чистый SO_2, который используется как сырье для получения серной кислоты.

Высокая степень очистки (до 95-96 %), возможность очистки запыленных газов с высокой температурой, отсутствие отходов и сточных вод являются преимуществами данного метода. Но способ громоздок, требует значительных капитальных и эксплуатационных расходов (на регенерацию поглотителя), поэтому применяется редко, в основном на установках, которые работают на сернистом топливе.

Эксплуатация сероулавливающих установок связана с потреблением значительного количества реагентов (известняка, извести, аммиака и др.) и образованием соответствующего количества отходов сероулавливания, которые могут иметь и товарную ценность. Химическая продукция, получаемая при очистке дымовых газов от диоксида серы, зависит от выбранного технологического процесса. Для улавливания 1 т оксидов серы из дымовых газов электростанций требуется 1,8 т известняка. При очистке аммиачно-циклическим методом в качестве готовых продуктов можно получить 100 %-ный сжиженный диоксид серы и сульфат аммония. При использовании магнезитового метода получается промежуточный продукт –- кристаллы сульфата магния, которые после сушки и обжига поступают в сернокислотное производство. Аммиачный и магнезитовый методы в отличие от известкового позволяют возвращать реагенты в производство или получать товарные продукты.

Защита от оксидов азота

Образование оксидов азота при высокотемпературном сжигании топлива обусловлено в основном окислением молекулярного азота

воздуха непосредственно в зоне горения. При низкотемпературном сжигании топлива велика доля оксидов азота, образовавшихся в результате окисления связанного азота, входящего в состав топлива. Этот процесс происходит легче и быстрее, чем окисление молекулярного азота воздуха, при относительно низких температурах, например, для угля при 250-280 °С. Максимальный выход оксидов азота наблюдается в зоне активного горения. В остальных зонах, где уровень температуры относительно ниже, атмосферный азот практически не окисляется. Это означает, что снижение температуры горения топлива способствует уменьшению содержания оксидов азота в выбросах.

Снижение выбросов оксидов азота с дымовыми газами электростанций обеспечивается режимными и конструктивными мероприятиями (двухступенчатое сжигание, рециркуляция дымовых газов в зону горения, сжигание топлива при малых избытках воздуха, разработка новых типов горелок и различное конструктивное решение топочных устройств).

На выбор оптимального метода снижения содержания оксидов азота в топочной камере существенно влияют мощность котла и вид топлива (газообразное, жидкое, твердое). На газомазутных энергетических котлах режимными и конструктивными мероприятиями удается сократить выброс оксидов азота на 35-40 %. При этом увеличение стоимости ТЭС не превышает 2 %. При сжигании твердых топлив применение даже комплекса конструктивных и режимных мероприятий позволяет снизить выброс оксидов азота не более чем на 25 %.

Перспективным способом снижения выбросов оксидов азота является очистка дымовых газов, которая все шире практикуется за рубежом.

Азотоочистительные установки следует использовать лишь после исчерпания возможностей подавления реакций образования оксидов азота сравнительно дешевыми технологическими методами, так как очистка дымовых газов от азота сравнительно дорогое мероприятие.

Наиболее распространенный аммиачно-каталитический метод разложения оксидов азота имеет степень очистки до 85 %. В качестве катализаторов используются сплавы из металлов платиновой группы (палладий, платина) или составы, содержащие никель, хром, цинк, ванадий и др.

$$6NO+4NH_3=5N_2+6H_2O$$
$$6NO_2+8NH_3=7N_2+12H_2O$$

Большого эффекта по снижению выбросов оксидов азота можно достичь при сжигании твердых топлив в топках с «кипящим слоем» (температура процесса 800-900 ^{o}C), а также при газификации топлив и использовании парогазовых установок. При сжигании газифицированных топлив количество оксидов азота может быть снижено на 80-90 %.

Защита от оксида углерода

Химические методы очистки выбросов от оксидов углерода не нашли промышленного применения. При высоком содержании CO в выбросах в основном используется до CO_2, при низком содержании – каталитическое окисление.

Рассеивание вредных веществ в атмосфере

Концентрация вредных веществ в приземном слое атмосферы зависит не только от объема вредных выбросов, но и от климатических и метеорологических условий местности, а также от конструкции дымовой трубы.

В данных природных условиях и определенных выбросах вредных веществ в атмосферу уровень их концентрации зависит от *конструкции дымовой трубы*, в первую очередь от ее высоты. При этом концентрация загрязняющих веществ обратно пропорциональна квадрату высоты трубы. В связи с этим рост требований к охране воздушного бассейна ведет к необходимости увеличения высоты дымовых труб, наиболее высокие из которых в настоящее время превышают 300 м.

Создание высоких труб обходится достаточно дорого, причем их стоимость по мере увеличения высоты возрастает почти по квадратичной зависимости. Тем не менее, стоимость дымовых труб значительно ниже, чем сооружений по очистке дымовых газов, что с экономической точки зрения говорит в пользу труб. Однако в настоящее время сооружение высоких дымовых труб не признается в качестве генерального направления охраны воздушного бассейна, так как вредные выбросы из высоких дымовых труб рассеиваются на весьма значительные расстояния. В связи с этим приоритет отдается методам, позволяющим максимально снизить выбросы вредных веществ в атмосферу, после чего для обеспечения должного ПДК допускается выбирать соответствующую высоту труб.

В ряде районов (Восточная Сибирь, Урал) наблюдаются значительные концентрации вредных примесей вследствие того, что

условия погоды не обеспечивают рассеивания и удаления промышленных выбросов из приземного слоя атмосферы. В таких районах следует избегать строительства предприятий с большими выбросами в местах застоя воздуха и часто повторяющихся туманов, более тщательно подходить к выбору площадок для предприятий с учетом розы ветров.

Таким образом, тепловые электростанции, сжигающие органические виды топлива, оказывают существенное влияние на чистоту атмосферного воздуха. В то же время следует помнить, что эти масштабы зависят от мощности ТЭС, вида и характеристик сжигаемого топлива, уровня природоохранных мероприятий, степени технологического совершенства электростанции и многих других факторов.

8.1.3. Характеристика сточных вод технологических систем ТЭС

По масштабам воздействия на состояние водных объектов тепловые электростанции не относятся к числу очень «грязных» предприятий. Однако при отсутствии мер по ограничению загрязненных сбросов ТЭС могут наносить ощутимый вред водным объектам.

Сточные воды тепловых электростанций в зависимости от назначения технологической системы, в которой они образуются, разделяются на следующие виды:

- воды системы охлаждения, т. е. воды, охлаждающие конденсаторы турбин;
- воды, загрязненные нефтепродуктами;
- регенерационные и промывочные воды водоподготовигельных установок (т. е. установок подготовки воды для подпитки пароводяного цикла) и конденсатоочисток;
- воды системы гидрозолоудаления;
- обмывочные воды хвостовых поверхностей нагрева парогенераторов;
- отработавшие растворы после химической очистки теплосилового оборудования и его консервации.

Кроме перечисленных основных видов производственных сточных вод на ТЭС имеются хозяйственно-бытовые сточные воды, воды гидравлической уборки помещений тракта топливоподачи, дождевые (ливневые) воды, стекающие с территории предприятия.

Количество сточных вод и степень их загрязнения зависят от ряда факторов, основными из которых являются мощность ТЭС, тип установленного оборудования и его состояние, вид топлива, технический уровень эксплуатации оборудования. Фактором, оказывающим существенное влияние на количество и загрязненность сточных вод, является качество используемой природной воды.

Сточные воды системы охлаждения относятся к стокам, не требующим очистки. Обычно их называют нормативно-чистыми, но их температура на 8-12 °С выше, чем у природной воды.

Воздействие подогретых вод ТЭС на водные объекты неоднозначно. Оно может иметь как положительные, так и отрицательные последствия, хотя в научной литературе в основном подчеркиваются негативные экологические последствия подогрева.

Среди *положительных воздействий* на режимы водоемов отмечаются видовое обогащение состава гидробионтов; продвижение на север представителей теплолюбивой фауны и флоры; увеличение развития кормовых объектов для рыб; повышение фотосинтетической деятельности водорослей, особенно зимой; предотвращение зимних заморов рыбы; удлинение вегетационного периода и др.

Вместе с тем подогрев может привести к значительному развитию в водоемах организмов (бактерии, водоросли, простейшие), избыток которых вызывает ряд *неблагоприятных последствий*, ухудшая санитарные и технические качества воды. Как правило, при этом интенсифицируется размножение кишечной палочки и гипертрофных бактерий.

Загрязнение воды ***нефтепродуктами*** на ТЭС происходит при эксплуатации и ремонте мазутного хозяйства вследствие утечек трансформаторного масла, утечек турбинного масла при ремонте оборудования, аварийной утечки и разлива масла и мазута, при охлаждении подшипников различных вращающихся механизмов. Концентрация нефтепродуктов в сточных водах ТЭС в среднем равна 100 мг/л.

Сточные воды водоподготовительных установок (ВПУ) образуются при проведении операций промывки механических фильтров, регенерации ионитных фильтров, а также за счет дренажей реагентного хозяйства, утечек воды через неплотности арматуры и т. п. Они содержат механические примеси, растворенные соли, кислоты, щелочи и др. Солесодержание сточных вод ВПУ колеблется в широких

пределах и достигает 20-30 г/л. Значение pH этих сточных вод изменяется от 1 до 13.

Воды системы гидрозолоудаления

На большинстве ТЭС удаление золы и шлака из котельной в золоотвал осуществляется гидравлическим способом. При этом твердые вещества выпадают в золоотвале в осадок, осветленная вода в разомкнутых (прямоточных) системах сбрасывается в водоем, в замкнутых (оборотных) – возвращается обратно на ТЭС для повторного использования. Осветленные воды золоотвалов содержат гидрооксид кальция, сернистую и серную кислоты, а также фтор, мышьяк, ванадий, ртуть и другие токсичные элементы.

Обмывочные воды поверхностей нагрева парогенераторов

В процессе эксплуатации парогенераторов образуются отложения на конвективных поверхностях нагрева котлов и регенеративных воздухоподогревателей. Это приводит к росту сопротивления газового тракта парогенератора и повышению температуры уходящих газов. В связи с этим возникает необходимость в обмывке поверхностей нагрева водой. При обмывке поверхностей парогенераторов, работающих *на сернистом мазуте*, сточные воды содержат серную кислоту в концентрации до 0,5 % и токсичные соединения: ванадий, никель, медь. При обмывке поверхностей нагрева парогенераторов, сжигающих *твердое топливо*, стоки в зависимости от характеристики топлива содержат механические примеси, растворенные соли, фтор, мышьяк и другие вещества.

Отработавшие растворы

На ТЭС, работающих на органическом топливе, сточные воды появляются при химических промывках основного оборудования, которые необходимы для поддержания чистоты внутренних поверхностей нагрева парогенераторов и трубных систем теплообменных аппаратов, а также при консервации теплоэнергетического оборудования для его защиты от коррозии в периоды остановок. Эти сточные воды носят «залповый» характер и отличаются большим разнообразием содержащихся в них веществ: органические и минеральные кислоты, гидразин, поверхностно-активные вещества и т. п.

8.1.4. Охрана от отрицательного воздействия сточных вод ТЭС

Сточные воды всех систем ТЭС, кроме системы охлаждения, относятся к категории стоков, подлежащих очистке, которая обязательно предусматривается при проектировании электростанции.

Снижение отрицательного воздействия сбросов теплоты

Сброс теплых вод систем охлаждения приводит к повышению температуры в водных объектах-приемниках сточных вод ТЭС и атмосферного воздуха, увеличению влажности воздуха.

На действующих ТЭС с *прямоточной* системой технического водоснабжения (СТВС) для обеспечения нормативных температурных ограничений по подогреву воды в водных объектах применяются различные доохлаждающие устройства: брызгальные установки; рассеивающие водовыпуски; водосбросы с переливным порогом; в которых происходит также аэрация воды и др.

Наиболее эффективным мероприятием по снижению теплового воздействия электростанций на водные объекты считается организация технического водоснабжения тепловых электростанций *по оборотной системе.*

Самой распространенной оборотной системой технического водоснабжения является система с *водохранилищем-охладителем,* которая обеспечивает относительно невысокие безвозвратные потери воды. Помимо высоких технико-экономических показателей данная СТВС позволяет аккумулировать и регулировать сток малых рек, повышая водообеспеченность территории, перераспределять сброс минеральных солей, улучшая качество воды малых водотоков. Кроме того, эта система водоснабжения способствует улучшению социальных условий обитания населения, дает возможность развивать водный спорт, рыбоводство, поливное садоводство и огородничество, организовывать зоны отдыха. Но при создании водохранилищ-охладителей повышается влажность воздуха в данном районе, требуются мероприятия по стабилизации уровня грунтовых вод в зоне подтопления и предотвращению переработки берегов. Однако многолетний опыт эксплуатации ТЭС с водохранилищами-охладителями показывает, что позитивное влияние водохранилищ превалирует над негативным. Для создания водохранилищ-охладителей используются долины малых рек, оврагов, заболоченные участки пойм, прибрежные мелководья озер и другие малопродуктивные территории.

В условиях плотной городской застройки на ТЭС применяются наиболее компактные оборотные системы технического водоснабжения

с *испарительными градирнями*, которые из всех рассмотренных типов систем водоснабжения характеризуются наибольшими безвозвратными потерями воды, связанными с капельным уносом воды.

Обеспечивая соблюдение нормативных требований по температуре подогрева воды в водоемах, градирни в то же время обостряют проблему их химического загрязнения сбросами минерализованных продувочных вод. Так как градирни не имеют аккумулирующей емкости для перераспределения сброса солей, то поступление минерализованных продувочных вод в водоемы в маловодье приводит к засолению этих источников, поэтому возникает проблема очистки продувочных вод градирен. Кроме того, интенсивность теплового потока из башни градирни достигает 250-300 кВт/м^2; выброс теплоты, пара, капельной влаги на высоту 150-350 м создает факел тумана, распространяющийся в направлении ветра на 2-10 км.

Значительной части перечисленных недостатков испарительных градирен не имеют *системы воздушного охлаждения*, так называемые «сухие градирни», которые обеспечивают наиболее экономное использование водных ресурсов. Удельные расходы свежей воды и ее удельные безвозвратные потери в системах воздушного охлаждения существенно ниже, чем в испарительных градирнях. Однако из-за относительно высокой стоимости и металлоемкости воздушных теплообменников, в также недооценки природоохранных факторов широкого применения воздушно-конденсационные установки пока не нашли.

Проектные разработки комбинированных систем охлаждения, использующих преимущества и устраняющих недостатки испарительного охлаждения, показывают, что возможно существенное повышение экономичности и снижение отрицательного влияния ТЭС на природную среду.

Очистка сточных вод от нефтепродуктов

Применяются три метода очистки: отстаивание, флотация и фильтрование.

Наиболее распространенный способ выделения нефтепродуктов - *отстаивание*. Простейшим сооружением для очистки отстаиванием является горизонтальный отстойник (нефтеловушка), представляющий собой прямоугольный проточный резервуар, выполненный обычно из сборного железобетона.

Флотация дисперсных частиц из сточных вод основана на способности их закрепляться на поверхности пузырьков газа (обычно воздух), которым насыщают обрабатываемую жидкость. Образующиеся

в объеме жидкости пузырьки захватывают частицы и транспортируют их к поверхности, откуда частицы удаляют в виде концентрата.

Процесс *фильтрования* нефтесодержащих сточных вод основан на прилипании эмульгированных капель нефтепродуктов к поверхности зерен фильтрующего материала и для очистки сточных вод от нефтепродуктов применяется достаточно давно. Обычно фильтрованию предшествуют предварительные стадии очистки (отстаивание, флотация).

На тепловых электростанциях описанные методы очистки сточных вод от нефтепродуктов используются в полном объеме. Но проблема ликвидации сточных вод, содержащих нефтепродукты (масла, мазут), считается одной из наиболее сложных из-за того, что источники загрязнения воды нефтепродуктами распределены практически по всей территории электростанции. Одна из основных причин образования этой группы сточных вод – несовершенство конструкции устройств системы охлаждения, в которых охлаждающая вода приходит в контакт с маслами. Предотвращение смешивания нефтесодержащих стоков с чистыми водами значительно сокращает объем воды, подлежащей очистке. Полное прекращение сброса нефтепродуктов в водные объекты может быть достигнуто либо их надежным захоронением, либо использованием нефтесодержащих сточных вод в других системах ТЭС: в системе гидрозолоудаления на ТЭС, сжигающих твердое топливо, системе водоподготовки после необходимой очистки.

Охрана водных объектов от загрязнения сточными водами водоподготовительных установок

Очистка сточных вод водоподготовительных установок фактически сводится к уменьшению содержащегося в них большого количества солей и грубодисперсных примесей до приемлемых концентраций.

Различают *две группы сточных вод ВПУ*:

стоки предочистки (в стоках примеси находятся в виде осадка, что упрощает отделение их от воды),

стоки установок обессоливания.

На электростанциях, сжигающих твердое топливо, минерализованные стоки ВПУ обычно используются для транспортировки золошлаковых отходов. Возможно также отведение этих стоков в пруды-накопители, где их собирают в течение года и спускают в водные объекты в период половодья, когда они могут быть многократно разбавлены талыми водами. В отдельных случаях для концентрирования стоков применяются испарительные и

опреснительные установки, позволяющие сократить объем стоков и получить «сухие» соли, подлежащие утилизации.

В проектах ВПУ основное внимание уделяется максимально возможному сокращению количества сточных вод путем их повторного использования, что позволяет сократить водопотребление и уменьшить объем минерализованных сточных вод на 30-40 %.

Снижение отрицательного воздействия стоков систем гидрозолоудаления

При гидротранспорте золы в воду переходят минеральные соединения, количество и качество которых зависят от вида топлива, параметров системы гидрозолоудаления (ГЗУ), способа золоулавливания. Минерализация делает транспортирующую воду непригодной не только для сброса в водные объекты, но в ряде случаев и для использования в оборотной системе, так как вызывает обрастание коммуникаций систем ГЗУ минеральными отложениями. Поэтому 40 % ГЗУ до настоящего времени работает на *прямотоке*, а большая часть оборотных систем – с продувками, т. е. со сбросами сточных вод в водные объекты.

Кроме минеральных солей сточные воды систем ГЗУ содержат значительное количество высокотоксичных загрязняющих веществ, попадание которых в водные объекты недопустимо. В настоящее время, на ТЭС применяются такие способы обезвреживания токсичных стоков систем ГЗУ, как *осаждение и сорбция.*

Способ *осаждения* позволяет основную часть высокотоксичных примесей выделить в осадок с последующим захоронением. Наиболее часто применяемым реагентом при осаждении мышьяка, фтора, хрома и других примесей является известь (в виде известкового молока). При этом образуются соединения кальция с мышьяком и фтором, а также гидроокись хрома, выпадающие в осадок. Однако применение одной извести не всегда позволяет снизить концентрацию примесей в воде настолько, чтобы можно было сбросить сточные воды в водоем.

Сорбционная очистка находит применение на заключительной стадии очистки воды. Извлечение примесей из сточных вод сорбцией проводят с помощью ионообменных смол, специально синтезируемых материалов, а также отходов различных производств (перспективным считают использование для этой цели золошлаковых отходов ТЭС).

В настоящее время основным направлением снижения отрицательного воздействия стоков ГЗУ на качество природных вод является перевод действующих прямоточных систем ГЗУ на *оборотный цикл* с возвратом осветленной воды на ТЭС для повторного

использования. Но сокращение объема сбрасываемой воды ведет к пропорциональному увеличению концентрации загрязняющих веществ в этих стоках, так что абсолютное количество солей из золошлаковых отходов ТЭС, растворяющихся и сбрасываемых в водные объекты, практически не меняется.

В качестве главного возможного пути устранения загрязнения водных объектов сточными водами ГЗУ является организация *бессточного режима* работы оборотных систем ГЗУ.

Наряду с проблемой исключения прямых сбросов в водные объекты при проектировании оборотных систем ГЗУ необходимо также решать задачу *предотвращения фильтрации* из золошлаковых хранилищ загрязненных вод в грунтовые воды. Для этого следует сооружать противофильтрационные экраны (гидроизоляция ложа), препятствующие проникновению загрязненных вод в подземные источники.

Полное решение вопроса о ликвидации отрицательного воздействия золоотвалов на природу возможно лишь на основе утилизации золошлаковых отходов.

Очистка сточных вод от обмывок поверхностей нагрева котлов

Простейшим способом очистки обмывочных вод является их нейтрализация гидроксидом натрия, содой, известью с целью выделения вредных веществ в осадок с последующим его отстаиванием.

Применяются различные схемы нейтрализации и обезвреживания обмывочных вод с выделением соединений ванадия и никеля при сжигании сернистых мазутов.

Охрана водных объектов от загрязнения сточными водами химических промывок оборудования

Залповый характер сбросов сточных вод этой системы, многообразие содержащихся в них примесей, изменение их концентрации и состава во время промывки затрудняют организацию очистки этих вод.

При обезвреживании этой группы сточных вод необходимо разрушать образовавшиеся при промывке оборудования комплексы металлов с реагентами и выделять соединения металлов в осадок. Органические вещества, аммонийные соли, нитраты, сульфиды должны быть окислены до допустимых значений показателя «биохимическая потребность в кислороде» (БПК).

В практике эксплуатации ТЭС эти сточные воды в лучшем случае нейтрализуются известью; осаждение и отделение катионов тяжелых

металлов не производится, хотя технология разработана. Высокое содержание солей и токсичность примесей в сточных водах химических промывок оборудования затрудняют их повторное использование.

Таким образом, концепция по охране водных объектов от загрязнения сточными водами ТЭС заключается в следующем: обеспечение минимального количества стоков технологическими решениями; оснащение всех вновь вводимых ТЭС полным комплексом очистных сооружений, гарантирующих очистку загрязненных сточных вод; строительство оборотных систем ГЗУ и применение схем повторного использования очищенных сточных вод на технологические нужды электростанции, совершенствование схем водоподготовки на действующих ТЭС и др.

8.1.5. Другие виды воздействия ТЭС на окружающую среду

Городские ТЭС являются источником сильного, воздействующего на население *шума*. Перенос электростанций за город, радикальным образом снижающий загрязнение атмосферы в зоне городов, зачастую не дает заметного эффекта по уменьшению воздействия шума, создаваемого при выбросе пара предохранительными клапанами, который слышен на расстоянии 3-4 км. В отдельных случаях акустическое воздействие вызывает вибрацию стекол в окнах.

Снижению шумового загрязнения способствует включение звукоизоляционных и звукопоглощающих материалов в состав теплоизоляционных покрытий горячих поверхностей источников шума. Разрабатываются эффективные глушители на выхлопных паропроводах (например, спиральные лабиринты или фильтры с извилистыми каналами).

Наиболее радикальным способом борьбы с шумом является акустическое совершенствование самого источника шума.

Помимо загрязнения воздушного бассейна, водных источников и земли производство электроэнергии на ТЭС связано со *значительным расходованием природных ресурсов*, запасы которых ограничены и потому нуждаются в защите и бережном отношении.

Тепловые электростанции потребляют огромное *количество топлива* (на ТЭС мощностью 2400 МВт сжигается по 17-20 вагонов угля в час, или более 400 вагонов в сутки).

Очень велик и *расход кислорода* – 820 тыс. т/ч, т. е. около 20 млн. т в сутки. Вследствие сжигания топлива за последние 100 лет количество

диоксида углерода в атмосфере увеличилось на 10 %, а кислород изымается из атмосферы со скоростью 1 % в год, но пока восстанавливается за счет экваториальной растительности.

Для водяного охлаждения конденсаторов турбин ТЭС указанной выше мощности требуется 300 тыс. $м^3$/ч, или 2 $км^3$/год *воды.* В целях сокращения ее расхода применяются дорогостоящие оборотные (замкнутые) системы технического водоснабжения, где вода используется многократно. Часовой расход свежей воды в этом случае сокращается в 30 раз. Безвозвратные потери воды для рассматриваемой ТЭС оцениваются в 20 млн. $м^3$/год.

Строительство ТЭС связано и с существенными изъятиями *земельных ресурсов*, в том числе и сельскохозяйственных, для создания водоемов-охладителей в системе оборотного водоснабжения. Например, для угольной ТЭС (мощность 2400 МВт) требуется 2-2,5 тыс. га земли при работе с оборотной системой водоснабжения с прудами-охладителями и до 1 тыс. га при использовании градирен.

Таким образом, тепловые электростанции, сжигающие органические виды топлива, оказывают влияние на все сферы окружающей среды (воздух, воду, землю, флору, фауну), масштабы их воздействия очень значительны. В то же время следует помнить, что эти масштабы зависят от мощности ТЭС, вида и характеристик сжигаемого топлива, уровня природоохранных мероприятий, степени технологического совершенства электростанции и многих других факторов.

8.1.6. Охрана земельных ресурсов

Рекультивация земель

Сельскохозяйственные земли, которые были отведены временно под строительство электроэнергетических объектов, должны быть рекультивированы, т. е. возвращены в сельскохозяйственное производство.

Рекультивация земель должна производиться за счет владельцев предприятий, временно использующих эти земли, и осуществляться на землях, отведенных под временные дороги, карьеры, здания и сооружения, необходимость в которых по завершении строительства отпала. Кроме того, рекультивации подлежат территории золоотвалов ТЭС, отработавших свой срок, а также площадки других демонтируемых объектов.

В состав работ по рекультивации кроме разборки зданий и сооружений и их удаления входят засыпка и планировка территории,

нанесение на нее плодородного почвенного слоя, распашка и боронование, внесение удобрений и другие работы, создающие возможность использования земли для сельскохозяйственного производства. Следует констатировать, что если работы по рекультивации земель на объектах электроэнергетики в определенных объемах систематически ведутся, то снятие плодородного слоя пока осуществляется в единичных случаях и в самых минимальных размерах. Нанесение плодородного слоя почвы на малопродуктивные угодья может быть одним из способов восстановления изымаемых сельскохозяйственных угодий. В этом случае возмещение потерь сельскохозяйственных земель может не производиться.

Защита земель от пыления золоотвалов ТЭС

Летучая зола золоотвалов отличается повышенным абразивным воздействием на механизмы и силикозным – на организм человека из-за большого количества диоксида кремния. Пыление вызывает снижение продуктивности сельскохозяйственных полей, сокращение ресурса механизмов, работающих в зоне запыленности, и ухудшает санитарное состояние территории, что негативно влияет на здоровье человека.

Особенно неблагоприятно проявляется пыление золоотвалов в районах, характеризующихся недостаточной увлажненностью и сильными ветрами. В этих условиях золоотвал может послужить источником загрязнения территории площадью в несколько сот квадратных километров. По этим причинам мероприятия, направленные на уменьшение и нейтрализацию вредного воздействия пыления золоотвалов, являются наиболее важными при их эксплуатации (основные мероприятия приведены в разделе 8.1.2).

В целях предотвращения пыления заполненных секций золоотвалов осуществляется их консервация, включающая отсыпку растительного слоя земли, посев смеси луговых трав, подкормку минеральными удобрениями и полив в течение 2 лет до образования сомкнутого травяного покрова. Такого рода консервация выполнена на ряде золоотвалов в центральной полосе России с умеренно влажным климатом, где не требуется полива.

8.2. Атомные электростанции

8.2.1. Ядерный топливный цикл и его воздействие на биосферу

Современная ядерная энергетика работает по открытому (неполному) циклу, который заканчивается хранением отработавшего

топлива. В соответствии с планами развития ядерной энергетики во многих странах начат переход на замкнутый, или полный, ядерный топливный цикл (ЯТЦ) – с переработкой отработанных тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ).

Полная схема ЯТЦ состоит из следующих этапов:

- добыча урановой руды в руднике;
- переработка руды и получение урана в виде U_3O_8 на гидрометаллургическом заводе;
- конверсия U_3O_8 в газообразную форму UF_6 , необходимую в технологии разделения изотопов;
- обогащения урана на заводе по разделению изотопов;
- конверсия UF_6 в порошок UO_2, изготовление топливных таблеток и затем ТВЭЛ.

На всех этапах происходит химическое и радиоактивное загрязнение окружающей среды.

Быстрому развитию ядерной энергетики способствует ряд обстоятельств – уменьшение природных запасов органических топлив, рост их сернистости, зольности, резкое удорожание и сложность их добычи.

Современная АЭС принципиально отличается от ТЭС на органическом топливе только видом парогенератора. На ТЭС в качестве парогенератора выступает паровой котел, в котором производится пар нужных параметров за счет теплоты, образующейся при сжигании органического топлива. На АЭС парогенератором является атомный реактор, в котором пар получается за счет энергии, выделяемой в процессе цепной управляемой реакции деления ядер атомов. Весь же последующий цикл преобразования энергии в паровой турбине, генераторе, трансформаторе в принципе одинаков на ТЭС и АЭС.

При химическом окислении 1 г угля выделяется 7 ккал тепла, а при ядерном «сгорании» 1 г ядерного топлива – 20 млн. ккал. Также можно добавить разницу в весовом исчислении количества топлива, которое нужно добыть и доставить для агрегатов ТЭС и АЭС одинаковой мощности в течение 2-3 лет (расчетной длительности непрерывной работы реактора АЭС): для ТЭС, мощностью 1 млн. кВт, надо поставить 300 тыс. вагонов угля, а для АЭС – 2 вагона. Но разница в том, что при транспортировке ядерного топлива необходимо строгое соблюдение мер повышенной осторожности, поскольку груз – радиоактивное ядерное топливо, заключенное в тепловыделяющие стержни.

По воздействию на окружающую среду АЭС существенно отличаются от обычных тепловых электростанций прежде всего тем, что они не используют органического топлива для производства электроэнергии. АЭС не загрязняют *атмосферу* выбросами твердых частиц (золы) и различных газообразных веществ, в том числе оксидов азота и серы. Они не являются благодаря этому источниками кислотных дождей, распространения различных ядовитых веществ, в том числе канцерогенных и даже радиоактивных, содержащихся в золе.

Таким образом, в отношении загрязнения воздушного бассейна обычными химическими загрязнителями АЭС можно считать чистыми объектами.

АЭС не засоряют также *земельные и водные ресурсы* золошлаковыми отходами. Естественно, что на АЭС отсутствуют такие явления, как пыление золоотвалов, засорение атмосферы продуктами горения золошлаковых отходов.

Крупным положительным фактором по сравнению с обычными ТЭС является то, что производство электроэнергии на АЭС *не сопровождается использованием кислорода воздуха*, который на ТЭС расходуется в огромных количествах.

Перечисленные преимущества АЭС по сравнению с обычными ТЭС очень велики. Однако во многом другом АЭС значительно им уступают. Основной фактор экологической опасности АЭС – *возможность радиоактивного воздействия на окружающую среду*, кроме этого необходимо отметить их *влияние на водные и земельные ресурсы.*

При работе АЭС, как и ТЭС, требуется большое количество воды для охлаждения конденсаторов турбин. При этом из-за более низких параметров пара, применяемых в атомных реакторах, от турбин приходится отводить значительно больше теплоты, чем на ТЭС (КПД использования энергии АЭС ниже (до 33 %), чем ТЭС (до 40 %)). В случае использования прудов-охладителей их поверхность должна быть также соответственно больше. Увеличивается в этом случае и количество земель, отводимых под водохранилища. Следовательно, в отношении масштабов использования природных земельных и водных ресурсов АЭС хуже, чем обычные ТЭС. Атомные электростанции значительно загрязняют окружающую среду и тепловыми выбросами.

Главная особенность воздействия АЭС на окружающую среду связана с использованием ядерного топлива. Прямой выход

радиоактивных отходов АЭС в окружающую среду предотвращается многоступенчатой системой радиационной защиты. На всех АЭС предусматриваются меры, направленные на исключение выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду, как в условиях нормальной эксплуатации, так и в аварийных ситуациях. Стоимость мероприятий по защите окружающей среды от вредного радиационного воздействия АЭС составляет до 50 % стоимости станции.

Таким образом, АЭС не более опасны, чем многие другие объекты промышленного назначения, но это справедливо лишь при неукоснительном строжайшем соблюдении всех правил ведения технологических процессов АЭС и безукоризненном состоянии всего оборудования АЭС, в том числе средств управления и защиты.

8.2.2. Ядерное топливо, типы ядерных реакторов

Использование ядерной энергии на АЭС стало возможным благодаря открытию реакции деления ядер тяжелых элементов под воздействием нейтронов и созданию ядерных реакторов для осуществления регулируемой, самоподдерживающейся цепной ядерной реакции. Каждый акт деления тяжелых ядер сопровождается поглощением одного нейтрона, появлением двух-трех новых нейтронов и, как правило, двух осколков.

Природный уран представляет смесь двух изотопов U-235 и U-238. Основным делящимся веществом является U-235, содержание которого в естественном уране составляет всего 0,7 %. Ядра U-235 делятся под воздействием как быстрых, так и тепловых нейтронов. Содержание ядер U-238 в природной смеси достигает 99,3 %, и они делятся только под воздействием быстрых нейтронов с энергией больше 1,1 МэВ. Поэтому изотоп U-238 является в основном поглотителем нейтронов и, следовательно, препятствует протеканию цепной реакции деления на ядрах U-235. Для ее осуществления необходимо или обогатить природный уран (более чем в 10 раз увеличить содержание U-235), или обеспечить в зоне реакции тепловые скорости нейтронов. Эффективными замедлителями быстрых нейтронов (энергия тепловых нейтронов 0,025 эВ) являются углерод (графит), тяжелая вода, бериллий или оксид бериллия. Прежде чем использовать природный уран в реакторе, его подвергают переработке, соответствующей типу реактора. В большинстве случаев уран обогащают изотопом U-235 на заводе по разделению изотопов, затем, как правило, превращают в порошок UO_2, который спекают в топливные таблетки.

Помимо тепловых реакторов существуют реакторы, не требующие замедлителя и работающие на быстрых нейтронах («быстрые» реакторы). В них используется высокообогащенное ядерное топливо, благодаря чему образуется значительный избыток нейтронов, которые обеспечивают воспроизводство вторичного ядерного топлива, в частности плутония Pu-239.

Основная часть любого ядерного реактора – активная зона, образуемая загруженным ядерным топливом в виде тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ), в которой протекает цепная реакция деления. Теплота, выделяющаяся в ТВЭЛах, отводится непрерывно циркулирующим теплоносителем.

Управление работой реактора, включая запуск и выключение, в том числе и аварийное, осуществляется с помощью системы управления и защиты реактора (СУЗ). К этой системе относятся специальные стержни, которые содержат вещества, сильно поглощающие нейтроны (бор, кадмий и др.). Ввод этих стержней в каналы СУЗ активной зоны приводит к останову реактора, т. е. прекращению цепной реакции деления.

В нашей стране промышленно освоены в основном энергетические реакторы на тепловых нейтронах со слабообогащенным или природным ураном двух типов — водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР), в которых вода является теплоносителем и замедлителем, и канальные энергетические реакторы с графитовым замедлителем и водой в качестве теплоносителя. Такие реакторы получили название – реактор большой мощности канальный (РБМК).

Активная зона водо-водяного энергетического реактора типа ВВЭР-1000 электрической мощностью 1000 МВт имеет диаметр 3,12 м, высоту 3,5 м и состоит из 151 кассеты. В каждой кассете имеется 331 направляющая трубка, из которых 317 заполнены топливом, а остальные предназначены для стержней управления и датчиков контроля энерговыделения. Общая загрузка урана составляет 66 т.

Упрощенная схема АЭС с реактором типа ВВЭР приведена на рис. 10. Как видно из рисунка 10, использование теплоты активной зоны осуществляется по двухконтурной схеме. Циркулирующая в первом контуре вода находится под давлением. Кипение воды в первом контуре не допускается. Первый и второй контуры изолированы друг

от друга, поэтому радиоактивные вещества не переходят во второй контур и не загрязняют его. В случае дефектов в теплообменнике могут возникнуть течи радиоактивной воды из первого контура во второй. Для удаления примесей и поддержания химического качества воды второго контура на АЭС предусмотрена система очистки.

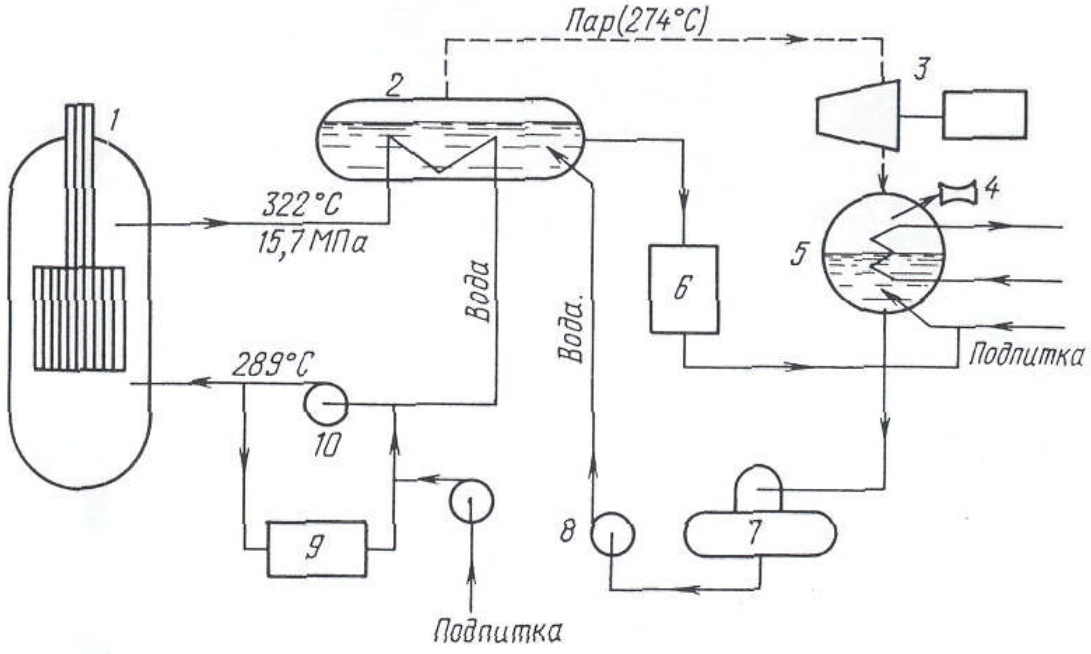

Рис. 10. Схема основных технологических контуров АЭС с реактором типа ВВЭР (указаны характеристики первого контура ВВЭР-1000):
1. реактор; 2. парогенератор; 3. турбогенератор; 4. эжектор; 5. конденсатор; 6. спецводоочистка второго контура; 7. деаэратор; 8. питательный насос; 9. байпасная очистка; 10. главный циркуляционный насос

Канальный реактор, в отличие от корпусного, не имеет прочного многотонного внешнего корпуса. Канальные реакторы по своим габаритам существенно больше корпусных, но зато они набираются повторением одинаковых элементов, что позволяет наладить их массовое производство и проиводить поканальную перегрузку топлива без остановки реактора.

РБМК размещается в бетонной шахте и опирается на железобетонный фундамент. ТВЭЛы помещают в трубы-каналы, через которые прокачивается вода под давлением. Между этими каналами помещается замедлитель нейтронов – графит. В реакторном пространстве в графитовой кладке кроме технологических каналов расположены и каналы СУЗ. В каждом технологическом канале установлено по две последовательно расположенные топливные сборки со стержневыми ТВЭЛами. Графитная кладка продувается азотно-

гелиевой смесью.

Реакторы типа РБМК одноконтурные, т. е. теплоноситель (вода) превращается в пар непосредственно в реакторе и подается на турбину, предварительно проходя через сепараторы, где отделяется от капель воды (рис. 11). В реакторах типа РБМК в турбину поступает пар, образующийся при кипении воды в активной зоне. Пар радиоактивен из-за нейтронной активации кислорода, а также в него переходит часть радиоактивных веществ, попавших в теплоноситель. Канальные уран-графитовые реакторы обладают рядом специфических особенностей, которые требуют более высокой квалификации персонала и большей осторожности при эксплуатации. Основной особенностью таких реакторов является рост реактивности (выделения теплоты) при нарушении циркуляции теплоносителя через активную зону.

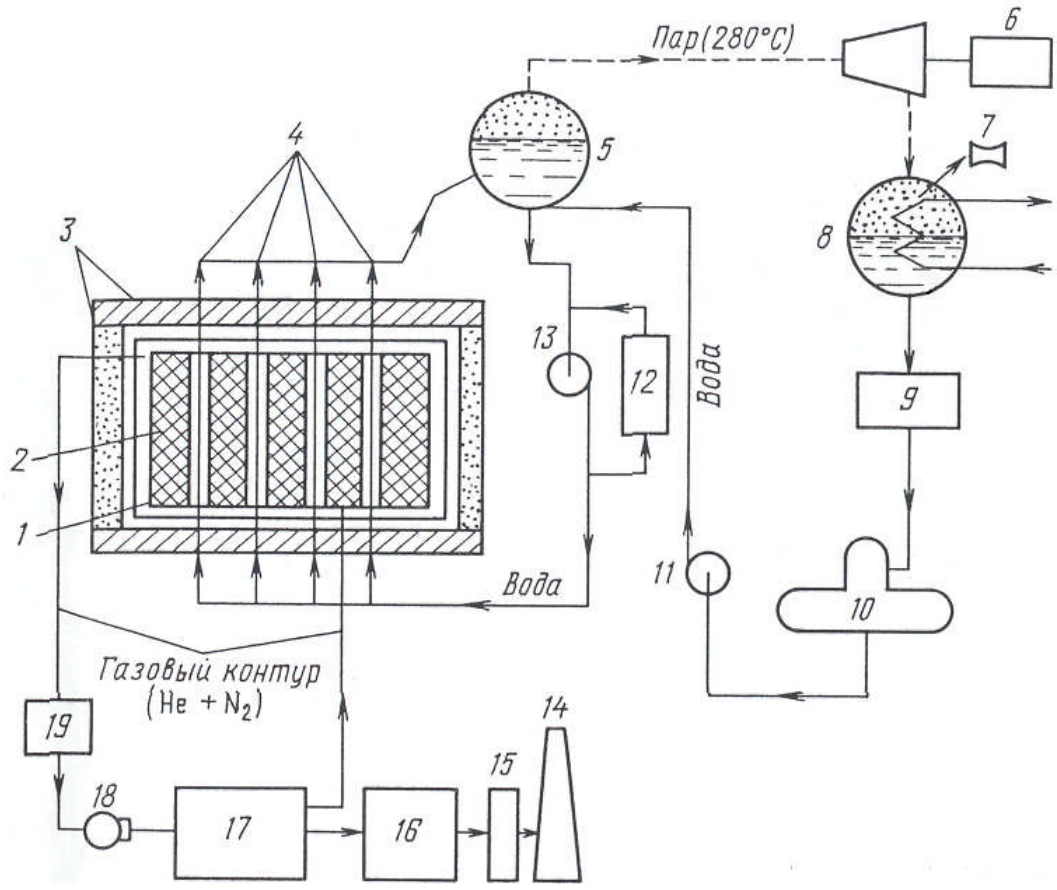

Рис. 11. Схема основных технологических контуров АЭС с реактором РБМК: 1. реактор; 2. графитовая кладка; 3. биологическая защита; 4. технологические каналы; 5. барабан-сепаратор; 6. турбогенератор; 7. эжектор; 8. конденсатор; 9. конденсатоочистка; 10. деаэратор; 11. подпиточный насос; 12. байпасная очистка на ионообменных фильтрах; 13. главный циркуляционный насос; 14. вентиляционная труба; 15. аэрозольный фильтр; 16. газгольдер для выдержки газа; 17. адсорбер CO_2, CO, H_2, NH_3; 18. компрессор; 19. аэрозольный и йодный фильтры

Необходимость расширения областей применения ядерной энергии и вовлечения различных видов ядерного топлива в энергетическое производство требует создания реакторов нового типа. Большое внимание уделяется разработке и внедрению в ядерной энергетике реакторов-размножителей на быстрых нейтронах, где происходит конверсия U-238 в Pu-239 и Th-232 в U-233.

8.2.3. Радиоактивные вещества, образующиеся при работе АЭС

При работе реактора АЭС образуются радиоактивные вещества в процессе деления ядер урана и активации нейтронами различных материалов, присутствующих в активной зоне реактора. Активность этих веществ обусловлена в основном так называемыми короткоживущими радионуклидами. Из-за быстрого распада они не представляют опасности при попадании в окружающую среду.

Радиоактивное загрязнение происходит от радионуклидов, период полураспада которых более нескольких минут. Такие вещества называются *биологически значимыми радионуклидами*.

При делении тяжелых ядер в ядерном реакторе АЭС образуются осколки деления и нейтроны. Все *продукты деления* образуются внутри ТВЭЛов и могут быт разделены на следующие группы:

- благородные газы (Ar, Kr, Xe);
- летучие вещества, например I; Cs
- тритий (T);
- нелетучие вещества, например La, Sr, Rb и др.

Во всех группах, кроме третьей, присутствует большое количество радионуклидов, имеющих различные периоды полураспада.

Выход продуктов деления через герметичную оболочку ТВЭЛа в охлаждающую воду возможен только за счет процесса диффузии и при появлении трещин в оболочке. Этот выход очень мал для всех радионуклидов, кроме трития.

Продукты активации возникают при активации нейтронами конструкционных материалов, примесей теплоносителя, замедлителя и самого топлива. При активации топлива образуется ряд трансурановых элементов: Np, Pu, Am и Cm. Наличие этих элементов осложняет безопасное удаление радиоактивных отходов.

Основная часть радиоактивных веществ, образующихся при работе реактора, остается в топливе. Отработавшие ТВЭЛы извлекают из реактора и хранят некоторое время в специальных хранилищах

(бассейнах выдержки) на АЭС, затем отправляют на радиохимический завод. Источниками радиоактивных отходов на АЭС являются также продукты нейтронной активации, образующиеся вне ТВЭЛов, и продукты деления, частично выделившиеся из ТВЭЛов в теплоноситель. Часть этих радиоактивных веществ выводится из реактора в систему обработки и хранения радиоактивных отходов АЭС. Другая часть становится отходами только после остановки станции на демонтаж или консервацию.

Все технологические схемы АЭС проектируются так, чтобы обеспечить практически полную изоляцию радиоактивных веществ от биосферы, а возможные утечки свести до уровня, допустимого действующими санитарными нормами и правилами.

Вывод радиоактивных веществ из реактора осуществляется системой байпасной очистки теплоносителя и конденсатоочистки (рис. 10 и 11). В реакторе ВВЭР, например, часть потока теплоносителя (20-60 т/ч) отводится из первого контура и пропускается через специальную систему водоочистки, главным элементом которой является ионообменный фильтр. В этой системе происходит также отделение газообразных примесей в результате дегазации воды. Кроме того, радиоактивные вещества могут поступать в окружающую среду вместе с протечками теплоносителя из первого контура, а также при выполнении промывочных и дезактивационных операций.

Вода, загрязненная в процессе эксплуатации первого и второго контуров (различные протечки), собирается в специальные баки и очищается на выпарных аппаратах и ионообменных фильтрах. В результате очистки загрязненных вод возникают три вида отходов – газообразные, жидкие и твердые.

Главным источником *газообразных отходов* является система байпасной очистки теплоносителя первого контура на АЭС с реакторами ВВЭР и эжектор конденсатора на АЭС с реакторами РБМК. Газообразные отходы образуются также в результате дегазации протечек теплоносителя, выхода газов при водообмене в реакторе и при отборе проб воды. Дополнительным источником газообразных отходов на АЭС служит вентиляция помещений станции.

Загрязненная вода, образующаяся в результате эксплуатации и ремонта реактора, очищается и используется вновь. *Жидкие радиоактивные отходы* представляют в основном продувку выпарных аппаратов с солесодержанием до 300 г/л и пульпу фильтроматериалов, их направляют в специальные хранилища – бетонные емкости, облицованные нержавеющей сталью.

Твердые отходы возникают после отвердения жидких отходов, использования различных материалов (бумага, тряпки, ветошь и т. п.), к твердым отходам относятся также части и детали оборудования и приборов, вышедших из строя. Отходы этой группы подвергают обработке (упаковке, прессованию) и складывают в специальные металлические ящики, которые помещают в хранилища твердых отходов АЭС.

Энергетическое производство невозможно без потерь тепла, эти потери присущи как ТЭС, работающим на органическом топливе, так и АЭС. Неизбежность *тепловых выбросов* обусловлена низким КПД использования тепловой энергии, не превышающим 33 % (обычно 22-25 %) для АЭС. Сброс низкопотенциального тепла на АЭС осуществляется только через конденсационную систему с охлаждающей водой и совсем немного с вентиляционным воздухом в отличие от ТЭС, на которых наряду с этим осуществляется значительный выброс тепла через дымовые трубы с уходящими газами (до 15 % тепла от общей тепловой мощности станции).

8.2.4. Системы защиты

Для предотвращения попадания радиоактивных веществ в окружающую среду на АЭС предусматриваются три барьера радиационной защиты:

- герметичная оболочка ТВЭЛов,
- герметичные стенки первого контура,
- защитная оболочка реакторной установки.

Стены защитной оболочки выдерживают с внутренней стороны воздействия от возможного разрушения трубопроводов и оборудования первого контура и с внешней – воздействия от ударных нагрузок (падения самолета, землетрясения, урагана и др.).

Кроме указанных систем защиты обеспечение низких выбросов радиоактивных веществ от АЭС в окружающую среду достигается целым комплексом мероприятий, к которым относятся следующие:

1. очистка газовоздушных и жидких отходов;
2. проектирование технологических схем с минимальным объемом подлежащих очистке газов и теплоносителя;
3. надежный контроль количества радиоактивных веществ (пассивное, но обязательное средство снижения выбросов), выбрасываемых в вентиляционные трубы с воздухом и в водоемы с жидкими сбросами.

О достаточной радиационной безопасности АЭС, качественно спроектированных, построенных и эксплуатируемых, свидетельствуют систематические наблюдения за воздействием их на окружающую среду при нормальной эксплуатации. В подавляющем большинстве случаев суммарные выбросы радиоактивных веществ значительно ниже предельно допустимых уровней. Однако авария на Чернобыльской АЭС сильно поколебала уверенность в безопасности атомных электростанций, а размер ущерба для людей, животного мира и народного хозяйства оказался столь высоким, что это заставляет предъявлять еще более жесткие требования к условиям обеспечения безопасности АЭС.

8.2.5. Очистка газообразных радиоактивных выбросов

Газоочистка включает два основных направления:

- очистка специально отводимых из оборудования технологических газов в стационарном режиме работы реактора, в режиме перегрузки топлива реактора, а также в различных аварийных ситуациях,
- очистка вентиляционного воздуха, поступающего в атмосферу из технологических помещений АЭС.

Очистка технологических газов

Используются два метода очистки технологических газов, состоящих в основном из азота с примесью небольших количеств водяных паров, водорода, радиоактивных благородных газов (РБГ) и различных соединений йода:

- выдержка газов в емкостях (газгольдерах);
- сорбция радиоактивных благородных газов и йода активированным углем.

Оба метода основаны на естественном распаде. Время выдержки определяется периодом полураспада радиоактивных изотопов.

Первый метод прост, но имеет недостатки, ограничивающие применение его на АЭС. Вследствие содержания в газах водорода имеется опасность образования взрывоопасной смеси. При разбавлении газов азотом (для устранения опасности взрыва) объем газгольдеров необходимо увеличить настолько, что сооружение его становится экономически нецелесообразным. Для обеспечения распада радиоактивных изотопов приходится подвергать длительному хранению

весь объем газообразных отходов, тогда как радиоактивные газы составляют лишь ничтожную долю суммарного объема. Кроме этого существует потенциальная опасность выхода радиоактивных газов из газгольдеров при его разгерметизации.

Второй (интенсивный) метод, являющийся более рациональным и перспективным, заключается в сорбции радиоактивных газов активированным углем и выдержке их в течение определенного времени. Остальная часть неактивных газов выбрасывается в атмосферу. Метод сорбции газов может быть осуществлен по двум схемам в зависимости от способа предотвращения образования взрывоопасной концентрации водорода: путем разбавления поступающего с газами водорода азотом или путем предварительного дожигания водорода в специальном аппарате. В адсорбере радиоактивные газы задерживаются до тех пор, пока не произойдет их естественный распад. Срок службы адсорбера определяется сроком сохранения механической прочности загруженного угля (примерно 8-10 лет). Метод сорбции радиоактивных продуктов на угольных фильтрах позволяет надежно обеспечить допустимые выбросы в атмосферу всех радионуклидов, кроме криптона-85, период полураспада которого более 10 лет. И хотя количество этого изотопа невелико, следует искать способы улавливания изотопов независимо от периода их полураспада с учетом перспективы развития АЭС.

Очистка вентиляционного воздуха

Расходы вентиляционного воздуха, подлежащего очистке, достигают сотен тысяч кубометров в час (100-900 тыс. $м^3$) для блока мощностью 1000 МВт.

Количество радиоактивных благородных газов в вентиляционных выбросах не представляет опасности для окружающей среды, поэтому в очистке таких объемов воздуха от РБГ нет необходимости.

Методы очистки воздуха от радиоактивных аэрозолей близки к методам очистки воздуха от неактивной пыли. В настоящее время основным средством очистки воздуха от радиоактивных веществ является *фильтрация*. Фильтры различаются формой, режимом работы, конструкцией, фильтрующими материалами и делятся на две основные группы: *грубой* (металлоткань, стекловолокно, отходы лавсана) и *тонкой очистки* (волокна перхлорвинила или ацетилцеллюлозы). Конструкция фильтров должна отвечать следующим требованиям: наибольшая поверхность фильтрующих материалов при наименьших габаритах; минимальное сопротивление фильтров; возможность легкой

замены; надежная герметизация. Степень очистки выбросов с помощью этих фильтрах более 99,9 %.

8.2.6. Очистка сточных вод

Сточные воды на АЭС разделяются на радиоактивные и нерадиоактивные.

Нерадиоактивные сточные воды обрабатываются по той же технологии, что и на ТЭС, и могут быть сброшены в водоемы после нейтрализации.

Радиоактивные сточные воды, образующиеся в процессе эксплуатации, подлежат очистке с дальнейшим повторным использованием в цикле АЭС. Сброс части этих очищенных вод в водоем допускается при условии содержания в них радионуклидов ниже ПДК. Основные радионуклиды, содержащиеся в дезактивационных и обмывочных водах АЭС, следующие: ^{52}Cr, ^{54}Mn, ^{58}Co, ^{65}Cu, ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{137}Cr, ^{140}Ba и др.

Поступая в водоемы, радиоактивные вещества достаточно быстро поглощаются водными организмами и донными отложениями, в результате чего содержание их в воде резко снижается. Однако низкая концентрация радионуклидов в воде не всегда свидетельствует о чистоте водоема в целом. Даже в пригодной для питьевых целей воде концентрация радионуклидов в водных растениях, животных и донных отложениях водоема может быть выше, чем в самой воде в сотни и тысячи раз. Радиоактивные вещества могут попасть с водой и пищей и в организм человека. Плохо растворимые нуклиды, попадая в желудочно-кишечный тракт, выводятся из организма; а хорошо растворимые нуклиды переходят в кровь и накапливаются в печени, щитовидной железе и др. Все эти особенности следует учитывать при нормировании и прогнозировании содержания радионуклидов в компонентах экосистем водоемов.

При эксплуатации АЭС образуются следующие *радиоактивные воды:*

- продувка первого контура;
- стоки бассейнов выдержки и перегрузки кассет ТВЭЛов;
- стоки контура системы управления и защиты;
- трапные воды, получающиеся при дезактивации оборудования, трубопроводов, арматуры;
- стоки санпропускников и специальных прачечных;
- стоки, сбрасываемые радиохимическими лабораториями.

Все эти воды очищаются на спецводоочистке. Основными отличительными *особенностями* ее является

- наличие устройств биологической защиты технологического оборудования спецводоочистки,
- необходимость дезактивации оборудования при проведении ремонтных работ,
- жесткие требования по снижению количества сбрасываемых с водоочистки и подлежащих захоронению отходов.

При выборе метода очистки очень важно, чтобы применяемые методы очистки позволяли извлекать радиоактивные примеси не избирательно (как, например, при коагуляции), а все без исключения, поэтому наиболее эффективными методами являются *дистилляция и ионный обмен*.

Для обработки радиоактивных вод используют следующее оборудование.

Осветлители применяют в качестве первой ступени очистки для вод в значительной степени загрязненных механическими примесями и маслом. В связи с трудностями захоронения радиоактивного шлама применяется схема без коагуляции.

Фильтры, как механические, так и ионообменные, в зависимости от типа фильтрующего материала используют для очистки радиоактивных вод от механических, коллоидных и растворенных примесей.

Магнитный и электромагнитный фильтры предназначаются для удаления из воды продуктов коррозии в дисперсной форме.

Выпарные аппараты предназначены для очистки воды от растворенных активных и неактивных примесей методом термической дистилляции.

Дегазаторы предназначены для удаления из воды растворенных газов, включая углекислоту и РБГ.

Очистка радиоактивных вод приводит к образованию жидких радиоактивных отходов, которые направляются в хранилище жидких отходов (ХЖО). Емкости ХЖО представляют собой баки из нержавеющей стали, установленные в бетонных отсеках с поддонами и рассчитанные на прием и выдержку жидких радиоактивных отходов в течение 5 лет. Отвод радиоактивных газов из емкостей ХЖО производится продувкой воздухом с последующей его очисткой. Стоимость хранения жидких отходов очень высока. В настоящее время

совершенствуются методы по переработке жидких отходов в твердые, что значительно уменьшает капитальные и текущие затраты на их хранение.

8.2.7. Хранение и захоронение отходов АЭС

При эксплуатации АЭС образуется три основных типа радиоактивных отходов: отработавшее топливо, отходы эксплуатации реакторов, отходы демонтажа.

Отработавшее ядерное топливо представляет собой спрессованные таблетки диоксида урана, заключенные в герметичную оболочку – ТВЭЛы. Радиоактивность отработавших ТВЭЛов очень высокая.

Отходы эксплуатации реакторов включают: отходы очистки теплоносителя от радиоактивности, отходы при технологическом обслуживании и ремонте реакторов и регулирующие стержни.

Радиоактивные отходы по удельной активности делятся на *отходы низкой, средней и высокой удельной активности*.

Низкоактивные отходы радиационно опасны только при попадании внутрь организма человека. *Среднеактивные отходы* опасны и как источник внешнего облучения, поэтому нужна защита от проникающего излучения этих радионуклидов. Отходы низкой и средней активности присущи начальным звеньям ЯТЦ от добычи урана до АЭС.

Отходы высокой удельной активности имеют настолько высокую активность, что кроме радиационной защиты требуют охлаждения в течение длительного времени. Отходы высокой удельной активности образуются при переработке топлива, выгруженного из реакторов. Для распада продуктов деления в них до уровня, близкого к естественной радиоактивности урановой руды, необходимо около 600 лет.

В первые годы использования ядерной энергии обработке отходов уделялось мало времени. *Низко- и среднеактивные отходы* обычно захоранивались в поверхностных слоях земли после минимальной предварительной обработки. Некоторые страны сбрасывали такие отходы в море. В настоящее время в связи с образованием больших объемов низкоактивных жидких и твердых отходов на АЭС главное внимание уделяется их обработке для уменьшения объемов в результате упаривания, ионного обмена и химического осаждения.

Высокоактивные жидкие отходы хранились обычно в больших емкостях, изготовленных из углеродистой или нержавеющей стали, которые размещали на уровне и немного ниже уровня земли. Способ хранения высокоактивных отходов в жидком виде имеет серьезные недостатки (необходимость контроля состояния отходов в течение многих десятков лет, коррозия емкостей, радиолиз воды и т. д.), поэтому в настоящее время большое внимание уделяется изучению методов перевода жидких высокоактивных отходов в твердые формы, сводящие к минимуму возможность рассеяния их при транспортировке и хранении. Разрабатываются и осваиваются различные методы отверждения: *выпаривание, битумирование, остекловывание, кальцинирование, цементирование.* Остекловывание считается технологически наиболее приемлемым процессом подготовки высокоактивных отходов к захоронению.

При сооружении первых АЭС для хранения *отработавшего топлива* создавались бассейны, рассчитанные на выдержку в них топлива в течение 2-3 лет, после чего предполагалось, что оно будет доставляться на перерабатывающий завод. Однако в большинстве стран первоначальные программы по переработке топлива были отложены и возникли проблемы безопасного хранения топлива на самих АЭС и создания централизованных долговременных хранилищ.

Проблему хранения отработавшего топлива можно решать несколькими путями. Первый путь – расширение вместимости существующих прireакторных бассейнов за счет использования компактных стеллажей, двойных ярусов и уплотнения стержней. Другим решением проблемы промежуточного хранения ТВЭЛов на АЭС является повышение вместимости бассейна выдержки посредством введения поглощающих материалов. Вместимость бассейна выдержки при этом возрастает в 2-3 раза. В оболочках из циркония и нержавеющей стали топливо может храниться в бассейнах выдержки более 20 лет. Перспективным методом хранения отработавшего топлива является его сухое хранение в специально сооруженном хранилище в воздушной среде, в инертном газе или в диоксиде углерода. Исследования показали, что этот метод, как с технической, так и с экономической точки зрения может конкурировать с технологией хранения топлива в водных бассейнах и с другими методами сухого хранения.

Высокое остаточное тепловыделение препятствует компактному захоронению отходов высокой активности, а наличие в их составе долгоживущих радионуклидов и трансурановых элементов требует

изоляции ядерных отходов на десятки тысяч лет. Проблемы широкого захоронения высокоактивных радиоактивных отходов, отработавшего ядерного топлива в настоящее время продолжают разрабатываться. Изучаются следующие методы захоронения радиоактивных отходов – захоронение в континентальных геологических формациях, на морском дне или под ним, облучение долгоживущих трансурановых элементов в реакторах – «ядерная трансмутация», выброс отходов с помощью ракет за пределы земной атмосферы.

В качестве мест захоронения отходов топлива в США изучаются соляные купола в долине Миссисипи, соляные отложения нефтяного бассейна в штате Техас, вулканический туф из Национальной станции испытаний реакторов в штате Невада и потоки базальтовой лавы близ ядерного центра в Хэнворде.

Таким образом, проблемы хранения и захоронения радиоактивных отходов требуют тщательной разработки, чтобы обезопасить население и окружающую среду от вредного их действия.

8.3. Гидроэлектростанции

Объективная необходимость развития гидроэнергетики определяется следующими основными факторами:

- требованиями сократить использование органического топлива для выработки электроэнергии;
- требованиями увеличить количество маневренных мощностей в энергетических системах страны в целях повышения надежности и бесперебойности электроснабжения;
- ростом потребностей народного хозяйства в воде и в связи с этим необходимостью за счет перераспределения стока водохранилищ ГЭС создания благоприятных возможностей для комплексного использования водных ресурсов;
- ростом комплексного значения ГЭС для нужд энергетики, сельского хозяйства, водного транспорта, борьбы с наводнениями и т. п.

Существенное отличие ГЭС от тепловых – это высокая маневренность, т. е. возможность практически мгновенного автоматического пуска и отключения любого требуемого количества агрегатов с набором и сбросом полной мощности в считанные минуты. Это позволяет использовать мощные ГЭС в качестве «пиковых» электростанций, обеспечивающих устойчивую работу крупной энергосистемы, и в этом заключается их основное достоинство.

Уникальной особенностью гидроэлектростанций как источника

энергии является использование возобновляемого гидроэнергетического ресурса. Для ГЭС не требуется топливной базы и транспортирования топлива, которые служат дополнительным источником отрицательного воздействия на окружающую среду.

Гидроэлектростанции представляют собой наиболее простые устройства для получения электроэнергии. Вода как энергоноситель поступает на ГЭС в турбину из созданного плотиной водохранилища (верхнего бьефа), количество ее регулируется с помощью поворота лопастей направляющего аппарата гидротурбины. Отработавшая вода уходит в нижний бьеф реки, не причиняя никаких дополнительных хлопот. Себестоимость электроэнергии, вырабатываемой ГЭС, в среднем в 4 раза ниже, чем у тепловых станций, а ее окупаемость во столько же раз более быстрая.

ГЭС можно разделить на две большие группы: ГЭС на крупных равнинных реках и ГЭС на горных реках. И те, и другие требуют строительства плотин, с помощью которых создается необходимый запас воды в водохранилищах и соответствующий ее напор для обеспечения равномерной работы ГЭС в течение всего года. Сооружение мощных ГЭС на равнинных реках менее рентабельно, чем на горных. Но строительство мощных равнинных ГЭС зачастую бывает вынужденным из-за необходимости создания нормального судоходства и главное – для орошения огромного количества сельскохозяйственных угодий, а не только для получения электроэнергии.

Нередко, когда говорят о гидроэнергии, называют ее наиболее *экологически чистой*. В отличие от тепловых электростанций, работающих на органическом топливе, гидроэлектростанции не выбрасывают в атмосферу вредные вещества, не спускают в водоемы загрязненные стоки и подогретую воду. Однако гидроэлектростанции и их водохранилища (особенно крупные) оказывают другие многообразные воздействия на окружающую природную среду. Влияние гидроэлектростанций на природу связано со строительством гидроузлов, перегораживающих русло рек, создающих подпор и изменяющих во времени речной сток. Это влечет за собой нарушение природных процессов, имеющих как отрицательные, так и положительные последствия.

Отрицательные последствия строительства гидроэлектростанций могут быть прямыми и косвенными.

Прямое воздействие проявляется в изъятии земельных ресурсов в результате постоянного и временного затопления земель, большая часть которых относится к высокопродуктивным. Компенсация земель,

отводимых под строительство объектов электроэнергетики, является одной из важных составляющих восстановления сельскохозяйственного фонда. В состав компенсационных мероприятий, как правило, входят освоение новых земель – целинных, залежных, неудобий из-под леса и кустарника, малопродуктивных выгонов и сенокосов; орошение и осушение используемых земель и т. п.

Очень важной для Сибирских водохранилищ является проблема затопления массивов леса, который мог бы найти применение в лесохимической и деревообрабатывающей промышленности. Кроме того, затопленный лес мешает судоходству и рыболовству, а всплывающая древесина создает серьезные трудности и при эксплуатации ГЭС. Очистка от затопленного леса водохранилищ для действующих станций Ангаро-Енисейского каскада осложняется необходимостью создания и широкого использования техники для работы на плаву по удалению леса под водой. Очистка же от леса площадей будущих водохранилищ для получения деловой древесины оказывается нерентабельной из-за высокой стоимости лесоразработки, что вызвано удаленностью территорий при отсутствии дорог. В этой связи заслуживает внимания предложение по включению очистки леса водохранилищ в проект основных работ при сооружению ГЭС.

Прямые отрицательные воздействия заключаются в переформировании берегов и дна водохранилищ; размыве русел и берегов рек ниже гидроузлов, изменении почвенного и растительного покровов, условий обитания флоры и фауны в долинах рек и самого водотока, изменении качества воды. В зоне водохранилища резко уменьшается проточность, турбулентность воды, сокращается водообмен, создаются условия для возникновения застойных зон. Затопленные плодородные почвы и растительность обогащают воду большим количеством питательных элементов. Это приводит к изменению гидрохимического состава воды, созданию благоприятных условий для увеличения биологической продуктивности водоема (рост микроорганизмов, фито- и зоопланктона). Рост этой продукции в определенных пределах соответствует интересам рыбного хозяйства, но вода может стать непригодной для нужд водоснабжения в питьевых и коммунальных целях. Водоемы становятся непригодными для отдыха.

Кроме того, наличие плотины является серьезным препятствием для нерестового хода рыбы, иногда и для развития водного транспорта. В Сибири лишь на Новосибирской ГЭС действует система шлюзов, а на Красноярской ГЭС есть судоподъемники. На других ГЭС судопропускные сооружения отсутствуют.

Создание водохранилищ может иногда способствовать

возникновению или повышению сейсмической активности в прилегающих к ним районам.

Отрицательное воздействие водохранилищ заключается и в увеличении потерь воды на испарение, а также в изменении температурного режима воды, так как летом и осенью температура воды в водохранилище (в нижнем бьефе) ниже, чем в реке, а зимой – выше.

К косвенным воздействиям относится локальное изменение климата, которое проявляется в повышении влажности воздуха, образовании частых туманов, изменении направления и скорости ветра.

Сооружение и эксплуатация ГЭС на северных реках, например в Якутии, вызывает целый ряд негативных последствий. В частности, водохранилища вскрываются ото льда заметно позже рек со свободным течением, ледяные заторы дают дополнительных разлив с затоплением территорий, лед на водохранилищах может вообще не растаять в течение лета. При высокой льдистости грунта (до 50 %) наблюдается практически не ограниченная многолетняя переработка береговой линии водохранилищ, разрушение берегов. Внутригодовое перераспределение речного стока качественно меняет гидрологический режим: грунт не насыщается весенними паводками, мелеют, исчезают непроточные озера вдоль рек. Зимнее движение воды, обеспечиваемое водохранилищем, вызывает образование мощных наледей, которые не дают возможности использовать реки для автозимников. Затопленные леса (очистка ложа водохранилищ от них неэкономична) приводят к качественному ухудшению состава воды в водохранилищах, снижению концентрации кислорода и образованию фенола при подводном гниении древесины.

К *положительным последствиям* влияния гидроэлектростанций и их водохранилищ можно отнести: преобразование гидрографической сети; осуществление необходимого для народного хозяйства комплексного перераспределения стока во времени для нужд энергетики, орошения, водного транспорта и т. д., уменьшение или полная ликвидация таких вредных явлений природы, как наводнения, сели, маловодья; улучшение природных условий; оздоровление прилегающих территорий; смягчение климата; водное благоустройство и др. Кроме этого большие водохранилища отвечают интересам санитарии реки, рыбного и сельского хозяйства, позволяя осуществить «санитарный сброс воды» через специальные водосливы, минуя турбины. Именно в крупных водохранилищах наиболее интенсивно

происходит самоочищение воды, так необходимое при нынешних масштабах загрязнения.

Таким образом, гидроузлы оказывают воздействие на все природные сферы – на водные и земельные ресурсы, растительный и животный мир, атмосферу, геологическую сферу. Многие из перечисленных отрицательных явлений являются следствием не реализации самой идеи ГЭС, а неправильного проектирования, строительства и неоптимального режима эксплуатации ГЭС.

8.4. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии

К нетрадиционным источникам электроэнергии относятся геотермальные электростанции (ГеоЭС), ветроэлектростанции (ВЭС), солнечные (СЭС), океанические (ОЭС), приливные (ПЭС), биоэнергетические и др.

Общим у всех этих электростанций является использование возобновляемых первичных источников энергии и не требуется сопутствующего развития и эксплуатации ни топливной базы, ни транспорта топлива.

Перечисленные выше типы нетрадиционных источников в экспериментальном исполнении имеются как за рубежом, так и в России, в том числе Кислогубская ПЭС мощностью 400 кВт; Паужетская ГеоЭС на Камчатке мощностью 11 МВт; Крымская СЭС мощностью 5 МВт; ряд ветроустановок с агрегатами мощностью до 250 кВт, из которых можно собирать более мощные ВЭС.

Опыт проектирования и строительства указанных электроустановок свидетельствует об их технической осуществимости, однако при весьма низкой экономической эффективности, что заставляет скептически относиться к вероятности их широкого использования. С достаточной осторожностью надо подходить и к оценке их экологической безвредности.

Все перечисленные энергоустановки будут занимать значительные территории. На первом месте по этому показателю находятся *ветроустановки*, удельная потребность которых в земельных ресурсах приближается к удельным изъятиям земель для гидроэлектростанций. Крупным экологическим недостатком ветровых установок является создаваемый ими шум, распугивающий птиц и мелких животных, требующий достаточного удаления ВЭС от населенных пунктов. Кроме

того установки могут вызвать затруднения для воздушного транспорта, ветродвигатель может также вызывать искажение сигналов телевидения. Ветровые электростанции целесообразно применять в районах, где скорости ветра более 4-5 м/с. Наиболее мощная ВЭС (650 кВт), эксплуатируемая во Франции, имеет ветровое колесо диаметром до 30 м.

На втором месте по изъятиям земельных ресурсов среди нетрадиционных источников электроэнергии находятся *солнечные установки*, мощность которых прямо зависит от площади, занимаемой отражателями (зеркалами) или батареями фотоэлементов. Для строительства солнечной электростанции мощностью 1 МВт требуется площадь, сопоставимая с территорией для строительства ТЭС или АЭС, включая земляные работы по добыче топлива и складированию продуктов его сгорания. Но основное вредное воздействие гелиоустановок косвенное – это технологические процессы производства новых соединений, в том числе на основе редкоземельных элементов, присутствующих в земных породах в чрезвычайно малых концентрациях.

По условиям загрязнения окружающей среды на первое место среди названных выше нетрадиционных источников электроэнергии следует поставить *геотермальные* установки, использующие пар и горячую воду, поступающие из земных недр. Геотермальная энергетика заслуживает особого внимания с точки зрения влияния на окружающую среду, так как это наиболее развивающаяся отрасль «экзотической» энергетики (в конце 70-х годов в Новой Зеландии вырабатывалось 40 % всей энергии, подземное тепло полностью обеспечивает потребности столицы Исландии – Рейкьявика, с 1967 г. действует первая геотермальная электростанция на Камчатке). Этот источник энергии характеризуется разноплановым воздействием на окружающую среду – на земную поверхность выносится дополнительное количество растворенных в подземных водах соединений серы, бора, мышьяка, ртути, в воздух выбрасываются водяные пары, что дает местное повышение влажности и сопровождается акустическим воздействием. При интенсивном выводе на поверхность подземных вод возможно местное обширное опускание земной поверхности, что ведет не только к нарушению устойчивости сооружений, но и к изменению ландшафта. Опускание поверхности земли вместе с уменьшением пластовых давлений может повысить сейсмичность районов интенсивного использования подземного тепла, а таковыми обычно являются

местности с проявлением современной вулканической деятельности и так характеризующиеся высокой сейсмичностью.

Экологические последствия сооружения *приливных* электростанций, вырабатывающих электроэнергию в результате преобразования энергии морских приливов, в первую очередь связаны с изъятием больших акваторий морских и океанских заливов, с неблагоприятным влиянием на морскую фауну, накоплением в водохранилищах ПЭС различных загрязняющих веществ. Кроме этого, энергия приливов может быть использована лишь совместно с энергией другой энергосистемы, которая восполнит дефицит мощности в пределах суток.

Океанические электростанции основаны на использовании потенциала температурного градиента южных морей и океанов, составляющего миллиарды кВт. В ряде стран разработаны проекты ОЭС, в которых поверхностная вода с температурой 25-30^{o}C используется для испарения низкокипящей жидкости (аммиак, фреон, изобутан), а конденсатор охлаждается глубинной водой с температурой 6-8 ^{o}C. Коэффициент полезного действия ОЭС при нагреве рабочего тела на 10-12 ^{o}C составляет 3-4 %. Влияние океанических станций на окружающую среду сводится к гидродинамическому и тепловому возмущению прилегающих районов океана.

Приведенные примеры использования некоторых нетрадиционных возобновляемых энергетических ресурсов показывают, что отрицательное действие их на окружающую среду может быть столь же высоко как при использовании традиционных установок. Но оно обусловлено прежде всего косвенным влиянием – необходимостью переработки сырья для производства большого количества высококачественных материалов (например, извлечение редких элементов для солнечных батарей, легирование сплавов для агрессивных сред), большими суммарными энергозатратами. Такие возобновляемые источники, как ветер, солнечная энергия, характеризуются существенной неравномерностью, следовательно, необходимы устройства для аккумулирования энергии. Что касается прямого влияния, то преобразование первичной энергии возобновляемых источников во вторичную не дает в целом отрицательного воздействия на биосферу, однако при массовом развитии новых установок специфическое воздействие может также наблюдаться. Поэтому при определении стратегии развития энергетики

необходимо считаться с тем, что и нетрадиционные источники электроэнергии будут оказывать определенное, а в некоторых случаях и весьма значительное, отрицательное воздействие на окружающую среду.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Масштабы воздействия человека на окружающую среду огромны. Интенсивному воздействию подвергаются все компоненты окружающей среды, из которых наиболее важны для человека атмосферный воздух, пресная вода и почва.

Виды, источники и пути загрязнения окружающей среды различны и многообразны: выбросы в атмосферу химических соединений и смесей; слив в водную среду (реки, моря, подземные воды) всевозможных производственных отходов и сточных вод, попадание в нее нефтепродуктов; засорение почвы твердыми отходами; повышение уровня ионизирующей радиации, шума, вибрации, а также тепловые выбросы в атмосферу и водный бассейн.

Самыми распространенными веществами, загрязняющими атмосферу, являются: оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота, углеводороды, а также пыль. Известно более 200 загрязняющих атмосферу веществ, причем по мере освоения новых технологических процессов их число возрастает. В некоторых случаях влияние на окружающую среду усиливается в результате образования в атмосфере под воздействием солнечного света новых веществ из содержащихся в выбросах.

Серьезное опасение вызывает загрязнение пресных вод, являющихся и природным ресурсом деятельности человека, и одновременно жизненно необходимым благом. Промышленные предприятия, сельское хозяйство и транспорт загрязняют водоемы всевозможными химическими соединениями: соли, кислоты, основания, углеводороды, различные взвеси, поверхностно-активные вещества, удобрения и ядохимикаты. Одним из опасных видов органического загрязнения воды является загрязнение нефтью и нефтепродуктами.

Исключительно важной современной проблемой является сохранение почвы. Немалые потери почвы происходят из-за отчуждения пахотных и других пригодных для сельскохозяйственного использования земель под городскую застройку, прокладку дорог, промышленные площадки, свалки отходов и др.

Таким образом, экологические последствия деятельности человека сводятся к нарушению естественно протекающих процессов в отдельных компонентах окружающей среды и во всей биосфере. Поэтому изучение влияния важнейших отраслей народного хозяйства на окружающую среду и разработка мероприятий по снижению негативного влияния производственной и хозяйственной деятельности человека – одна из важнейших задач современности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калыгин В.Г. Промышленная экология: учебное пособие – М.: Академия, 2006. – 432 с.
2. Бородин Ю.В. Промышленная экология: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 120 с.
3. Черепанов К.А., Темлянцев М.В., Темлянцева Е.Н. Промышленная экология: учебное пособие – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – 212 с.
4. Николайкина Н.Е., Николайкин Н.И., Матягин А.М. Промышленная экология. Инженерная защита биосферы от воздействия воздушного транспорта: учебное пособие – М.: Академкнига, 2006. – 239 с.
5. Гарин В.М., Кленова И.А., Колесников В.И. Промышленная экология: учебное пособие – М.: Маршрут, 2005. – 327 с.
6. Звягинцев Г.Л. Промышленная экология и технология утилизации отходов – Харьков: Вища школа, 1986. – 143 с.
7. Бесков В.С., Сафронов В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии: учебник для вузов. – М.: Химия, 1999. – 472 с.
8. Технология важнейших отраслей промышленности / Под ред. А.М. Гинберга. – М.: Высш. шк., 1985. – 496 с.
9. Технология важнейших отраслей промышленности / Под ред. Н.В. Ченцова. – Минск: Высш. шк., 1977. – 374 с.
10. Ансеров Ю.М., Дурнев В.Д. Машиностроение и охрана окружающей среды. – Л.: Машиностроение, Лен. отделение, 1979. – 224 с.
11. Белов П.С., Голубева И.А., Низова С.А. Экология производства химических продуктов из углеводородов нефти и газа: учеб. для вузов. – М.: Химия, 1991. – 256 с.
12. Беккер А.А., Агаев Т.Б. Охрана и контроль загрязнения

природной среды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 286 с.

13. Охрана окружающей среды / Под ред С.В. Белова. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.

14. Новиков Ю.В. Охрана окружающей среды. – М.: Высш. шк., 1987. – 287 с.

15. Глухов В.В., Лисочкина Т.В., Некрасова Т.П. Экономические основы экологии. – СПб: Спец. лит., 1995. – 280 с.

16. Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н. Инженерная экология. Общий курс. Т 1. – М.: Высшая шк., 1996. – 637 с.

17. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 638 с.

18. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Инженерная геология и охрана окружающей среды. – Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1993. – 347 с.

19. Спичак Ю.Н., Ткачев В.Л. , Кипко А.Э. Охрана окружающей среды и рациональное использование месторождений полезных ископаемых: учеб. для техникумов. – М.: Недра, 1993. – 170 с.

20. Степанов В.А. Охрана природы: Текст лекций. – Л.: ЛГИ, 1983. – 66 с.

21. Николин В.И., Матлак Е.С. Охрана окружающей среды в горной промышленности. – Киев, Донецк: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 192 с.

22. Захаров Е.И., Лебедкова А.А. Охрана окружающей среды для студентов горн. спец. – Тула: Тул. политехн. ин-т, 1987. – 92 с.

23. Панов Г.Е., Петряшин Л.Ф., Лысянский Г.Н. Охрана окружающей среды на предприятиях нефтяной и газовой промышленности. – М.: Недра, 1986. – 244 с.

24. Булатов А.И., Макаренко П.П., Шеметов В.Ю. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности. – М.: Недра, 1997. – 484 с.

25. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993 – 206 с.

26. Охрана окружающей среды в нефтеперерабатывающей промышленности / А.П. Шицкова, Ю.В. Новиков, Л.С. Гурвич, Н.В. Климкина. – М.: Химия, 1980. – 174 с.

27. Суханов В.П. Переработка нефти. – М.: Высш. шк., 1979. – 335 с.

28. Белов П.С., Голубева И.А., Низова С.А. Экология производства химических продуктов из углеводородов нефти и газа: учеб. для вузов. – М.: Химия, 1991. – 256 с.

29. Охрана окружающей среды в нефтеперерабатывающей и химической промышленности / Е.Н. Мокрый, Х.З. Котович, В.В. Гуменецкий, О.И. Гринив. – Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1989. – 158 с.

30. Охрана окружающей среды от загрязнений предприятиями черной металлургии. – М.: Металлургия, 1982. – 208 с.

31. Юдашкин М.Я. Пылеулавливание и очистка газов в черной металлургии. – М.: Металлургия, 1984. – 320 с.

32. Рышка Э. Защита воздушного бассейна от выбросов предприятий черной металлургии. – М.: Металлургия, 1979. – 240 с.

33. Бринза В.Н., Зиньковский М.М. Охрана труда в черной металлургии. – М.: Металлургия, 1982. – 336 с.

34. Охрана окружающей среды: учеб. для техн. спец. вузов / С.В. Белов, Ф.А. Барбинов, А.Ф. Козяков и др. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.

35. Никифоров В.М. Технология металлов и конструкционные материалы: учеб. для сред. спец. учеб. завед. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1987. – 363 с.

36. Казаков Н.Ф., Осокин А.М., Шишкова А.П. Технология металлов и других конструкционных материалов. – М.: Металлургия, 1975. – 687 с.

37. Аникеев В.А., Копп И.З., Скалкин Ф.В. Технологические аспекты охраны окружающей среды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 255 с.

38. Ансеров Ю.М., Дурнев В.Д. Машиностроение и охрана окружающей среды. – Л.: Машиностроение, 1979. – 224 с.

39. Бучило Э. Очистка сточных вод травильных и гальванических отделений. – М.: Металлургия, 1974. – 200 с.

40. Мосталыгин Г.П., Толмачевский Н.Н. Технология машиностроения: учеб. для вузов по инж.-экон. спец. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.

41. Павлова Е.И., Буралев Ю.В. Экология транспорта. – М.: Транспорт, 1998. – 231 с.

42. Никитин Д.П., Новиков Ю.В. Окружающая среда и человек: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Высшая шк., 1986. – 415 с.

43. Яншин А.Л., Мелуа А.И. Уроки экологических просчетов. – М.: Мысль, 1991. – С. 348-352.

44. Хефлинг Г. Тревога в 2000 году. Бомбы замедленного действия на нашей планете. – М.: Мысль, 1990. – 272 с.

45. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2001 – 273 с.

46. Зайцев В.А. Промышленная экология: Учеб. пособие. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2000. – 130 с.

47. Никитин Д.П., Новиков Ю.В. Окружающая среда и человек: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 1986. – 415 с.

48. Экологические проблемы энергетики. / Отв. ред. А.А. Папин. – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1989. – 322 с.

49. Скалкин Ф.В., Канаев А.А., Копп И.З. Энергетика и окружающая среда. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отделение, 1981. – 280 с.

50. Энергетика и природа: Экологические проблемы развития электроэнергетики. / Под ред. Г.Н. Лялика и А.Ш. Резниковского. М.: Энергоатомиздат, 1995. – 352 с.

51. Жабо В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.

52. Кашковский В.В. Прикладная экология и радиационная безопасность: учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 172 с.

53. Гридэл Т. Е., Алленби Б.Р. Промышленная экология: учебное пособие – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 527 с.

54. Варенков А.Н., Костиков В.И. Химическая экология и инженерная безопасность металлургических производств: учебное пособие для вузов – М.: Интермет Инжиниринг, 2000. – 382 с.

55. Инженерная экология: учебник / Под ред. В.Т. Медведева. – М.: Гардарики, 2002. – 687 с.

56. Инженерная экология и экологический менеджмент: учебник / Под ред. Н.И. Иванова и И.М. Фадина. – М.: Логос, 2002. – 528 с.

57. Пугач Л.И. Энергетика и экология: учебник – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 504 с.

58. Экология энергетики: учебное пособие / Под ред. В.Я. Путилова. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 715 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

Глава 1.....4
Производство и окружающая среда.....4
1.1. Система «Химическое производство – окружающая природная среда» 4
1.1.1. Система и ее основные свойства 4
1.1.2. Воздействие химического производства на окружающую природную среду.....6
1.1.3. Основные факторы окружающей природной среды 7
1.2. Общие положения о производственном процессе 10
1.2.1. Химическое производство и химико-технологический процесс 11
1.2.2. Показатели эффективности химического производства и химико-технологического процесса.....14
1.3. Химико-технологическая система 17
1.3.1. Химико-технологический процесс как химико-технологическая система.....17
1.3.2. Сырьевые ресурсы химико-технологической системы 20
1.3.2.1. Характеристика и запасы сырья 20
1.3.2.2. Принципы обогащения сырья 22
1.3.2.3. Комплексное использование сырья.....24
1.3.2.4. Воздух и вода как сырье химической промышленности 25
1.3.2.5. Промышленная водоподготовка.....28
1.3.2.6. Водообеспечение промышленных предприятий 32
1.3.3. Энергетические ресурсы химико-технологической системы ..38
1.3.3.1. Энергия в химическом производстве.....38
1.3.3.2. Рациональное использование энергии 41
1.3.3.3. Вторичные энергетические ресурсы 42
1.3.4. Отходы производства 43
1.4. Взаимодействие производства и окружающей среды 45
1.4.1. Классификация и основные характеристики загрязнения окружающей среды 47
1.4.2. Классификация и краткая характеристика методов охраны окружающей среды 51

Глава 2.....57
Горно-добывающая промышленность.....57

2.1. Загрязнение атмосферного воздуха при разработке месторождений 58
2.2. Мероприятия, снижающие негативные последствия локального загрязнения воздушной среды 61
Основные причины загрязнения атмосферного воздуха 62
Выдача из подземных выработок рудничного воздуха 62
2.3. Загрязнение вод в процессе разработки месторождений 67
2.4. Мероприятия, снижающие загрязнение вод и ограничивающие изменение их режимов 69
2.5. Нарушение земной поверхности при разработке месторождений 73
2.6. Мероприятия, снижающие нарушения земной поверхности 75
2.7. Шум и вибрация при разработке месторождений 77

Глава 3 81
Нефтедобывающая промышленность 81
3.1. Добыча нефи и газа 81
3.2. Источники загрязнения окружающей среды 83
3.3. Выбросы основных технологических процессов 86
3.4. Защита атмосферы 88
3.5. Сточные воды при бурении, добыче, транспорте и хранении нефти и газа 91
3.6. Методы очистки сточных вод, образующихся при бурении и добыче нефти и газа 97
3.7. Загрязнение почвы нефтью 100

Глава 4 105
Нефтеперерабатывающая промышленность 105
4.1. Основные источники образования и состав сточных вод 105
4.2. Мероприятия по защите водных объектов 109
4.3. Очистка сточных вод 111
4.4. Выбросы в атмосферный воздух 115
4.5. Мероприятия по охране атмосферного воздуха 117
4.6. Обезвреживание и переработка шламов 119

Глава 5 121
Черная металлургия 121
5.1. Источники загрязнения атмосферы 122
5.2. Очистка газообразных выбросов 130
5.3. Характеристика сточных вод и их очистка 133
5.4. Отходы металлургического производства 136

Глава 6.....137
Машиностроение.....137
6.1. Загрязнения атмосферы и производственные сточные воды.....138
6.2. Загрязнение почвы отходами машиностроительных предприятий 152
6.3. Энергетическое загрязнение.....153
6.4. Очистка выбросов в атмосферу.....155
6.5. Очистка производственных сточных вод.....157
6.6. Утилизация твердых отходов.....164
6.7. Борьба с шумом и вибрацией.....165

Глава 7.....166
Транспорт.....166
7.2. Шумовое воздействие транспорта.....173
7.3. Специфика влияния видов транспорта на окружающую среду 176
7.4. Природоохранные мероприятия.....183

Глава 8.....192
Энергетика.....192
8.1. Тепловые электростанции.....192
8.1.1. Выбросы загрязняющих веществ.....193
8.1.2. Охрана атмосферного воздуха.....197
8.1.3. Характеристика сточных вод технологических систем ТЭС.206
8.1.4. Охрана от отрицательного воздействия сточных вод ТЭС....209
8.1.5. Другие виды воздействия ТЭС на окружающую среду.....214
8.1.6. Охрана земельных ресурсов.....215
8.2. Атомные электростанции.....216
8.2.1. Ядерный топливный цикл и его воздействие на биосферу.....216
8.2.2. Ядерное топливо, типы ядерных реакторов.....219
8.2.3. Радиоактивные вещества, образующиеся при работе АЭС....223
8.2.4. Системы защиты.....225
8.2.5. Очистка газообразных радиоактивных выбросов.....226
8.2.6. Очистка сточных вод.....228
8.2.7. Хранение и захоронение отходов АЭС.....230
8.3. Гидроэлектростанции.....232
8.4. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии.....236

Заключение.....239

Список литературы.....240

Учебное издание

БОНДАЛЕТОВА Людмила Ивановна
БОНДАЛЕТОВ Владимир Григорьевич

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Учебное пособие

Научный редактор
кандидат наук, В.Т. Новиков

Редактор О.М. Васильева

Подписано к печати 00.00.2008. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 000. Уч.-изд.л. 000.
Заказ XXX. Тираж XXX экз.

Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.