

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инженерной экологии и химии

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лекционным и практическим занятиям по курсу

«ЭКОЛОГИЗАЦИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ»

для студентов и магистрантов технических специальностей,
слушателей Института повышения квалификации
и переподготовки кадров

УДК [(504.5+628.5):66](07)

Конспект лекций и методические указания содержат конспект лекций, в который включены сведения о технологических и экозащитных процессах, классификация производственных загрязнений, рассмотрены методы организации безотходных и малоотходных производств, приведено описание методов очистки жидких стоков, отходящих газов и утилизации твёрдых промышленных отходов, а также характеристика аппаратурного оформления. В практической части предложены темы семинарских занятий, а также темы рефератов, рекомендуемые для проведения диспутов и «круглых столов».

Составители: Тур Э.А., *к.т.н., доцент, зав. кафедрой инженерной экологии и химии*
Бондарь К.В., *м.т.н., ассистент кафедры инженерной экологии и химии*
Учреждения образования «Брестский государственный технический университет»

Рецензент: *Ступень Н.С., к.т.н., доцент, доцент кафедры химии Учреждения образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»*

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. МАТЕРИАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС

Научно-технический прогресс в современной промышленности отличают следующие направления:

1) совершенствование средств труда (создание аппаратов многофункционального действия; укрупнение оборудования; повышение надёжности и коррозионной стойкости аппаратуры; применение новых конструкционных материалов и ингибиторов коррозии; повышение гигиенических требований к аппаратуре и её работе);

2) рациональное использование сырья (внедрение методов комплексной переработки сырья и создание малоотходных технологий; изменение баланса сырья: замена пищевого на техническое, использование более дешёвого и распространённого сырья);

3) изменение существующих и создание новых технологий (совершенствование методов переработки осуществляется за счёт использования в процессе переработки более высоких температур, давлений и скоростей потока реагентов; применение новых высокоэффективных катализаторов; введение в практику экстремальных (ультразвук, радиационное облучение) и щадящих (ферментативные процессы) воздействий на систему; реализация техпроцессов в плазме и магнитном поле; введение новых энергосберегающих технологий путём замены тепловых процессов массообменными; создание гибких, легко перестраиваемых малостадийных технологий;

4) всесторонняя автоматизация производства (сокращение старых, нерациональных производств; развитие высоких технологий; переоснащение производств, улучшение условий труда.

Следует учитывать возможность негативных последствий от использования научных достижений (засоление почвы, отравление речных стоков, разрушение природных экологических систем). Социальная ответственность современных инженеров-экологов предполагает учёт всех возможных негативных последствий, а также добровольный отказ от некоторых направлений научных исследований.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКОЗАЩИТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Классификация экозащитных процессов (аналогично классификации химико-технологических процессов) может быть проведена в зависимости от разных факторов: от фазового состояния вещества (т.е. от размера частиц примесей) в растворе или воздухе; от количества и состава загрязнений; от скорости протекания процессов, от природы протекающих процессов и т.д.

Согласно концепции депонирующих сред, основной средой, способной накапливать и перемещать примеси, является водная среда. Следовательно, в первую очередь необходимо классифицировать примеси и экозащитные процессы, протекающие именно в этой среде. На качество воды большое влияние оказывают вещества, которые нахо-

дятся в воде в различных концентрациях и фазовых состояниях. Избыточная концентрация некоторых из них может оказывать негативное влияние как на человека, так и на биологическую обстановку в природном водоеме. Поэтому при сбросе воды после технологического процесса необходимо проводить извлечение многих загрязняющих веществ и добиваться установленной ПДК в стоке.

Все химические соединения, присутствующие в воде, можно разделить на органические и неорганические, а также классифицировать их по фазовому состоянию в растворе. Наиболее удачной считается классификация примесей, предложенная академиком Л.А. Кульским (табл.1). Следует, однако, отметить, что обычно сложные экозащитные процессы (технологии) состоят из определенного набора типовых (единичных) элементов, сочетание которых позволяет решить задачу оптимальной защиты окружающей среды.

Таблица 1 - Классификация веществ и методы извлечения по фазовому состоянию в растворе

Фазовое состояние веществ в растворе	Наиболее вероятные методы очистки
Нерастворимые в воде грубодисперсные примеси – взвеси, суспензии и эмульсии (первая группа), образуют с водой гетерогенные кинетически неустойчивые соединения	Наиболее эффективны методы, основанные на использовании сил гравитации, адгезии (фильтрация, центрифугирование, отстаивание)
Вещества, коллоидной степени дисперсности ($R \approx 10^{-7}$ м), образующие с водой гидрофильные и гидрофобные системы. Близкие к коллоидным растворам (вторая группа)	Для очистки от второй группы (коллоиды и высокомолекулярные соединения) применяются флотация, седиментация, коагуляция
Вещества, молекулярной степени дисперсности ($R < 10^{-8}$), растворенные органические соединения (третья группа)	Наиболее эффективно извлекаются из воды сорбцией с применением активированных углей
Ионные растворы ($R < 10^{-9}$ м). Растворы солей, кислот, щелочей, ионы металлов (четвертая группа)	Примеси четвертой группы, являющиеся электролитами, удаляют из воды переводом ионов в малорастворимые соединения, используя реагенты и методы обессоливания

Приведенная ниже таблица 2, включающая важнейшие типовые экозащитные процессы, применяемые для очистки всех видов выбросов, сбросов и твердых отходов, составлена на основе законов, определяющих скорость протекания процессов.

В табл. 2 помещены процессы, предназначенные для защиты окружающей среды от физических воздействий. Необходимо учесть, что номенклатура экозащитных процессов, потенциально пригодных для организации малоотходного производства, значительно превышает число известных химико-технологических процессов.

Таблица 2 - Важнейшие типовые экозащитные процессы

Механические и гидромеханические процессы	Движение потоков жидкости и газа. Осаждение. Фильтрация. Центрифугирование. Отстаивание. Измельчение. Перемешивание. Флотация. Псевдоожижение. Процеживание. Осветление во взвешенном осадке. Коагуляция и флокуляция.. Гидравлическая классификация. Гранулирование. Брикетирование. Смешение диспергированных материалов.
Теплообменные процессы	Нагревание и охлаждение. Выпаривание. Сублимация. Конденсация. Замораживание. Высокотемпературная агломерация
Массообменные процессы	Дистилляция, ректификация. Абсорбция. Растворение, кристаллизация. Экстракция. Адсорбция. Сушка, увлажнение. Ионный обмен. Обратный осмос и ультрафильтрация. Выщелачивание.
Электрохимические процессы	Электрокоагуляция. Электрофлотация. Электродиализ. Электрохимическое окисление и восстановление.
Биохимические и радиохимические процессы	Биохимическая очистка сточных вод от органических и минеральных примесей. Радиационное окисление. Биохимическая обработка осадков сточных вод.
Физические и магнитные процессы	Электростатическая очистка газоздушных выбросов от пылей, туманов и брызг с использованием сухих и мокрых электрофильтров. Электрическая и магнитная сепарация.
Прочие процессы	Реагентные процессы. Жидкофазное и парофазное окисление. Обогащение.

*Примечание: Жирным шрифтом выделены единичные химико-технологические процессы.

3. ОСОБЕННОСТИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭКОЗАЩИТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Следует отметить, что теоретические основы разработки новых производственных процессов уже были созданы для решения задач химической технологии. Однако при этом не учитываются особенности применяемых процессов, их влияние на окружающую среду и ее техногенное загрязнение, не рассматривается возможность создания на основе этих процессов малоотходных технологий. Таким образом, помимо рассмотрения химико-технологических факторов, необходимо еще учитывать и экологические факторы, кроме того, необходимо определить, в чем заключается особенность разработки химической и технологической концепции применительно к решению экологических, а не химико-технологических задач.

Разработку новых экозащитных процессов и технологий начинают с анализа возможных способов решения проблемы и заканчивают проектом промышленного устройства и (или) метода, являющегося синтезом отдельных этапов исследования и проектирования процессов. Этот подход основан на оценке химических, технологических и экологических факторов, характеризующих производственный процесс, и может использо-

ваться для сравнительной оценки конкурирующих экозащитных процессов. Рассмотрим подробнее эти факторы.

3.1 Химические особенности экозащитного процесса

При разработке экозащитных процессов и технологий необходимо учитывать комплекс различных факторов, которые являются взаимосвязанными и взаимозависимыми. Иногда бывает сложно разделить химические и технологические факторы, влияющие на выбор метода очистки. Однако, учет химических факторов предполагает:

1. Определение состава, концентрации и количества (массового или объемного расхода) образующихся при промышленном производстве веществ, в первую очередь, токсичных, входящих в состав газовых выбросов, водных сбросов или твердых отходов;

2. Установление последовательности физических и химических процессов (с учетом их скоростей), обеспечивающих защиту окружающей среды, в том числе, и обезвреживание загрязняющих веществ с возможностью их дальнейшей рекуперацией и повторного использования.

При анализе химических факторов необходимо учитывать следующие особенности.

1. К химическим экозащитным процессам не относятся механические (измельчение, дробление, таблетирование, брикетирование, грохочение и др.), гидродинамические (отстаивание, фильтрование, центрифугирование и др.) процессы, а также процессы, основанные на конкретных физических явлениях (электрическая и магнитная сепарация, электрические методы очистки отходящих газов от пылей, туманов и т.д.)

2. Необходимо уточнение специфики при описании биохимических (аэробные и анаэробные процессы очистки, сбраживание в метатенках и т.д.) и электрохимических процессов.

3. Большинство химических реакций, лежащих в основе экозащитных процессов, являются гетерогенными. Можно выделить следующие физические и химические процессы, протекающие в этих системах, состоящие из нескольких фаз:

а) очистка газовых выбросов – адсорбционные, абсорбционные и каталитические (гетерогенный катализ) методы; некоторые термические процессы обезвреживания газовых выбросов.

б) очистка сточных вод – коагуляция и флокуляция, электрофлотация и другие электрохимические методы, ионный обмен, мембранные методы, некоторые реагентные методы, экстракция в системе «жидкость-жидкость», адсорбция, жидкофазное окисление и некоторые другие.

в) переработка твердых отходов – высокотемпературная агломерация, выщелачивание, (экстракция в системе «твердое тело – жидкость»), растворение, кристаллизация и др.

Реальные экозащитные процессы протекают в следующих гетерогенных системах: твердое тело - жидкость; твердое тело - газ (с катализатором и без); твердое тело – жидкость – газ (каталитический); газ – жидкость; жидкость – жидкость (несмешивающиеся жидкости). К рассмотренным процессам примыкают гетерогенные процессы в одно-

компонентных системах. Они не сопровождаются изменением химического состава фазы и сводятся к переходу из одного состояния в другое (плавление, испарение, возгонка, конденсация и др.).

4. Все гетерогенные процессы отличаются сложностью и многостадийностью и состоят, по меньшей мере, из трех стадий.

I стадия: перенос реагирующих веществ к поверхности раздела фаз – реакционной зоне (массоперенос);

II стадия: собственно гетерогенная химическая реакция;

III стадия: отвод продуктов реакции из реакционной зоны (массоперенос).

Интенсивность процесса массопереноса зависит от гидродинамических условий движения потоков, природы фаз и др. факторов.

Так как скорости процессов на всех стадиях пропорциональны площади поверхности, то скорости этих реакций определяются отношением площади поверхности фазы к ее объему. Чем больше это отношение, тем быстрее идет реакция. При этом, скорость всего процесса в целом определяется скоростью самой медленной стадии, но не обязательно равна ей, поскольку все процессы взаимосвязаны. Если наиболее медленными будут I или III стадии, то кинетика процесса будет диффузионной, если II стадия – то скорость процесса определяется скоростью реакции и лежит в кинетической области. При сравнимых скоростях имеет место равновесная ситуация.

Проводить экозащитные процессы нужно таким образом, чтобы максимально интенсифицировать процессы массопереноса вещества из одной фазы в другую, например, путем увеличения скоростей потоков газа и жидкости, использованием процессов перемешивания, прямотока или противотока.

5. Практически все экозащитные процессы, протекающие в промышленных аппаратах, являются неравновесными и характеризуются коэффициентом извлечения ϕ , который влияет на эффективность проведения экозащитного процесса.

Многие токсичные вещества, содержащиеся в газозодушных выбросах и сточных водах, характеризуются малыми концентрациями. В этом заключается их отличие от технологических газов и растворов, применяемых в процессах химической технологии. Например, хромсодержащие стоки гальванических производств обычно содержат шестивалентный хром в концентрациях порядка нескольких десятков мг на литр, а стандартные хромсодержащие растворы гальванических ванн содержат этот ион в количестве сотен граммов на литр. Аналогичная ситуация для содержания оксидов азота в газозодушных выбросах. Отходящие газы сернокислотного цеха содержат в своем составе 0,3-0,4% NO_2 , а выбросы отделений травления меди и ее сплавов – $(0,3-0,9) \cdot 10^{-4} \%$.

Следствием малых концентраций токсичных веществ является то, что химические реакции и массоперенос с их участием протекают с малой скоростью, что приводит к повышению длительности процессов очистки.

3.2 Технологические особенности экозащитного процесса

Для того, чтобы разрабатывать высокопроизводительные, эффективные, простые и экономически обоснованные экозащитные процессы, надежно защищающие окружающую среду, необходимо соблюдать технологические принципы организации этого процесса, в число которых входит определение числа, последовательности и вида составляющих единичных элементов (процессов). В химической технологии под единичными элементами понимают единичные типовые технологические процессы и единичные процессы с участием химических превращений. С одной стороны, количество единичных элементов экозащитных процессов больше, чем химико-технологических, с другой стороны, достаточно часто при создании экозащитного процесса, в отличие от химического, используют не набор единичных элементов, а лишь один элемент (процесс).

При разработке технологической схемы экозащитного процесса необходимо проанализировать пять технологических принципов: *принцип наилучшего использования разности потенциалов, принцип наилучшего использования сырья, принцип наилучшего использования оборудования, принцип наилучшего использования энергии и принцип технологической соразмерности*. Для того, чтобы выбрать один из нескольких конкурирующих технологических или экозащитных процессов, необходимо проанализировать, насколько все они соответствуют вышеперечисленным принципам.

Для того, чтобы экозащитный процесс был эффективен и наиболее экономичен, он должен протекать с возможно большей скоростью, при максимальном использовании сырья (обезвреживаемых токсичных компонентов), минимальных затратах энергии и как можно более высоком выходе обезвреженных продуктов с единицы объема оборудования.

Решение указанных задач достигается путем проведения экозащитного процесса при возможно более высокой движущей силе и наилучшем использовании разности потенциалов. Из этого следует, что из пяти вышеперечисленных, основополагающим будет **принцип наилучшего использования разности потенциалов**.

Скорость любого процесса можно представить в следующем обобщенном виде:

$$\text{Скорость} = k \times \text{Движущая сила} / \text{Сопротивление},$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Движущая сила представляет собой разность потенциалов, характерных для данного процесса и выражает удаленность системы от состояния равновесия.

Для массообмена, в пределах одной фазы, движущей силой будет разность концентраций вещества, которая выравнивается в процессе реакции, для теплообмена – разность температур двух участков, для электрического тока – разность напряжений и т.д.

Известно, что для химической реакции движущую силу нельзя представить в виде, удобном для подстановки в данное уравнение. Однако, с движущей силой процесса связана такая термодинамическая характеристика, как изменение энергии Гиббса (ΔG). Она позволяет качественно определить направление хода реакции.

Сопротивление, входящее в знаменатель данного выражения также является характеристической величиной. В случае диффузионного массообмена, сопротивление пропорционально толщине пленки, через которую осуществляется диффузия. При теплотеплопередаче величина сопротивления пропорциональна толщине стенки, разделяющей две среды. Если протекает химическая реакция в гомогенной системе, то с сопротивлением связана энергия активации процесса.

При практической реализации указанного принципа, необходимо учитывать сложность механизмов протекания различных экозащитных процессов (особенно гетерогенных), различные области прохождения химических превращений (диффузионная, кинетическая, тепловая), параллельность или последовательность явлений, реализуемых в единичных экозащитных процессах и ряд других факторов. Необходимо также отметить, что каждый этап экозащитного процесса следует проводить в возможно большем отдалении от состояния равновесия, что соответствует наибольшей разности потенциалов, т.е. максимальной движущей силе процесса.

Принцип наилучшего использования разности потенциалов можно количественно оценить с помощью понятия интенсивности процесса или аппарата.

Принцип наилучшего использования сырья перекликается с химическими показателями процесса и может быть охарактеризован следующими показателями:

1. количеством используемого для осуществления экозащитного процесса сырья (реагентов) - предпочтение следует отдавать тем процессам, для осуществления которых используется минимальное количество сырья;
2. степени регенерации используемых реагентов, веществ и материалов;
3. использованием в экозащитном процессе или в смежных процессах образующихся побочных продуктов или отходов.

Второй и третий показатели могут быть использованы и как показатели экологичности процесса, поскольку характеризуют возможность организации безотходного промышленного производства.

Принцип наилучшего использования энергии сводится к обеспечению минимального количества затрачиваемого в экозащитном процессе энергии (электрической, тепловой и др.).

Принцип наилучшего использования оборудования характеризуется следующим образом:

1. использованием технологических схем, состоящих из минимального количества единиц оборудования (минимального количества единичных процессов);
2. применением компактных технологических схем и оборудования, занимающих минимальные производственные площади;
3. организацией работы оборудования в непрерывном режиме.

Принцип технологической соразмерности используется в тех случаях, если применение четырех остальных принципов приводит к противоречивым результатам и приходится искать компромиссное решение. Решение данной задачи аналитическим путем весьма сложно и возможно только в частных случаях.

4. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И СПОСОБЫ ОРГАНИЗАЦИИ МАЛООТХОДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В целях обеспечения комплексного решения проблемы защиты от загрязнений окружающей среды и повышения технико-экономической эффективности производства необходимо рассматривать современные технологические процессы как открытую систему, а, кроме того, обобщить основные принципы рекуперации сырья, материалов и вторичных энергоресурсов. Существует два принципиально различных пути борьбы с загрязнениями.

Первый путь – очистка вредных выбросов промышленных и сельскохозяйственных предприятий, направляемых в окружающую среду (не позволяет решить проблему кардинально, т.к. в процессе очистки часто один вид загрязнений превращается в другой). Например, замена сухих пылеуловителей влажными повышает степень очистки атмосферного воздуха, но усиливает одновременно загрязнение водных стоков. Однако, этот путь, на сегодняшний день, является наиболее приемлемым для предприятий, имеющих достаточно старое промышленное оборудование и не имеющих возможности полностью его модернизировать. И все-таки этот путь является реальной альтернативой существующей сегодня тенденции штрафных выплат.

Второй путь – более радикальный и, в то же время, более экономичный. Он заключается в разработке таких технологических процессов производства, которые бы в максимальной степени имитировали природные процессы. Речь идет о создании безотходных (на первом этапе малоотходных) технологий, которые максимально экономили бы исходное сырье, топливо, материалы и обеспечивали бы безопасность окружающей среды (ОС). При этом безотходные технологии используются и в первом, и во втором случаях, хотя и обеспечиваются разными способами.

5. ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ И КОМПЛЕКСНЫХ МАЛООТХОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Понятия безотходного и малоотходного производства тесно связаны с загрязнением окружающей среды.

Безотходное производство (технология) – представляет собой такой способ производства продукции, при котором все сырье и энергия используются наиболее рационально и комплексно в цикле: сырьевые ресурсы – производство – потребление – вторичные ресурсы, а любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее нормального функционирования. Таким образом, теория безотходных технологических процессов базируется на двух основных предпосылках:

- исходные природные ресурсы должны добываться один раз для всех возможных, а не каждый раз для отдельных продуктов;
- создаваемые продукты должны иметь такую форму, которая позволила бы после использования по прямому назначению относительно легко превращать их в исходные элементы нового производства.

Однако, такая схема практически неосуществима. Каждый этап технологии по принципу «сырье - готовый продукт – сырье» требует дополнительных затрат энергии, а ее производство (на современном этапе) связано с потреблением природных ресурсов вне замкнутой системы. Вторым принципиальным препятствием к созданию замкнутого цикла является износ материалов. Таким образом, признавая прогрессивность «безотходной технологии», следует учитывать ее ограниченность. Она позволяет сократить загрязнение ОС, но не исключает его полностью.

Представить себе абсолютно безотходное производство невозможно, поэтому в качестве промежуточного этапа рассматривается **малоотходное производство**, под которым понимается такой *способ производства, при котором вредное воздействие на окружающую среду не превышает уровня, допустимого санитарно-гигиеническими нормами*. При этом часть сырья и материалов переходит в отходы и направляется на длительное хранение или захоронение.

Рассматривая концепцию безотходного производства, необходимо выделить три основных положения.

1. Безотходное производство – это замкнутая система, организованная по аналогии с природными экологическими системами. Его основу должен составлять сознательно организованный человеком круговорот сырья, продукции и отходов.

2. При организации производства обязательно включение в него всех компонентов сырья и максимально возможное использование энергии (ограниченное вторым законом термодинамики). Таким образом, экологически чистые производства нужно называть малоотходными и ресурсосберегающими.

3. Малоотходное производство обеспечивает сохранение нормального функционирования окружающей среды и сложившегося экологического равновесия. Критерии качества окружающей среды в настоящее время – предельно допустимые концентрации (ПДК) и рассчитанные на их основе предельно-допустимые выбросы (ПДВ) и предельно-допустимые сбросы (ПДС).

Если рассмотреть более детально эти концептуальные положения теории безотходных производств, то можно выделить ряд взаимосвязанных принципов, необходимых для их разработки и внедрения.

1. **Принцип системности**, в соответствии с ним каждый отдельный процесс или производство рассматривается как элемент динамической системы – ТПК в регионе и эколого-экономической системы в целом. Таким образом, принцип системности должен учитывать существующую взаимосвязь производственных, социальных и природных процессов.

2. **Принцип комплексного использования ресурсов**, требует максимального использования всех компонентов сырья, сопутствующих элементов, максимально возможной замены первичных сырьевых и энергетических ресурсов на вторичные.

3. **Принцип цикличности материальных потоков** (замкнутые водо- и газооборотные циклы), должен привести к формированию в отдельных регионах и во всей техносфере сознательно организованного и регулируемого техногенного круговорота вещества и связанных с ним превращений энергии.

4. **Принцип ограничения воздействия производства на окружающую природную и социальную среду** (атмосферный воздух, воду, поверхность земли, рекреационные ресурсы и здоровье населения) в первую очередь связан с планомерным и целенаправленным ростом объемов производства и его экологического совершенства.

5. **Принцип рациональности организации производства** предполагает оптимизацию производства одновременно по энерготехнологическим, экономическим и экологическим параметрам. Основным путем достижения этой цели являются разработка новых и усовершенствование существующих технологических процессов и производств.

6. ЭКОЛОГИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Под **экологизацией** производства понимается максимально возможное уподобление производственных процессов в целом и ресурсных циклов в частности природным круговоротам веществ в биосфере, либо это любые мероприятия, снижающие опасность производства для природы и человека.

В основе **экологизации производственных процессов** лежит ресурсосбережение, основанное на передовых технологиях переработки природных ресурсов, и их движение от первичного состояния к потребителю в виде готовой продукции и дальнейшее использование в последующих циклах.

Пути ресурсосбережения показывают, что в основу концепции положено максимальное сбережение ресурсов на всех стадиях производства и использования.

Природные компоненты выступают лишь начальным или промежуточным звеном в длинной цепи процесса производства, которая связывает природу и продукцию производства, поступающую к потребителю.

Оптимизация взаимодействия факторов роста производства, их комбинирование позволяет снизить нагрузку на природные ресурсы, а значит, на природу. Только с учётом такой взаимозаменяемости факторов, с точки зрения экономического и экологического подхода, определяются реальные потребности общества в природных ресурсах.

Реализация возможна путём построения для каждого ресурса природно-продуктивной вертикали или цепочки, соединяющей первичные ресурсы с конечной продукцией; анализа возможных путей экономического роста с долгосрочных позиций.

Ресурсосберегающая технология предполагает, что производство и реализация конечных продуктов выполняется с минимальным расходом вещества и энергии на всех стадиях производства. При этом воздействие на природные системы и человека должно быть наименьшим. Выдвигается требование полного учёта расходов первичных компонентов природы на промежуточных этапах их переработки, транспортировки, хранения, отнесённой на единицу производимой продукции.

Настоящее ресурсосбережение начинается с проектирования, когда оно уже на стадии проектов добывающих, перерабатывающих и финальных предприятий закладывается во все технологические операции по разведке, оценке, добыче и переработке природного фактора на всех стадиях его движения к потребителю, а попадая на замыкающие производства – от конструктивных, технологических и эксплуатационных особенностей их использования.

Таблица 3 – Пути и направления ресурсосбережения

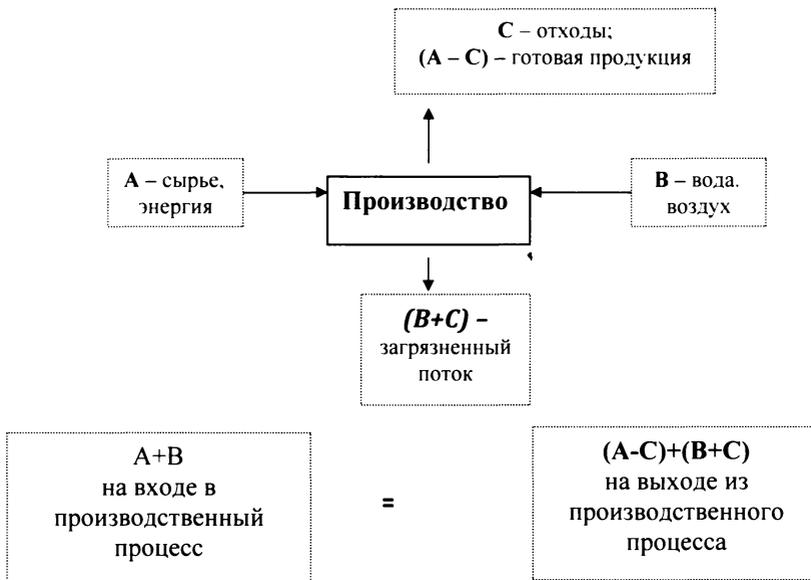
Пути ресурсосбережения	Направление	Путь
Внедрение ресурсосберегающих технологий	безотходная; малоотходная	новая техника; повышение выхода продукции; снижение ресурсоёмкости; удлинение срока службы продукции
Взаимозаменяемость природных ресурсов	материалы-заменители	материалы экономичные; нетрадиционные источники энергии
Повышение качества продукции	экономико-математические методы	задачи линейного и динамического программирования:
Эколого-экономическое моделирование	балансы; нормирование природных ресурсов	нормы: изъятие ресурса; расход, запас, плата за ресурсы
Экономия природных ресурсов	интенсификация использования	комплексное использование; использование вторичных ресурсов; уменьшение потерь и отходов; снижение норм расхода

Таким образом, проектировщики на высоком уровне должны решать большой круг непростых, порой противоречивых по своим особенностям и последствиям задач экологического, экономического и социального характеров.

Важным направлением в ресурсосбережении является всемерное использование **принципа заменяемости ресурсов**, под которым понимается *замещение одного природного ресурса другим, более экономичным и экологически безопасным*. Взаимозаменяемость различается по экономическому и техническому критериям. Не всякие природные ресурсы, взаимозаменяемые технически, позволяют производить замену с экономической и экологической точек зрения.

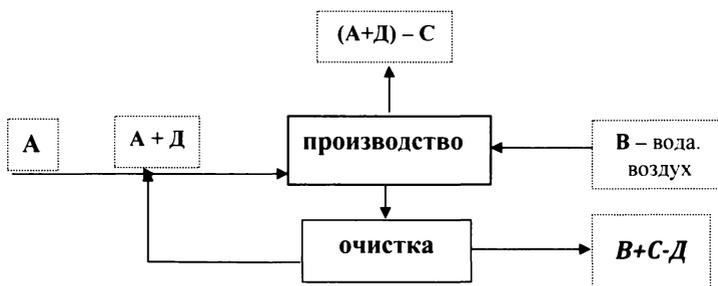
7. СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

7.1 Схема незамкнутого процесса (рис.1)



Чем больше **С**, тем больший вред наносится окружающей среде, тем менее эффективно работает производств

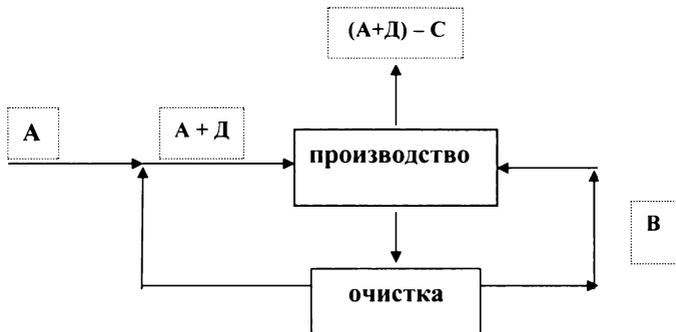
7.2 Схема незамкнутого процесса с очисткой отходов до ПДК (предельно допустимых концентраций) (рис.2)



Д – часть отходов **С**, выделенных из потока, прошедших очистку и являющихся вторичным сырьем, входящим в общий поток **А**;

(А+Д)-С – готовая продукция; **С-Д** – количество загрязнений, поступающих с потоком **В** в ОС.

7.3 Схема замкнутого процесса с полной очисткой отходов (рис. 3)



В этом случае уравнение материально-энергетических потоков имеет следующий вид:

$$(A+D)+B=[(A+D)-C]+(B+C) \text{ (производство)}$$

$$(B+C)=B+D \text{ (очистка)}$$

В идеальном варианте безотходное производство предполагает полную очистку потока $(B+C)$ от загрязнений C , т.е. при этом $D=C$ (но смысл D и C – различный) и цикл замыкается по потоку B .

8. РЕЦИРКУЛЯЦИЯ ВОДНЫХ ПОТОКОВ И СОЗДАНИЕ ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Главное условие экологизации производства – **рециркуляция**, за счет которой увеличивается количество возвращенной в цикл воды и сокращается потребление потока B (воды и воздуха). Рассмотрим подробнее реализацию принципа цикличности материальных потоков на примере организации замкнутых систем водоснабжения промышленных предприятий. Различают прямоточную и оборотную схемы водоснабжения. Эти схемы представлены на рис. 4 (а,в)

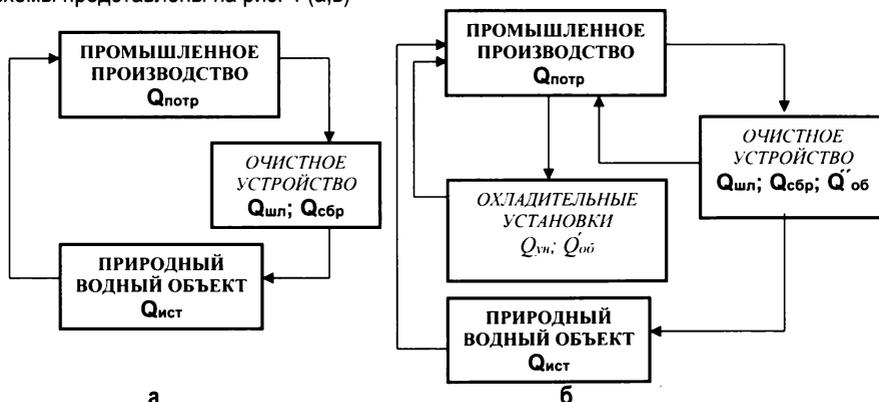


Рис. 4 – Схемы водообеспечения промышленных предприятий:

а – прямоточная; б – оборотная.

Обозначения, используемые на рисунке:

$Q_{\text{ист.}}$ – вода, подаваемая из источника на производственные нужды;

$Q_{\text{потр.}}$ – вода, безвозвратно потребляемая на предприятии;

$Q_{\text{ун.}}$ – вода, теряемая на испарение и унос из охладительных установок;

$Q_{\text{шл.}}$ – вода, удаляемая со шламом;

$Q'_{\text{об.}}$ – оборотная вода после прохождения охладительных установок;

$Q''_{\text{об.}}$ – оборотная вода после очистных сооружений;

$Q_{\text{сбр.}}$ – вода, сбрасываемая в водоем.

Если на предприятии используется вода прямооточного водоснабжения, то вся вода забираемая из водоема ($Q_{\text{ист.}}$) после использования в различных технологических процессах возвращается в водоем, за исключением того количества воды ($Q_{\text{потр.}}$), которое безвозвратно расходуется в производстве (за счет разбрызгивания, испарения и т.д.) и удаляется вместе со шламом ($Q_{\text{шл.}}$).

При оборотном водоснабжении в производстве используются сточные воды после их очистки. Свежая вода забирается из водоемов лишь для компенсации безвозвратно теряемой воды.

Поскольку в зависимости от профиля предприятия на нем может образовываться до 10 различных видов сточных вод, выбор системы водоотведения имеет большое значение. Системы водоотведения промышленных предприятий делятся на общесплавные и раздельные. Схема общесплавной системы приведена на рис. 5.

Общесплавную систему водоотведения обычно применяют на небольших промышленных предприятиях с малым расходом воды в том случае, если состав производственных сточных вод близок по составу к бытовым стокам и если существует возможность попадания в дождевые воды загрязнений, характерных для производственных сточных вод. При использовании общесплавной системы водоотведения производственные сточные воды, а также бытовые и атмосферные стоки отводятся на единые очистные сооружения.

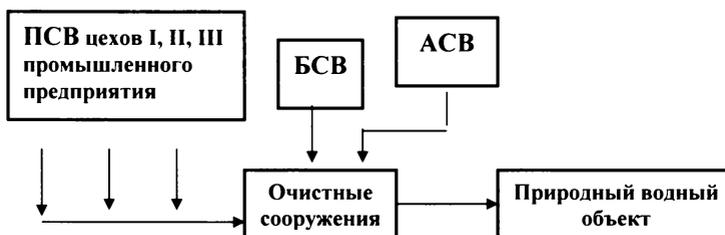


Рис. 5 – Общесплавная система водоотведения промышленного предприятия

Существуют различные типы отдельных систем отведения:

- с локальными очистными сооружениями;
- с частичным оборотом производственных вод;
- с полным оборотом производственных и бытовых стоков;
- с полным оборотом всех сточных вод.

Применение системы с локальными очистными устройствами целесообразно, если в сточных водах некоторых цехов или участков содержатся специфические загрязнения (например, тяжелые металлы). Раздельную систему с частичным водооборотом (ПСВ) применяют в том случае, если существует возможность повторного использования некоторых ПСВ после частичной очистки или охлаждения для водоснабжения конкретных цехов или участков предприятия.

Раздельная система водоотведения с полным оборотом всех сточных вод называется бессточной системой водопользования или замкнутой системой водного хозяйства промышленного предприятия. Ее целесообразно применять при большом расходе ПСВ и небольшом расходе воды из источника.

В зависимости от конкретных условий на предприятии возможно создание нескольких систем очистки с вариантами объединения различных видов стоков, а также создание нескольких оборотных централизованных систем. Примеры различной организации раздельной системы водоотведения с использованием локальных очистных систем приведены на рис. 6 (а,б).

На рисунке (а) приведена схема организации экозащитного процесса с использованием локальных очистных установок для очистки разделенных стоков (стоков ванн промывки и стоков гальванических ванн). Такая схема обеспечивает возможность возврата в технологический цикл реагентов хромирования и многократное использование технологической воды.

На рисунке (б) приведена схема локальной очистки усредненных стоков ванн промывки и гальванических ванн.

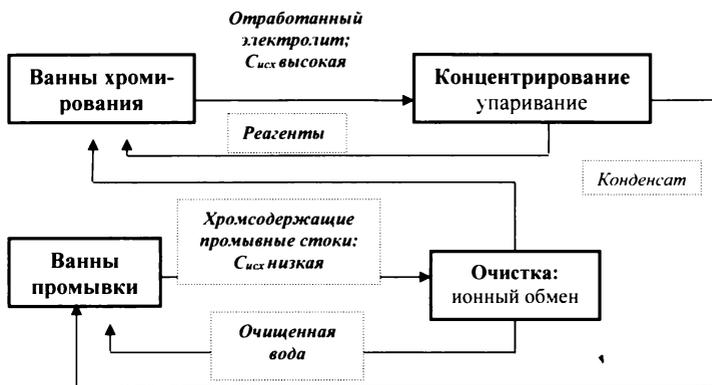
В обоих случаях приведенные схемы процессов являются малоотходными, так как и вода, и реагенты (в виде солей или чистых металлов) возвращаются в технологический цикл на данном производстве или могут использоваться в металлургии. Однако, выбор технологической схемы зависит от конкретных условий, экономической рентабельности и может быть произведен после анализа всех химико-технологических и экологических факторов.

Эффективность использования воды в производстве оценивается рядом показателей:

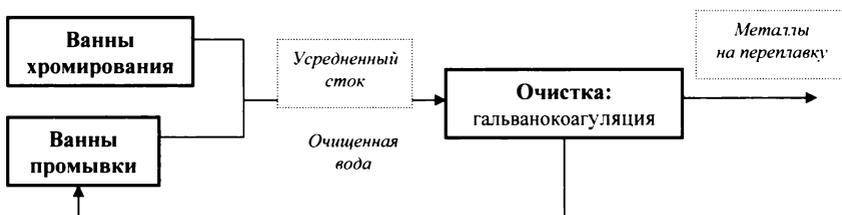
- процент оборота воды: $P_{об} = Q_{об} / (Q_{об} + Q_{и})$;
- коэффициент использования воды: $K_{и} = (Q_{и} - Q_{сб}) / Q_{и}$; $K_{и} \leq 1$;
- кратность использования воды: $n = (Q_{сб} + Q_{и} + Q_{с}) / (Q_{и} + Q_{с})$; $n > 1$;
- безвозвратное потребление воды и ее потери в производстве (в %):

$$K_{п} = (Q_{и} - Q_{сб}) / (Q_{об} + Q_{и}) \times 100,$$

где $Q_{об}$ – количество оборотной воды,; $Q_{и}$ – количество воды, забираемой из источника водоснабжения; $Q_{сб}$ – количество воды, сбрасываемое предприятием; $Q_{с}$ – поступление воды из сырья. Все объемные расходы даны в м³/ч.



а



б

Рис. 6 (а,б) – Схемы организации технологического процесса с использованием локальных очистных установок

Основные требования, предъявляемые к созданию замкнутых систем водоснабжения, можно сформулировать следующим образом:

- водоснабжение, канализация и очистка сточных вод рассматриваются как единая система водного хозяйства предприятия или региона;
- основу технического водоснабжения создает многократное использование воды, прежде всего, без очистки, а затем частично очищенной до качества, определенного условиями использования;
- очистка сточных вод должна, в первую очередь, ориентироваться на регенерацию локальных потоков отработанных технологических растворов и воды;
- методы очистки должны обеспечивать одновременное извлечение и утилизацию ценных компонентов (очистка в этом случае рассматривается не как вспомогательная, а как основная операция производства продукта).

Оборотная вода должна соответствовать определенным значениям показателей: карбонатной жесткости, pH, содержанию взвешенных веществ и биогенных элементов, значению ХПК (химическая потребность в кислороде) и др. Качество воды, использу-

мой для технологических процессов, должно быть выше, чем воды, находящейся в оборотных системах. Качество воды, используемой в производстве, устанавливается в каждом случае в зависимости от ее назначения и требований технологического процесса с учетом состава используемого сырья, применяемого оборудования и особенностей готового продукта производства.

Оценка систем водного хозяйства предприятия производится путем сравнения некоторых показателей, таких как: удельный расход воды на единицу продукции, удельный расход реагентов, абсолютное количество товарного продукта, себестоимость, рентабельность и т.д. Для создания замкнутых систем водоснабжения промышленные сточные воды подвергаются очистке различными методами, которые будут рассмотрены далее.

9. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА

Анализ факторов и масштабов антропогенного воздействия на окружающую среду позволяет сделать вывод о необычайно сложном его характере, что создает трудности при изучении экологического состояния тех или иных регионов. Методология расположения техногенных источников по интенсивности и химическому составу базируется на синтезе трех основных концепций, используемых в мировой практике.

Первая концепция – **концепция воздушной среды**, как главного фактора создания экологической ситуации в промышленном регионе. Состояние атмосферного воздуха является одним из основных показателей качества окружающей среды, поэтому особое внимание следует уделить расчету рассеивания и количеству выбросов в атмосферу, изучению состава атмосферных выпадений.

Вторая концепция – **концепция водооборота промышленного региона**, как фактора его жизнеобеспечения. Здесь главное значение имеют ресурсы и количество бытовых и хозяйственных вод, проблемы полноты очистки и сброса сточных вод.

Третья концепция – **концепция депонирующих сред**. Цель этой концепции – выявление зон воздействия всех видов загрязнений в промышленных агломерациях. Анализ миграции загрязняющих веществ в окружающей среде и динамики всех происходящих при этом процессов очень затруднителен.

Роль и место каждой из концепций меняются в зависимости от промышленной специализации регионов, длительности техногенного воздействия, природных факторов загрязнения и самоочищения среды.

Экологические блоки любого промышленного региона делят на три группы:

источники выбросов – промышленность, энергетика, транспорт, жилищно-коммунальное хозяйство региона;

транзитные среды - среды, непосредственно принимающие те или иные виды загрязнений, в которых происходят транспортировка и частичная трансформация загрязняющих веществ; к ним относятся воздушная среда, атмосферные выпадения, поверхностные, подземные и грунтовые воды, почвенный покров;

депонирующие среды – среды, в которых накапливаются и преобразуются загрязняющие вещества (донные отложения, почвы, растения, животные, микроорганизмы, население региона).

9.1 Классификация промышленных вод по целевому назначению

Воду, используемую в промышленности, подразделяют на охлаждающую, технологическую и энергетическую (рис. 7). В промышленности 65-80% воды расходуется на охлаждение. В этом случае она не соприкасается с материальными потоками и не загрязняется (за исключением теплового загрязнения).

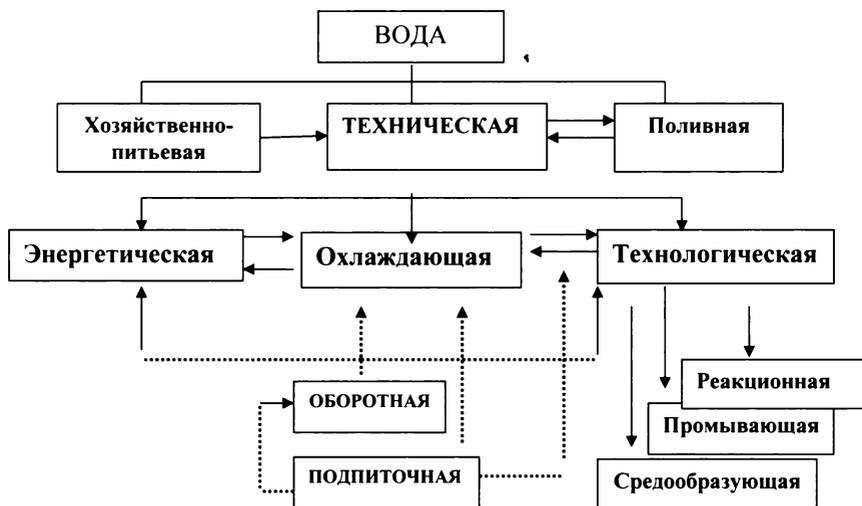


Рис. 7 – Классификация вод по целевому назначению

Технологическую воду подразделяют на *средообразующую*, *промывающую* и *реакционную*. Технологическая вода непосредственно контактирует с продуктами и изделиями, поэтому подвергается различным видам загрязнения.

Средообразующую воду используют для растворения и образования пульпы, при обогащении и переработке руд, гидротранспорте продуктов и отходов производства.

Промывающую воду – для промывки газообразных (абсорбция), жидких (экстракция) и твердых продуктов и изделий.

Реакционную воду используют в составе реагентов, при азеотропной отгонке и других процессах.

Энергетическая вода потребляется для получения пара и нагревания оборудования, помещений, продуктов. В качестве энергетической может использоваться охлаждающая технологическая вода.

Наиболее перспективный путь уменьшения потребления свежей воды – создание оборотных и замкнутых систем водоснабжения.

9.2 Виды загрязнений производственных сточных вод

ПСВ (производственные сточные воды) - образуются в результате использования воды в различных технологических процессах. При этом 90% забранной воды возвращается обратно в водоемы с различной степенью загрязнения.

Основные загрязняющие вещества в ПСВ:

- механические взвеси (песок, окалина, металлическая стружка, пыль, флюсы, волокна хлопчатника и т.д.);
- минеральные масла и другие нефтепродукты;
- неорганические кислоты и их соли;
- щелочи;
- поверхностно-активные вещества (ПАВ);
- неорганические соли тяжелых металлов.

Из загрязняющих подземные воды веществ преобладают: нефтепродукты, фенолы, тяжелые металлы (медь, цинк, свинец, кадмий, никель, ртуть), сульфаты, хлориды, соединения азота.

Промышленные сточные воды можно разделить на загрязненные и незагрязненные и классифицировать и по происхождению, то есть по отраслям промышленности, характеру технологических процессов, фазово-дисперсному признаку и составу. В таблице 4 приведены отрасли промышленности, сточные воды которых содержат наибольшее количество примесей, опасных для живой природы.

Как видно из таблицы 4, в промышленных сточных водах может содержаться большое количество неорганических и органических соединений.

Таблица 4

Промышленность	Основные токсичные примеси
Нефтеперерабатывающая	Нафтеновые кислоты, нефтепродукты, фенолы, сульфиды, хлориды, сульфаты, ПАВ, органические взвеси
Коксохимическая	Фенолы, сероводород, смолы, углеводороды, тиоцианиды, аммиак, цианиды, органические взвеси
Целлюлозно-бумажная	Меркаптаны, сульфиды, спирты, альдегиды, кетоны, органические взвеси
Синтетических полимеров и пластмасс	Стирол, акрилонитрил, акрилаты, сульфаты, фенолы, ароматические углеводороды, альдегиды, спирты, циклогексан, органические кислоты, взвеси
Синтетического каучука	Бутилен, бутадиен, ацетон, органические кислоты и их соли, ацетонитрил, аммиак, альдегиды, спирты, углеводороды,
Экстракционной фосфорной кислоты и фосфорных удобрений	Серная, фосфорная, кремнефтористоводородная кислоты, соединения фтора, хлороводород
Хлорная	Ртуть, хлор, хлориды

Особое внимание следует уделить химическим загрязнителям промышленных стоков. К ним относятся:

1. биологически нестойкие органические соединения;
2. малотоксичные неорганические соли;
3. нефтепродукты;
4. биогенные соединения;
5. вещества со специфическими токсическими свойствами, в том числе тяжелые металлы;
6. биологически жесткие (не разлагающиеся) органические синтетические соединения.

Для каждого типа химических производств характерен свой состав сточных вод. Например, при нефтепереработке в стоках будут содержаться фенолы и нефтепродукты, но не будет ионов хрома или никеля, а на предприятии, производящем печатные платы – не будет нефтепродуктов и масел.

9.3 Современные методы очистки сточных вод от промышленных загрязнений

Очистка сточных вод – обработка сточных вод с целью разрушения или удаления из них вредных веществ. Деструктивные методы очистки промышленных стоков предусматривают разрушение вредных примесей или перевод их в нетоксичные продукты, а регенеративные – основаны на извлечении и утилизации примесей. Освобождение сточных вод от загрязнения – сложное, чаще всего, многостадийное производство. В нем, как и в любом другом производстве, имеется сырье (сточные воды) и готовая продукция (очищенная вода). Технологические схемы очистки сточных вод разрабатываются в зависимости от концентрации (количества) загрязнений, размера частиц (фазового состояния в растворе), скорости экзозащитных процессов и некоторых других факторов.

Методы очистки при этом подбираются в зависимости от размеров частиц и характера загрязнений. В зависимости от механизма действия, методы очистки сточных вод можно подразделить на *механические, химические, физико-химические, физические и биологические* (табл. 5). Кроме описанных методов, для очистки стоков может применяться термическая обработка, а также возможно захоронение отходов в нефтеносные пласты, карьеры и горные массивы.

Сущность **механических методов** состоит в том, что из сточных вод удаляются механические примеси. Грубодисперсные частицы, в зависимости от размеров, улавливаются решетками, ситами, песколовками, септиками, навозоуловителями различных конструкций, а поверхностные загрязнения – нефтеловушками, бензо-маслоуловителями, отстойниками и др. Механическая очистка позволяет выделять из бытовых сточных вод до 60-75% нерастворимых примесей, а из промышленных – до 95%, многие из которых, как ценное сырье, используются в дальнейшем производстве.

Таблица 5 – Методы очистки сточных вод

Механические	Отстаивание; очистка в гидроциклонах; процеживание; центрифугирование; фильтрация; микрофильтрация.
Химические	Окисление (хлорирование, озонирование, парофазное и жидкофазное окисление); восстановление; нейтрализация; реакция осаждения; комплексообразование.
Физико-химические	Коагуляция, флокуляция, флотация, сорбция, ионообмен, экстракция, дистилляция, электрокоагуляция, вымораживание, электродиализ, гиперфильтрация, обратный осмос, ультрафильтрация
Физические	Магнитная обработка; ультразвуковая обработка; электроимпульсная обработка; ионизирующее облучение
Биохимические (аэробные и анаэробные)	Поля фильтрации; биологические пруды; аэротенки; реакторы восходящего потока с активным илом; биофильтры; окислительные каналы

Химические (реагентные) методы, включающие окисление, восстановление, нейтрализацию, наиболее широко используется сегодня на практике. Механизм действия этих методов заключается в том, что в сточные воды добавляют различные химические реагенты, которые вступают в реакцию с загрязнителями и осаждают их в виде нерастворимых осадков. Химической очисткой достигается уменьшение нерастворимых примесей до 95% и растворимых до 25%.

При **физико-химических методах** обработки из сточных вод удаляются тонкодисперсные и растворенные неорганические примеси и разрушаются органические и плохо окисляемые вещества. Чаще всего из физико-химических методов применяются электрокоагуляция, сорбция, экстракция, ионный обмен, электрофлотация, гальванокоагуляция и др.

Электрокоагулятор в технологической схеме выполняет следующие функции:

- в нем происходит разряд ионов тяжелых металлов с переводом растворимых соединений в нерастворимые;
- на электродах электрокоагулятора происходит разряд анионов с выделением части образующихся продуктов в виде газов.

Рассмотрим принцип действия электрокоагулятора и его принципиальную схему (рис. 8). Обрабатываемая вода направляется в электрокоагулятор через штуцер ввода и поступает в нижний корпус, где расположены нижний электродный блок, перегородка между нижним и верхним электродными блоками и штуцер на перегородке. Поступившая вода проходит первичную электрообработку с образованием пеногазовой смеси на нижнем электродном блоке и поступает на вторичную электрообработку через штуцер на верхний электродный блок, ориентированный перпендикулярно нижнему электродному блоку. Пройдя вторичную электрообработку на верхнем электродном блоке вода вдоль наклонной плоскости, выполняющей разделительные и потоконаправляющие функции, поступает в верхний корпус, где происходит дегазация жидкости. Образовавшиеся газы и обработанную воду выводят через специальные штуцеры, расположенные в верхнем корпусе.

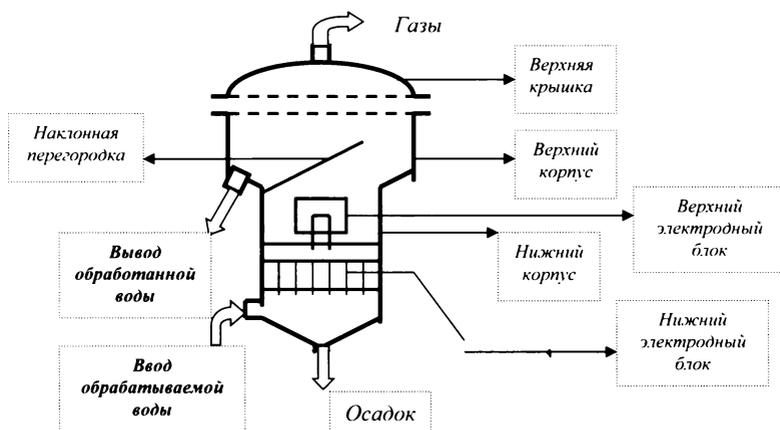


Рис. 8 – Принципиальная схема электрокоагулятора.

Электрокоагуляция имеет ряд достоинств: компактность установки, отсутствие необходимости в реагентах – восстановителях и осадителях, простота обслуживания и универсальность. Сдерживающими факторами для ее внедрения являются: значительный расход металла и электроэнергии, увеличение количества твердых отходов, пожар- и взрывоопасность.

Флотация используется для очистки сточных вод от грубо- и мелкодисперсных примесей и сгущения суспензий с тонкодисперсной фазой. Принцип флотационной очистки заключается в образовании комплексов частица-пузырек воздуха, во всплывании пузырьков и удалении образовавшегося слоя пены, насыщенного примесями, с поверхности воды. Мелкодисперсные и коллоидные примеси удаляют с помощью коагулянтов и флокулянтов. Растворенные примеси удаляют обратным осмосом, ультрафильтрацией, электродиализом, ионным обменом, абсорбцией, экстракцией.

Обратный осмос – это процесс разделения растворов фильтрованием через мембраны, поры которых диаметром около 1 нм пропускают молекулы воды, но непроницаемы (или полупроницаемы) для гидратированных ионов солей или недиссоциированных молекул. Селективность мембран достигает 99% и обеспечивает получение чистой воды, которую можно вернуть в оборотную систему водоснабжения.

Ионный обмен. Во многих случаях для обессоливания воды используют метод ионного обмена. Он также применяется для глубокой доочистки промывных вод гальванических производств от ионов тяжелых металлов и для локальных систем регенерации металлов, он также позволяет в ряде случаев осуществить возврат воды в оборот. Ионообменные материалы (ионообменники, иониты) представляют собой нерастворимые полиэлектролиты, способные вступать в реакции обмена с ионами раствора и обладающие ионной проводимостью. Важнейшим свойством ионитов является их поглощательная способность, так называемая *обменная емкость*. При контакте с водой иониты

не растворяются, но, поглощая некоторое количество воды, набухают, являясь гелями с ограниченной набухаемостью. Объем ионита при этом увеличивается в $\approx 1,5$ раза. Селективность обмена зависит от величины давления набухания в порах ионообменной смолы и от размера пор. Ионный обмен сводится к обмену ионами между двумя электrolитами – твердым полиэлектролитом (ионитом) и раствором.

В производственных условиях процессы ионообменной очистки сточных вод проводят на установках периодического и непрерывного действия.

Схемы технологических процессов приведены на рис. 9 (а, б).

Режим работы установки (а) следующий. Сточная вода поступает внутрь аппарата, проходит через слой ионита и выходит через распределитель. Затем подают промывную воду, а затем регенерируют раствор. Таким образом рабочий цикл состоит из следующих стадий:

- ионообмен;
- отмывка ионита от механических примесей чистой водой;
- регенерация ионита;
- отмывка ионита от регенерирующего раствора.

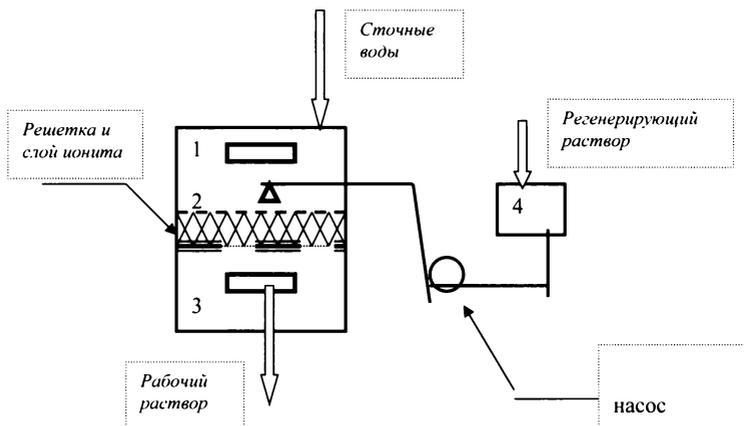


Рис. 9 (а) – Схема ионообменной установки периодического действия.

1,2,3 – распределители; 4 – бак с регенерирующим раствором

Схема (б) работает следующим образом. Приготовленную в емкости суспензию ионита в воде насосом направляют на циркуляцию через фильтр до тех пор, пока на фильтрующих элементах не образуется плотный слой ионита толщиной 5-10 мм. После этого подают на очистку сточные воды. Отработанный ионит удаляют из фильтра воздухом на регенерацию. Затем намаывают новый слой ионита и цикл повторяют. Схему целесообразно применять при малом содержании солей в сточных водах.

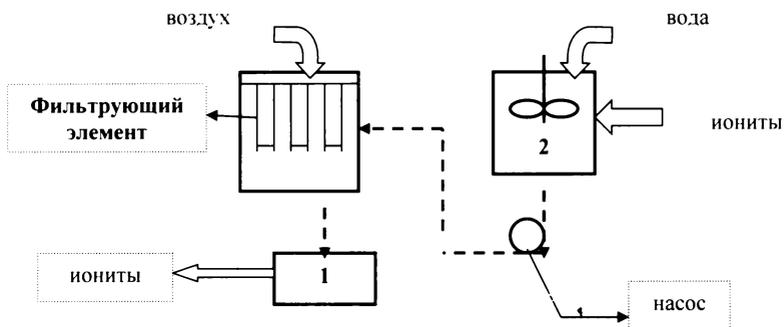


Рис 9 (б) – Схема ионообменной установки с намывным фильтром из ионообменного материала. 1- сборник отработанного ионита; 2 – емкость с мешалкой для приготовления суспензии ионита

Электродиализ применяют для опреснения воды, т.е для удаления растворимых минеральных солей, кислот, щелочей, а также радиоактивных веществ из сточных вод. Это процесс разделения ионов неорганических соединений, проводимый в многокамерном мембранном аппарате под действием постоянного электрического тока.

Адсорбционный метод – один из наиболее доступных и эффективных методов глубокой очистки (доочистки) сточных вод от растворенных органических веществ. Применяя активные сорбенты, можно полностью очистить воду от органических примесей даже при весьма малых концентрациях, когда другие методы неэффективны. Сорбентами могут служить мелкодисперсные вещества с развитой поверхностью – опилки, зола, торф, глина, коксовая мелочь. Наиболее эффективные сорбенты – активированные угли.

Биохимические методы очистки основаны на использовании закономерностей биохимического и физиологического самоочищения рек и других водоемов – биологическом окислении органических и некоторых неорганических веществ в результате деятельности микроорганизмов, использующих примеси сточных вод как питательный субстрат. Существует несколько типов биологических устройств по очистке сточных вод: биофильтры (очистка с помощью фильтрации на поверхности бактериальной пленки), биологические пруды (естественная очистка), аэротенки (очистка с помощью активного ила из бактерий и микроскопических живых организмов в избытке кислорода), биологические (шламовые) пруды и др. Показатели очистки (скорость окисления, эффективность) зависят от температуры, интенсивности перемешивания, концентрации кислорода, содержания токсичных веществ и биогенных элементов (азот и фосфор), степени рециркуляции активного ила. При использовании метода отстаивания в шламовых прудах необходимо обеспечивать хорошую гидроизоляцию дна и стенок пруда, особенно, если он используется для отстаивания токсичных стоков.

9.4 Требования к составу и свойствам воды

Требования к составу и свойствам воды приведены в таблице 6.

Косвенными показателями загрязненности сточных вод и водоемов органическими веществами служат *химическое потребление кислорода (ХПК)* и *биохимическое потребление кислорода (БПК)*.

Под **ХПК** понимают массу кислорода (в мг), необходимую для окисления 1 мг вещества в CO_2 , H_2O или оксид азота. ХПК определяют по стандартной методике, в которой в качестве окислителя используют бихромат калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ в присутствии катализатора – сульфата серебра.

Под **БПК** понимают содержание кислорода (в мг/дм^3), израсходованного за определенный промежуток времени на анаэробное биохимическое окисление (разложение) нестойких органических веществ, содержащихся в воде. В зависимости от периода времени, за которое определяют БПК, различают БПК_t ($t=5, 10$ сут.) или БПК_{полн.}.

Таблица 6 – Требования к составу и свойствам воды

Показатели состава и свойств воды	Критерии по категории водопользования	
	Хозяйственно-бытового назначения	Рыбо-хозяйственного водопользования
Взвешенные вещества	Не более 0,25 мг/л	
Плавающие вещества	На поверхности не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, других примесей	
Запах, привкус, окраска	Запах и привкус интенсивностью не более 2 баллов, окраска не обнаруживается	Вода не должна приобретать посторонние запахи, привкусы и окраску и сообщать их мясу рыбы
Температура	Повышение (летом)– не более 3°C по сравнению со среднемесячной температурой самого жаркого месяца за последние 10 лет	Повышение по сравнению с естественной T водоема не более, чем на 5°C
Реакция	рН среды не превышает 6,5 –8,5	
Минеральный состав	Количество сухого остатка не более 1000 мг/л	
Растворенный кислород	Не менее 4 мг/л в любой период года	Не менее 6 мг/л в любой период года (летом до 12 часов дня)
Ядовитые вещества	Ниже ПДК	Ниже концентраций, оказывающих вредное влияние на рыб

10. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Самыми перспективными и прогрессивными методами обезвреживания твердых промышленных отходов следует считать те, которые могут быть включены в наименее опасные для здоровья людей и окружающей среды; это - высокоэффективные, замкнутые, мало- или безотходные технологические процессы данного вида производства.

Все промышленные отходы делят на *утилизируемые* и *не утилизируемые*. Утилизируемые промышленные отходы не подлежат уничтожению или захоронению, а должны быть использованы в народном хозяйстве как топливо, стройматериалы, удобрения, исходное сырье для повторной переработки или регенерации отходов с целью получения вторичного сырья. Захоронение не утилизируемых отходов определяется их потенциальной опасностью для здоровья населения. Отходы обычно относят к тому же классу токсичности, что и содержащееся в них химическое вещество. Однако в промышленных отходах может содержаться сразу несколько веществ с различным классом токсичности, и не меньшую опасность для окружающей среды и для организмов представляют такие свойства, как летучесть, растворимость химических веществ. Эти показатели учитываются в классификации промышленных отходов. Они делятся на пять классов опасности с учетом их токсичности, влияния на окружающую среду и технологии обезвреживания промышленных отходов на полигонах.

К I классу относятся не утилизируемые нефте- и маслоотходы, которые содержат до 80% воды и до 10% грунта и механических включений. Обезвреживаются эти отходы сжиганием. Их количество стабильно и составляет по области примерно 5000 т в год.

Ко II классу относятся жидкие отходы, содержащие органические загрязнения с ХПК около 25000 мг/л. Эти отходы частично выпариваются в процессе сжигания органических загрязнений.

К III классу относятся жидкие отходы с минеральными загрязнениями (кислоты, щелочи, соли, гидроокиси тяжелых металлов). Нейтрализуются в котлованах за счет взаимного смешения и добавления реагентов.

К IV классу относятся условно-твердые отходы, в том числе пастообразные, которые смешиваются с опилками. Сгущенные таким образом отходы помещают в котлован и изолируют сверху слоем грунта. На эту почву высевают травы, высаживают деревья и декоративные кустарники.

К V классу относятся особо токсичные сильнодействующие ядовитые соединения. Их прием и захоронение производят в металлических контейнерах. Предприятие-поставщик, кроме паспорта, характеризующего состав отходов, представляет акт о герметичности контейнера. Количество подобных отходов составляет примерно 0,5—1,0% от всей перерабатываемой на полигоне массы.

11. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ГАЗООБРАЗНЫМИ И АЭРОЗОЛЬНЫМИ ВЫБРОСАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

11.1 Виды промышленных газообразных выбросов

Под атмосферным воздухом понимают жизненно важный компонент окружающей среды (ОС), представляющий собой естественную смесь газов и находящийся за пределами жилых, производственных и других помещений. Охрана атмосферного воздуха – ключевая проблема оздоровления ОС. Атмосферный воздух выполняет сложнейшую защитную экологическую функцию, предохраняя Землю от абсолютно холодного космоса и потока солнечного ультрафиолетового и ионизирующего излучения. В атмосфере идут глобальные метеорологические процессы, формируются климат и погода, задерживается масса метеоритов.

Атмосфера обладает способностью к самоочищению. Оно происходит при вымывании осадками аэрозолей, турбулентном перемещении приземного слоя воздуха, оседании загрязненных веществ. Но на сегодняшний момент атмосферный воздух уже не в полной мере выполняет свои защитные, терморегулирующие и жизнеобеспечивающие функции из-за различных видов загрязнений.

Естественное загрязнение воздуха вызвано природными процессами. К ним относятся: вулканическая деятельность, ветровая эрозия, массовое цветение растений, дым от лесных и степных пожаров и др.

Антропогенное загрязнение связано с выбросом загрязняющих веществ в результате деятельности человека. По масштабам антропогенное загрязнение значительно превосходит природное.

По агрегатному состоянию выбросы вредных веществ в атмосферу классифицируются как:

1. газообразные (диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, углеводороды);
2. жидкие (кислоты, щелочи, растворы солей);
3. твердые (канцерогенные вещества, свинец, его соединения, органическая и неорганическая пыль, сажа, смолистые вещества)

Помимо указанных загрязняющих веществ и химических соединений в атмосфере городов наблюдается загрязнение еще 70 видами вредных веществ.

Наиболее опасное загрязнение атмосферы – *радиоактивное*, обусловленное в основном долгоживущими радиоактивными изотопами – продуктами испытаний ядерного оружия и действующих АЭС, аварийных выбросов (суммарный выброс радиоактивных веществ во время Чернобыльской катастрофы составил 77 кг, при атомном взрыве в Хиросиме их образовалось лишь 740 г).

Кроме указанных видов загрязнений атмосферы, наблюдается еще *тепловое* загрязнение («острова теплоты» над большими городами).

Основные источники загрязнений и вредных воздействий на атмосферу – энергетические устройства, сжигающие твердое, жидкое и газообразное топливо, транспорт,

предприятия черной и цветной металлургии, химическая, горнодобывающая и перерабатывающая промышленность, целлюлозно-бумажная и нефтеперерабатывающая промышленность.

Состав промышленных выбросов в атмосферу чрезвычайно разнообразен: в них содержатся сотни химических соединений в виде газов, аэрозолей или паров. Сжигание топлива и многие промышленные процессы поглощают из атмосферы содержащийся в ней кислород. Выбросы в атмосферу и извлечение из нее кислорода приводят к глобальным и локальным изменениям воздушной среды.

Выделение аэрозолей от предприятий и транспорта создает над современными промышленными городами и районами шапки мглы, препятствующие проникновению солнечных лучей. Высокая концентрация загрязнителей в воздухе над многими крупными городами опасна для здоровья людей, зеленых насаждений, а также служит причиной разрушения зданий.

Газопылевые промышленные выбросы часто мигрируют, распространяясь на большие расстояния; общеизвестен факт выпадения кислотных дождей от выброса SO_2 и тумана H_2SO_4 предприятиями одной страны на территории другой.

В таблице 7 представлены сведения о количестве газопылевых выбросов в атмосферу по отраслям мировой промышленности.

В газообразных промышленных выбросах вредные примеси можно разделить на две группы: *взвешенные частицы (аэрозоли) и газообразные и парообразные вещества.*

Таблица 7 - Сведения о количестве газопылевых выбросов

Отрасль	Количество выбросов, %
Энергетика (тепловые электростанции)	43,0
Черная и цветная металлургия	23,1
Нефтеперерабатывающая промышленность	10,8
Прочие отрасли	23,1

К *аэрозолям* относятся взвешенные твердые частицы (пыль, дым) неорганического и органического происхождения, а также взвешенные частицы жидкости (тумана).

Пыль – это дисперсная малоустойчивая система, содержащая больше крупных частиц, чем дым и туман. Счетная концентрация (число частиц в 1 см³) мала по сравнению с тем же показателем дыма и тумана. Неорганическая пыль в промышленных газовых выбросах образуется при горных разработках, переработке руд, металлов, минеральных солей и удобрений, строительных материалов, карбидов и других неорганических веществ. Промышленная пыль органического происхождения – это угольная, древесная, торфяная, сланцевая пыль, сажа и т.д.

К *дымам* относятся аэродисперсные системы с малой скоростью осаждения под действием силы тяжести. Дымы образуются при сжигании топлива и его деструктивной переработке, а также в результате химических реакций, например в результате взаимодействия аммиака и хлороводорода, окислении паров металлов в электрической дуге и

т.д. Размеры частиц в дымах много меньше, чем в пыли и туманах и составляют от 0,5 мкм до субмикронных размеров, т.е. менее 0,1 мкм.

Туманы состоят из капелек жидкости, образующихся при конденсации паров или распылении жидкости. В промышленных выхлопах туманы образуются в основном из кислоты: серной, фосфорной и др.

К газообразным и парообразным веществам, содержащимся в промышленных газовых выхлопах, относятся: кислоты, галогены и галогенопроизводные, газообразные оксиды, альдегиды, кетоны, спирты, углеводороды, амины, нитросоединения, пары металлов, пиридины, меркаптаны и многие другие компоненты. Эта группа вредных примесей наиболее многочисленна.

В настоящее время безотходная технология находится в стадии становления. Полностью безотходных предприятий просто не существует, поэтому основной задачей газоочистки является снижение содержания токсичных веществ в газовых выбросах до уровня предельно допустимых концентраций (ПДК).

При невозможности достигнуть ПДК очисткой, иногда применяют выброс газов через высокие дымовые трубы для рассеивания примесей в верхних слоях атмосферы. Теоретическое определение примесей в нижних слоях атмосферы в зависимости от высоты трубы и других факторов связано с законами турбулентной диффузии. При этом можно рассчитать предельно допустимый выброс, г/сек, (ПДВ) вредных примесей в атмосферу, обеспечивающий концентрацию этих веществ в приземном слое воздуха не выше ПДК.

Однако достижение ПДК с помощью «высоких труб» не предохраняет атмосферу, а лишь переносит загрязнения из одного района в другие.

11.2 Санитарно-защитные зоны

Исходя из санитарных норм и правил любые объекты, которые являются источниками выбросов вредных веществ, а также источниками шума, вибрации, ультразвука, электромагнитных волн, радиочастот, статического электричества, необходимо в обязательном порядке отделять от жилой застройки санитарно-защитными зонами (СЗЗ).

СЗЗ – это зона пространства и растительности, специально выделенная между промышленным предприятием и районом проживания населения. Обеспечивая пространство для безопасного рассеивания вредных выбросов, она должна быть надлежащим образом озеленена и удовлетворять специальным гигиеническим требованиям. В зависимости от концентрации объектов на данной территории, их мощности, условий эксплуатации, характера и количества выбрасываемых токсических веществ установлены следующие минимальные размеры СЗЗ: предприятия I класса опасности = 2000 м; 2-ого = 1000 м; 3-его = 500 м; 4-го = 300 м; 5-ого = 100 м. Допускается размер СЗЗ = 50 м для предприятий пищевой промышленности, общественного питания, зрелищных и культурных объектов.

СЗЗ отделяют промышленные зоны от жилых (селитебных) зон лесополосами, парковыми и лесопарковыми зонами. Функции зеленых насаждений многообразны. Они не только обогащают воздух кислородом, создают благоприятный микроклимат, но и способствуют рассеиванию вредных веществ и поглощают их. При озеленении территории промышленных предприятий и ССЗЗ, обочин дорог обычно выбирают древесные, кустарниковые, цветочные и газонные растения в зависимости от климатических условий, характера производства и эффективности данной породы для очистки воздуха. А также ее устойчивости к вредным газам. Установлено, например, что наиболее стойкими являются акация белая, атлант высокий и клен ясенелистовый.

Эффективность озеленения характеризуют следующие данные: хвоя одного гектара елового леса улавливает 32 т пыли, листва букового леса – 68 т. На расстоянии 500 м от предприятия при наличии зеленых насаждений концентрация диоксида серы, сероводорода и диоксида азота снижается в 3-4 раза.

12. ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОВОЗДУШНЫХ, АЭРОЗОЛЬНЫХ И ПАРООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ

В соответствии с характером вредных примесей различают методы очистки воздуха от аэрозолей и от газо- и паробразных примесей. Все методы очистки определяются в первую очередь физико-химическими свойствами примесей, их агрегатным состоянием, дисперсностью, химическим составом.

12.1 Методы сухой очистки газовых выбросов от аэрозолей

Методы очистки от аэрозолей по их основному принципу можно разделить на: *механические, электростатические, звуковую и ультразвуковую коагуляцию.*

Механическая очистка газов включает сухие и мокрые методы. К сухим относится гравитационное осаждение, инерционное и центробежное пылеулавливание, фильтрация. В большинстве промышленных газоочистительных установок комбинируется несколько методов очистки, причем конструкции очистных аппаратов весьма многочисленны.

Гравитационное осаждение основано на осаждении взвешенных частиц под действием силы тяжести при движении запыленного газа с малой скоростью, без изменения направления потока (рис.10).

Инерционное пылеулавливание основано на стремлении взвешенных частиц сохранять первоначальное направление движения при изменении направления газового потока. Чаще всего применяют жалюзийные пылеулавливатели с большим числом щелей (жалюзи). Частицы пыли с размером меньше 20 мкм в жалюзийных аппаратах не улавливаются. Степень очистки в зависимости от дисперсности частиц составляет 20-70%. Помимо низкой эффективности недостаток этого метода – быстрое истирание или забивание щелей.

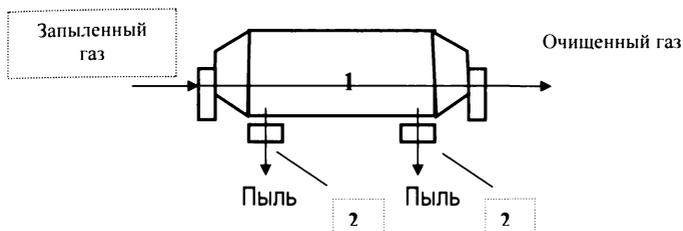


Рис. 10 – Полая пылеосадительная камера:
 1 – корпус, 2 – бункер со штуцером для удаления пыли

Центробежные методы очистки газов основаны на действии центробежной силы, возникающей при вращении очищаемого газового потока в очистном аппарате (циклон) (рис.11) или при вращении частей самого аппарата (ротоклон).

Циклоны наиболее часто применяются в промышленности для осаждения твердых аэрозолей. Газовый поток подают в цилиндрическую часть циклона тангенциально, он описывает спираль по направлению к дну конической части и затем меняет направление движения на 180° и устремляется вверх на выход через турбулизованное ядро потока у оси циклона. По конструкции циклоны подразделяются на циклические, конические и прямоточные.

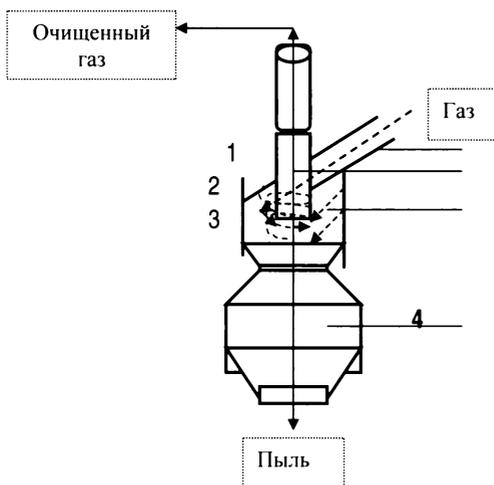


Рис. 11 – Устройство циклического циклона:
 1 – патрубок, 2 – внутренний цилиндр, 3 – наружный цилиндр, 4 – бункер.

Под действием центробежной силы частицы пыли прижимаются к внутренним стенкам наружного цилиндра и скатываются в пылесборник. Циклоны широко применяются для улавливания частиц размерами более 10 мкм, то есть при грубой и средней очистке газа от аэрозолей.

В ряде случаев для очистки газового потока от взвесей применяются *фильтры*. В таких устройствах газовый поток проходит через волокно (фильтрующий материал), при этом частицы, обладающие инерцией, сталкиваются с ним и захватываются. В зависимости от фильтрующего материала фильтры разделяются на:

- тканевые (хлопок, шерсть, химические волокна, и др.);
- волокнистые (стекловолокно, хлопок с асбестом, асбоцеллюлоза);
- зернистые (керамика, металлокерамика, пластмасса).

Наиболее совершенными и универсальными аппаратами для очистки выбросов от взвешенных частиц являются *электрические фильтры*, в основе работы которых лежит осаждение взвешенных частиц под действием электрических сил. Промышленные электрофильтры состоят из ряда заземленных пластин или труб, через которые пропускают очищаемый газ. Между осадительными электродами подвешены проволочные коронирующие (создают поле высокого напряжения 25-100 кВ) электроды. Степень очистки от аэрозолей – выше 90%. Недостатки этого метода – высокая себестоимость (капиталовложения и эксплуатационные расходы) и значительный расход энергии – до 0,1-0,5 кВт на 1000 м³ очищаемого газа.

Фильтрация – весьма распространенный метод тонкой очистки газов. Ее преимущества – сравнительно низкая стоимость оборудования и высокая эффективность (до 99,9%) тонкой очистки. Недостатки – высокое гидравлическое сопротивление и быстрое забивание фильтрующего материала пылью.

12.2 Методы «мокрой» очистки газовых выбросов от аэрозолей

Мокрая очистка газов от аэрозолей основана на промывке газа жидкостью (например, водой) при возможно более развитой поверхности контакта жидкости с частицами аэрозоля и возможно более интенсивном перемешивании очищаемого газа с жидкостью. Этот универсальный метод очистки газов от частиц пыли, дыма и тумана любых размеров наиболее распространен на заключительной стадии механической очистки (особенно для газов, подлежащих охлаждению). С этой целью применяют орошаемые циклоны (центробежные скрубберы); пенные аппараты; скрубберы Вентури.

Основной недостаток всех методов мокрой очистки газов от аэрозолей – образование больших объемов жидких отходов (шлама). Если не предусмотрена замкнутая система водооборота и утилизация всех компонентов шлама, то мокрые способы газоочистки по существу только переносят загрязнители из газовых выбросов в сточные воды, то есть из атмосферы в гидросферу.

Для увеличения размера частиц в аэрозолях можно применять методы звуковой и ультразвуковой коагуляции а также предварительной электризации, но при этом концентрация частиц аэрозоля должна быть не менее 2 мг/м³.

12.3 Очистка газовых выбросов от газообразных примесей

Для улавливания газообразных примесей, в виде оксидов серы и азота, сероводорода и др. применяют методы *хемосорбции, адсорбции, каталитического и термического окисления*.

Хемосорбция (химическая абсорбция) основана на поглощении газов жидкими поглотителями с образованием малолетучих химических соединений. Молекулы загрязняющих веществ могут адсорбироваться жидкой поверхностью физически либо взаимодействовать с адсорбентом и превращаться в другие вещества. Большинство реакций, протекающих в процессе хемосорбции, является экзотермическими и обратимыми.

Хемосорбцию проводят в специальных устройствах – абсорберах (рис. 12). В этих аппаратах абсорбция может быть осуществлена противоточно, либо прямоточно. Жидкость диспергируется в потоке газа или газовый поток барботирует через жидкость (использование насадочных скрубберов, пенных аппаратов, безнасадочных форсуночных абсорберов и др.). В качестве адсорбентов применяют воду, растворы аммиака, едких и карбонатных щелочей, солей марганца, этаноламины, масла, суспензии гидроксида кальция, сульфат магния и т.д.

Показателями абсорбционных методов являются степень очистки (ПДК) и коэффициент массопередачи, которые зависят от растворимости газа в абсорбенте, технологического режима в реакторе, скорости химических реакций и др. Абсорбционные методы характеризуются непрерывностью и универсальностью процесса, экономичностью и возможностью извлечения больших количеств примесей из газов. Недостаток этих методов состоит в том, что они обеспечивают высокую степень очистки только при большом числе ступеней очистки. Поэтому технологические схемы мокрой очистки, как правило, сложны, многоступенчаты, а реакторы имеют большой объем.

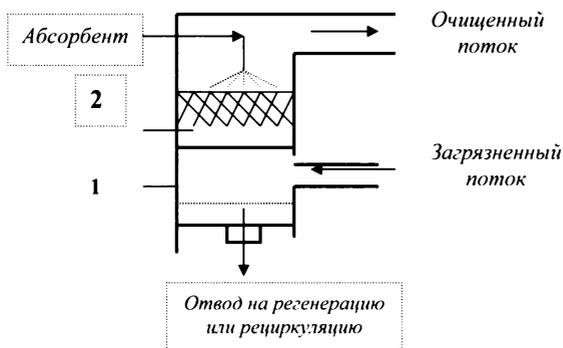


Рис. 12 – Схема абсорбера:

1 – корпус абсорбера; 2 – сетка с насадками

Адсорбция (физическая) – основана на селективном поглощении вредных газов и паров твердыми адсорбентами, имеющими развитую микропористую удельную поверхность ($S_{уд}$ – отношение поверхности к массе, m^2/g).

В адсорберах очищаемый газовый поток пронизывает снизу вверх слой адсорбента, который состоит из зернистого материала (рис.13). При этом вредные примеси связываются адсорбентом и впоследствии могут быть выделены из него. Применяются адсорберы с неподвижным фильтрующим слоем (прерывистого действия) и адсорберы непрерывного действия, в которых адсорбент медленно перемещается и одновременно очищает проходящий через него поток.

Адсорбционные методы применяют для различных технологических целей: разделение парогазовых смесей на компоненты с выделением фракций, осушка газов, санитарная очистка газовых выхлопов.

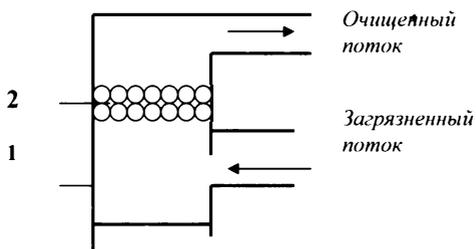


Рис. 13 – Схема адсорбера:

1 – корпус адсорбера; 2 – сетка с адсорбентом (активированный уголь, силикагель, алюмогель, природные и синтетические цеолиты)

Наиболее перспективны непрерывные циклические процессы адсорбционной очистки в реакторах с движущимся или взвешенным слоем адсорбента, так как обеспечивают высокую производительность по газу, возможность регенерации и возврата продукта в производство. Адсорбционные методы наиболее эффективны для удаления токсичных примесей, содержащихся в малых концентрациях – как завершающий этап очистки газов. Недостаток адсорбционных установок – малая интенсивность реакторов, высокая стоимость периодической регенерации сорбента.

Каталитические методы очистки газов основаны на реакциях в присутствии твердых или жидких катализаторов, то есть на закономерностях гетерогенного или гомогенного катализа. В результате каталитических реакций примеси, в отличие от рассмотренных методов, не извлекаются из газа, а трансформируются либо в безвредные соединения, либо в соединения, легко удаляемые из газового потока (в этом случае необходимы дополнительные операции). Трудно провести границу между адсорбционными и каталитическими методами, поскольку такие традиционные сорбенты как активированный уголь и цеолиты, служат активными катализаторами для многих химических реакций. Однако методы утилизации соединений, полученных при катализе иные, чем в адсорбционных процессах.

Примером каталитического процесса может служить окисление оксида серы (IV) в оксид серы (VI) на угольном катализаторе. В присутствии паров воды на поверхности угля в результате окисления SO_2 образуется серная кислота, концентрация которой по-

сле регенерации угля составляет от 15 до 70%. В качестве твердофазных катализаторов могут также использоваться оксиды ванадия, железа, меди или хрома, полиоксидные катализаторы. При жидкофазном каталитическом окислении диоксида серы в качестве катализатора используются соли марганца или железа. В этом случае орошающий раствор поглощает из газа SO_2 .

Каталитические методы обеспечивают глубокую очистку газов при сравнительно невысоких температурах и обычном давлении, а также при весьма малых концентрациях примесей. Установки каталитической очистки просты в эксплуатации и малогабаритны. Недостаток метода – образование новых веществ, которые подлежат удалению из газа другими методами (адсорбцией, абсорбцией), что усложняет установку и снижает общий экономический эффект.

Термический метод предусматривает высокотемпературное сжигание вредных примесей. Его применяют для удаления горючих веществ, например, предельных и ароматических углеводородов, или оксида углерода (II). Простейший метод – факельное сжигание. В этом случае примеси служат топливом, температура процесса – 750 – 900°C и теплоту горения примесей можно утилизировать.

Для полноценной очистки газовых выбросов целесообразны комбинированные методы с применением на разных стадиях грубой, средней и тонкой очистки, а на стадиях доочистки – использование адсорбционных и каталитических методов.

12.4 Каталитические реакторы для дожига отходящих газов

Для очистки промышленных газовых выбросов от органических примесей и вредных сернистых соединений применяют термические и каталитические методы. Они являются наиболее перспективными методами обезвреживания органических примесей в газовых выбросах химических, коксохимических, металлургических заводов и других предприятий, так как надежны, дешевы и достаточно эффективны.

Процессы глубокого термокаталитического окисления проводят в специальных реакторах, которые обычно работают в двух режимах: стационарном и нестационарном.

Реактор с платиновым катализатором представляет собой конструкцию башенного типа, включающую многоходовой трубчатый воздухоподогреватель — рекуператор, встроенный смешивающий воздухоподогреватель и газовую горелку, в верхней части размещена каталитическая камера. Реактор оборудован системой КИПиА, позволяющей выполнять по заданной программе пусковые и остановочные операции, а также поддерживать оптимальный тепловой режим. Самым простейшим аппаратом является реактор с неподвижным слоем катализатора (рис. 14). Однако в нем трудно равномерно распределить поток газов и избежать градиентов температуры по слою катализатора, а также предотвратить разложение реагентов на перегретых участках при снижении скорости реакции на ненагретых. Более сложен полочный реактор с несколькими слоями катализатора (рис. 15).

В нем поток газа лучше распределяется и охлаждается между слоями, причем можно вводить горячий и холодный газ, а в разных слоях поместить разные катализаторы; кроме того, можно избирательно заменять слой дезактивированного контакта и поддерживать различную температуру в слоях.

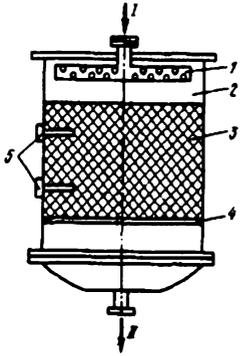


Рис. 14 – Реактор с неподвижным слоем катализатора:
1 — газораспределитель; 2 — камера смешения; 3 — катализатор; 4 — решетка; 5 — термопары; I—ввод газов; II—очищенные газы

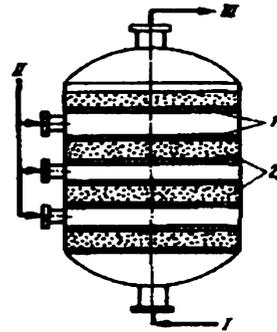


Рис.15 – Полочный реактор:
1 - опорная сетка; 2 - слой катализатора; I - ввод газов; II - ввод холодного воздуха; III - 380 °C

В аппарате газоочистки (рис. 16) газы поступают в трубное пространство теплообменника и далее в реактор, где смешиваются с дымовыми газами сжигания топлива в панельных горелках, проходят через слой катализатора, а затем через межтрубное пространство теплообменника сбрасываются в атмосферу. Наиболее многочисленны реакторы со встроенными рекуператорами тепла КВ, в корпусе которых размещен слой катализатора и теплообменник (рис. 17).

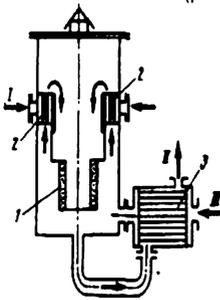


Рис. 16 – Каталитический реактор:
1—катализатор; 2—панельные горелки; 3—кожухотрубчатый теплообменник; I—природный газ; II, III—соответственно выход и вход газов

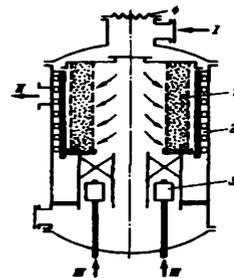


Рис. 17 – Реактор типа КВ
1—катализатор; 2—теплообменник; 3—горелка; I—загрязненные газы; II—очищенные газы; III-топливо

Таким образом, каталитический способ очистки газовых выбросов от органических примесей внедрен в различных отраслях промышленности. Однако большинству реакторов присущи недостатки: периодичность работы, низкая производительность, отсутствие пылеочистных устройств и высокая стоимость.

13. ТВЁРДЫЕ ОТХОДЫ И ИХ УТИЛИЗАЦИЯ

13.1 Источники образования и классификация твёрдых отходов

Во всем мире образуется огромное количество твердых отходов. Отвалы, свалки и полигоны для твердых отходов занимают большие площади. В соответствии с принятой классификацией, твердые отходы подразделяются на *отходы производства* и *отходы потребления*. И те, и другие могут являться *вторичным сырьем* для промышленного производства.

Отходами производства являются остатки сырья, материалов и полуфабрикатов, образовавшиеся в процессе производства продукции и утратившие исходные потребительские свойства, а также вещества, улавливаемые при очистке отходящих технологических газов и сточных вод. *Отходами потребления* являются изделия и материалы, утратившие потребительские свойства в результате физического или морального износа. К *вторичному сырью* относятся вторичные материальные ресурсы, которые могут быть использованы в промышленности.

Отходы подразделяют: *в зависимости от объема* - на крупнотоннажные и малотоннажные; *по влиянию на окружающую среду* – на вредные и безвредные; *по ценности компонентов* – на дорогостоящие и дешевые; *по физико-химическим свойствам* – на активные и инертные.

Основными источниками твердых отходов являются: энергетика (зола и шлаки от сжигания твердого топлива); черная и цветная металлургия (шлаки, формовочная земля, коксовые остатки); угледобывающая промышленность (отвалы); деревообрабатывающая промышленность (опилки, стружки, остатки древесины, кора); химическая промышленность (химические вещества в широком ассортименте, фосфогипс и т.д.) и смежные отрасли.

При их функционировании образуется большое количество твердых отходов, сокращающих земельный фонд и отравляющих почву.

Помимо твердых промышленных отходов (ТПО), в жилых массивах образуется много твердых бытовых отходов (ТБО). Например, в состав ТБО в Минске входят:

- бумага и картон – 28,8%;
- металлы – 5,7%;
- пищевые отходы - - 28,5%;
- пластмасса – 5,1%;
- текстиль – 3,1%;
- стекло – 4,4%;
- горючие материалы – 1,8%;
- инертные материалы – 3,4%;
- отсев (мелкие частицы менее 15 мм) – 19,2%.

13.2 Методы переработки твердых промышленных и бытовых отходов

Экологическая политика Республики Беларусь направлена на стабилизацию, а в дальнейшем – на сокращение загрязнения окружающей среды отходами и экономии природных ресурсов за счет максимально возможного вторичного вовлечения отходов в хозяйственный оборот. Предусматривается решение следующих задач:

- снижение объемов образования отходов на основе внедрения малоотходных и безотходных технологий;
- сокращение видов и объемов токсичных и опасных отходов на основе применения новых технологических решений;
- эффективное использование сырьевого и энергетического потенциала вторичных материальных ресурсов;
- экологически безопасное размещение отходов;
- целенаправленное распределение финансовых и иных ресурсов на удаление отходов и их вовлечение в хозяйственный оборот.

Неуклонный рост выработки различных химических веществ сопровождается, как правило, соответствующим увеличением количества вредных отходов. К отходам относятся продукты побочных реакций не находящие применения, продукты неполного или глубокого превращения, полимеризации, газы, не вступившие в реакцию. Вспомогательные материалы и вещества: отработавшие катализаторы, абсорбенты, адсорбенты, тара и фильтровальные материалы не пригодные для повторного использования и др.; механические потери сырья, промежуточных и готовых продуктов вследствие не герметичности оборудования и коммуникаций; сточные воды химических производств.

Основным направлением ликвидации и переработки твердых промышленных отходов (ТПО) является *захоронение на полигонах, сжигание* (в частности методом пиролиза), *складирование в поверхностных хранилищах* (шламонакопители). Способ обезвреживания и захоронения отходов зависит от агрегатного состояния, водорастворимости и класса опасности их соединений. Подробно методика определения класса токсичности твердых отходов рассматривается на практических занятиях.

Захоронение промышленных токсичных отходов на полигонах – участках, не имеющих хозяйственного значения, проводят после их стабилизации обработкой связующими или цементирующим веществами – жидким стеклом, цементными растворами, битумами. Полученные блоки закладывают в карьеры, овраги, скважины, шурфы и другие естественные или искусственные углубления в поверхностных слоях земли (глубиной до 12 м). Такой метод захоронения применяют для отходов, содержащих соединения ртути, мышьяка, цианидов, а также для слаборадиоактивных отходов.

Полигоны запрещено размещать в сильно заболоченных местах, на территориях лесных зон, городов, в зонах санитарной охраны, курортах, в зоне питания подземных источников питьевой воды, в зонах активного карста, оползней, селевых потоков, снежных лавин. Строительство и эксплуатация полигонов осуществляется в соответствии с техническим нормативно-правовыми актами (ТНПА) Республики Беларусь. При создании полигона особое внимание уделяется проектированию дождевой и хозяйственно-бытовой канализации, а также дренажу (рис.18).

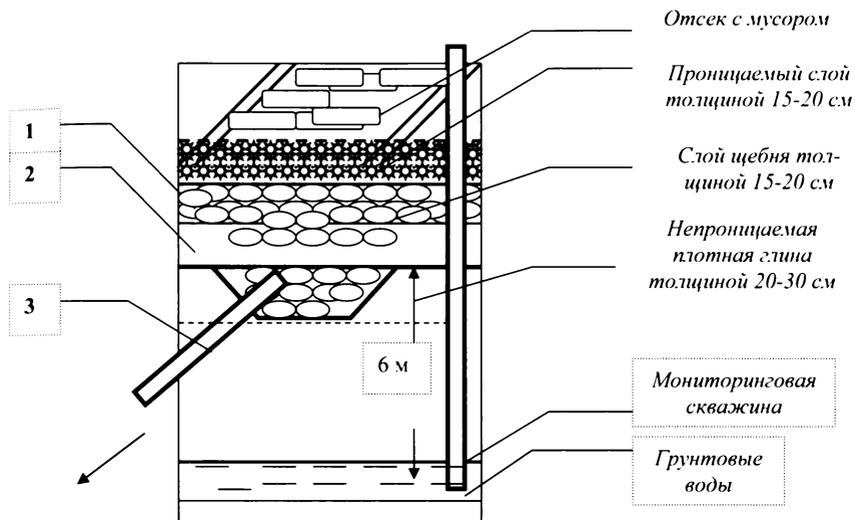


Рис. 18 – Схема разреза захоронения твердых отходов и дренажа фильтрата:
1 –фильтрующий слой войлока; **2** –тканевое стекловолокно; **3** – отводная труба для сбора фильтрата в непроницаемый резервуар

Для полигонов обычно выбирают место в глинистом грунте, в котором можно складировать отходы в течение 20-25 лет и более. Основание выбранной площадки делают в виде большого корыта глубиной 1,5 м и более для скапливания в нем фильтрата. Если глинистого грунта нет, дно полигона выстилают слоем привозной глины толщиной 0,5 м. В течение суток вывозят отходы на одну площадку полигона и уплотняют бульдозерами послойно до 2-метровой высоты. На следующий день отходы вывозят на другую площадку, а предыдущую укрывают изолирующим слоем грунта толщиной 0,25 м. В целях снижения площади полигон загружают послойно до высоты 60 м и более. После заполнения полигона его поверхность покрывают растительным грунтом.

Сжигание или термическая обработка – наиболее надежный способ обезвреживания и утилизации твердых отходов. Сжигание осуществляют в высокотемпературных термических реакторах – печах, обеспечивающих: хорошее перемешивание для развития поверхности контакта фаз и для ускорения внешней и внутренней диффузии кислорода с целью максимального окисления органической части отходов; высокую температуру, достаточную для полного обезвреживания токсичной части отходов.

Чаще всего применяют барабанные, камерные и циклонные печи, а также используют сжигание во взвешенном (кипящем) слое. Горение твердой массы во всех типах печей начинается при 600°C. Температуру в зоне горения поддерживают в пределах 1100-1500°C. Наиболее полно и интенсивно происходит сжигание в циклонных печах и печах взвешенного слоя благодаря энергичному перемешиванию твердого материала с воздухом. Перспективна термическая обработка твердых отходов методом пиролиза,

продукты которого (полукоксы) могут служить энергетическим топливом, а также сырьем для органического синтеза. Нагрев до 300-900°C обеспечивают с помощью электрической дуги или токов высокой частоты в вертикальных цилиндрических (ретортных) печах. Для предупреждения образования сажи и токсичных продуктов в зону реакции вводят водяной пар. Состав газов зависит от состава перерабатываемых отходов и содержания кислорода в зоне пиролиза. Твердый остаток пиролиза, который содержит высокий процент углерода, может быть утилизирован как наполнитель для пластических масс и резин или использован как сорбент.

Захоронение твердых промышленных отходов в поверхностных хранилищах – наиболее распространенный на сегодняшний день способ обезвреживания. Такой способ приводит к отчуждению больших участков земли и к загрязнению поверхностных и грунтовых вод. Основным типом поверхностных хранилищ – шламонакопители, которые строят по каскадному принципу. Шламонакопители включают в себя чашу, берега, плотину и дренажную систему, защищающую грунты под сооружением от фильтрационных деформаций и отводящую из хранилища загрязненные стоки для обезвреживания. Захоронения промышленных токсичных отходов на участках, не имеющих хозяйственного значения, проводят после их стабилизации обработкой связующими или цементирующими веществами – жидким стеклом, цементными растворами, битумами.

При переработке твердых бытовых отходов (ТБО) наибольшее распространение получили следующие методы:

- строительство полигонов для захоронения (аналогично полигонам для ТПО) и частичной переработки;
- сжигание отходов на мусоросжигающих заводах;
- компостирование (с получением ценного азотного удобрения или биотоплива);
- ферментация (получение биогаза из животноводческих стоков и др.);
- предварительная сортировка, утилизация и реутилизация ценных компонентов;
- пиролиз (нагрев без доступа кислорода) ТБО при температуре от 450 до 1700°C.

Обустройство полигонов для захоронения ТБО было рассмотрено ранее. Проблемы, связанные с захоронением ТБО, такие же, как и для полигонов ТПО. Они связаны с вымыванием веществ и загрязнением грунтовых вод, образованием метана и просадкой грунта.

Отличительной особенностью ТБО является наличие в них большого количества органических веществ (остатков пищевых продуктов) и поэтому вторая проблема – накопления метана, больше свойственна именно для полигонов ТБО. Так как у захороненного мусора практически нет доступа к кислороду, его разложение идет анаэробно и на метаногенной стадии образуется большое количество метана. Метановое сбраживание включает четыре взаимосвязанные стадии и осуществляется пятью группами различных бактерий.

Метан – легковоспламеняющийся газ, он может распространяться в земле горизонтально, проникать в подвалы зданий, накапливаться там и взрываться при искрении или зажигании. В США известны случаи разрушения более 20 домов, расположенных на расстоянии до 300 м от свалок. Кроме того, метан способен распространяться вверх,

отравляя корни деревьев и губя растительность, а также вызывая эрозию почвы. Указанную проблему можно решить путем устройства на месте свалок «газовых скважин», перехватывающих образующийся метан, который можно использовать как топливо.

С течением времени, по мере разложения отходов, полигон проседает. При этом образуются неглубокие впадины, в них скапливается вода и весь участок впоследствии превращается в болото с ядовитой водой. Для периодического контроля за качеством грунтовых вод по периметру свалки устраивают так называемые мониторинговые колодцы.

Компостами называют органические удобрения, получаемые в результате разложения растительных и животных остатков микроорганизмами. При компостировании в органической массе повышается содержание питательных веществ (азота, фосфора) в усвояемой растениями форме, обезвреживается патогенная микрофлора, уменьшается количество целлюлозы и пектиновых веществ. Разные по составу и способу приготовления компосты применяют под многие культуры и используют вместо остродефицитных органических удобрений (навоз, торф). В специальных компостных установках процесс разложения целенаправленно регулируется: создается температура до 70°C, при которой погибают семена и сорных растений и микробы. Этот способ переработки практически не оказывает вредного воздействия на ОС, поскольку очень близок к природным процессам. Однако, при переработке отходов, содержащих ионы тяжелых металлов, последние могут накапливаться в компосте в больших количествах, поэтому следует проводить предварительный анализ на содержание тяжелых металлов и их удаление.

Наиболее совершенным на сегодняшний день является *компостирование аэробным окислением* во вращающемся наклонном барабане. Для интенсификации процесса окисления, в барабан подается горячий воздух. Отходы находятся в барабане около трех суток. После дополнительной сепарации металла, компост подают на грохочение для отделения некомпостируемых отходов (резины, кожи, дерева, стекла и т.д.) и после измельчения компост может быть использован в сельском хозяйстве.

Основной проблемой при *сжигании отходов* является образование больших объемов ядовитых веществ – диоксинов, производных хлоруглеводородов, которые характеризуются мутагенным, канцерогенным, эмбрионотоксическим действием. Важно, что биологическое действие диоксинов проявляется уже в исключительно низких дозах. Поэтому в США, Японии и Западной Европе запрещено использование нескольких десятков диоксинсодержащих веществ, а также низкотемпературное сжигание мусора; изменяются технологии производства бумаги, внедряется контроль над содержанием диоксинов в промышленной продукции. Биогаз из ТБО производят способом, который называют «метановым сбраживанием». С целью создания надлежащих условий жизнедеятельности бактерий строят специальные бродильные камеры – биореакторы. В них поддерживается определенный температурный режим, давление, кислотность среды. Необходимо также следить за тем, чтобы в реактор не поступал кислород из атмосферы. Получение биогаза из органических отходов привлекает возможностью получения дешевого топлива, особенно учитывая надвигающийся энергетический кризис. Сегодня в мире эксплуатируется более 8 млн установок для получения биогаза, в том числе промышленных.

13.3 Современные химико-технологические системы комплексной переработки твёрдых промышленных и бытовых отходов (ТПБО)

Проблема отходов может решаться на месте их образования путем внедрения ресурсозовозобновляющих технологий (РВТ), обеспечивающих минимизацию промвыбросов и выхода отходов за счет их геохимической, физико-химической и биотехнологической обработки.

Практически все виды ТПО являются ценным сырьем и могут быть повторно использованы в различных целях. Даже на нынешнем уровне развития техники можно использовать более 60% образующихся отходов.

В развитых странах при обращении с ТПБО воплощается принцип устойчивого развития и включает следующие операции:

- редукция;
- вторичное использование;
- переработка;
- извлечение энергии;
- захоронение остатков.

Полнота осуществления этой схемы в различных странах определяется конкретными экологическими, сырьевыми, демографическими и другими условиями. На сегодняшний день разработаны химико-технологические системы (ХТС) удаления отходов. Структура такой ХТС является прямым отражением экономической и экологической политики государства и, следовательно, уровня его развития.

Реальная схема переработки ТПБО в развивающихся странах включает два основных блока – источник ТПБО и свалку, и представляет собой примитивную цепочку их удаления (рис.19).



Рис. 19 – Реальная ХТС переработки ТПБО в развивающихся странах

В большинстве экологически развитых стран ХТС удаления ТПБО включает спектр методов и производств, позволяющих осуществлять индивидуальную переработку и обезвреживание различных компонентов. Вместе с тем, все современные ХТС включают полигоны захоронения ТПБО, куда поступают непрореагировавшие остатки от переработки отходов, правда, уже в значительно меньших количествах (рис.11).

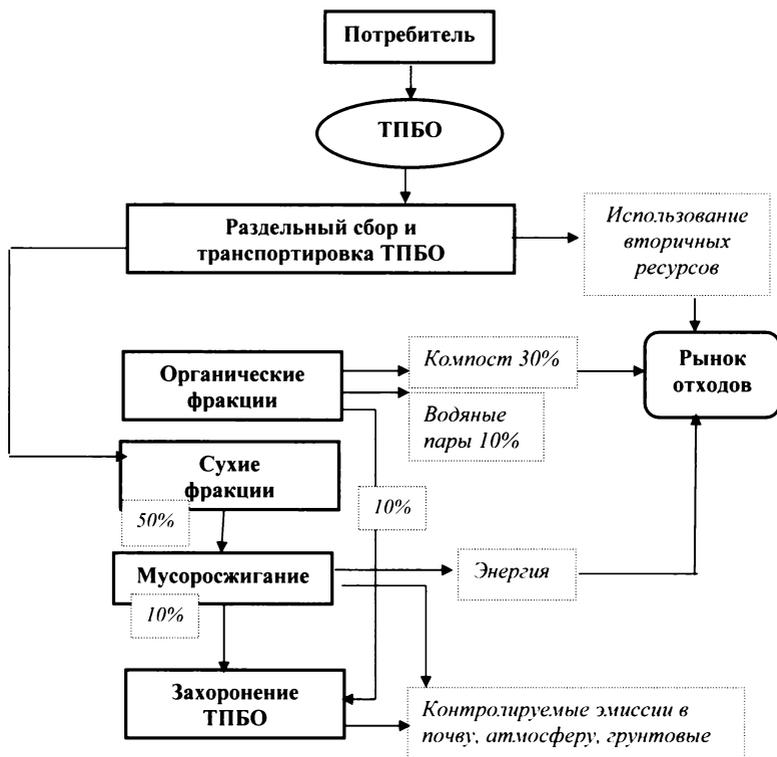


Рис. 11 – Реальная ХТС переработки ТПБО в экономически развитых странах

13.4 Методы предварительной сортировки ТПБО

Твердые бытовые отходы (ТБО) можно сортировать либо непосредственно на месте их получения (в домах), либо после сбора на специальных установках. В первом случае необходимы совместные усилия жителей. В определенном месте устанавливаются мусорные контейнеры, например, различного цвета, каждый из которых предназначен для определенного вида отходов – пластмассы, металла, стекла, бумаги, пищевых и растительных отходов и т.д. Эти контейнеры опорожняются не смешиваясь в особые грузовики – мусоровозы и отправляются на переработку.

По другому варианту отходы сортируют на специальных установках с применением различных механических методов и ручных операций. Например, для отделения отходов металлов из общей массы отходов используются магнитные поля постоянной и переменной частоты; для отделения более крупных фракций используются сита с различными размерами ячеек; для разделения фракций близких по размеру используются системы грохочения. В любом случае, проблема отходов должна решаться на месте их образования путем внедрения ресурсовозобновляющих технологий (РВТ), обеспечивающих минимизацию промышленных выбросов и выхода вторичных отходов.

Промышленные отходы должны утилизироваться самими предприятиями, поскольку характер отходов, их состав и структура зависят от типа предприятия и характера производства. Проще, например, утилизировать только отходы производства пластмасс, чем отделять их от отходов легкой или деревообрабатывающей промышленности.

Тем не менее, на сегодняшний момент, подавляющее большинство предприятий, функционирующих в Беларуси и России, удаляют свои отходы в специальные места захоронения (иногда отвалы) без сортировки или вывозят их на общие свалки, куда поступают бытовые отходы из городов и поселков.

Таким образом, не приходится говорить о селективном использовании промышленных отходов. Проблемы сортировки и утилизации всех видов отходов – это в первую очередь проблема организации управления деятельностью предприятий и обеспечение нормативно-правовой базы экологичности их функционирования.

13.5 Использование твердых отходов в качестве вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) и вторичных материальных ресурсов (ВМР)

Количество накопленных и ежегодно образующихся промышленных отходов исчисляется миллиардами тонн. Поэтому проблема их использования и переработки является чрезвычайно важной.

Крупнотоннажные промышленные отходы используются в настоящее время для рекультивации нарушенных земель, планировки территорий, отсыпки дорог, дамб, в производстве строительных материалов, в сельском хозяйстве, а также в качестве технологического и бытового топлива.

Кроме того, почти для всех видов отходов в различных областях промышленности разрабатываются новые технологии переработки в целях получения того или иного вида продукции.

Термические методы уничтожения твердых ВМР (например в печи Ванюкова) позволяют использовать энергетический (топливный) потенциал отходов, а в случае комплексной переработки извлекать дополнительно различные вещества, применяемые в основной или смежных областях промышленности. ТБПО рассматриваются как топливо с теплотворной способностью 1500-1800 ккал/кг при влажности 51,7%. Экологическая безопасность достигается за счет отсутствия на выходе из печи высокотоксичных со-

единений и применения системы очистки газов. В результате плавки образуется шлак, состоящий из силикатов и оксидов металлов, который после водной грануляции поступает на предприятия стройиндустрии или на строительство автодорог.

Ежегодно в мире образуется большое количество отходов угледобывающей промышленности и добычи руд. Использование этих отходов – только около 10% от их объема. Однако их использование очень выгодно: эксплуатационные затраты на получение 1 м³ щебня из отходов в 2-2,5 раза ниже, чем на добычу его из карьеров.

Многие виды промышленных отходов близки по своим свойствам и химическому составу к природному сырью, используемому в производстве строительных материалов. Примером может служить использование отходов энергетики – золы и шлаков ТЭЦ, которые содержат 53% SiO₂, 24% Al₂O₃, 10% Fe₂O₃ и FeO, 2% CaO, 1% MgO, 4% оксидов щелочных металлов и 6% несгоревшего топлива. Зола можно использовать в качестве добавки к цементу, газобетону, керамзитобетону, силикатному кирпичу, а также при производстве глиняного кирпича. Кусковой шлак используют в качестве наполнителя бетона.

Отходы угледобывающей, лесной и деревообрабатывающей промышленности, а также сельского хозяйства применяются в качестве топлива в промышленности и быту.

Некоторые крупнотоннажные отходы (фосфогипс, пиритные огарки, отходы производства калийных удобрений) используются в сельском хозяйстве для мелиорации солонцовых почв, а также как удобрение, содержащее многие ценные элементы (Ca, S, P, Fe, Cu, Mg, K, органические вещества, различные микроэлементы).

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1. Расчет предельно-допустимых выбросов (ПДВ) и анализ полученных результатов.
2. Определение класса токсичности промышленных отходов
3. Расчет экономической эффективности комплекса водоохранных мероприятий на предприятии (по заданию преподавателя).
4. Термодинамическая оценка загрязнения ОС и эффективности применения методов очистки (сравнение трех конкурирующих методов очистки стоков).
5. Оценка техногенного загрязнения ОС с помощью количественных безразмерных критериев.
6. Определение степени очистки сточных вод по содержанию растворенного кислорода.
7. Расчет интенсивности процессов очистки (для трех конкурирующих методов очистки стоков)
8. Проведение сравнительного количественного и качественного анализа конкурирующих методов очистки водных стоков от ионов тяжелых металлов.

ТЕМЫ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ РЕФЕРАТОВ

1. Концепция перехода Республики Беларусь на модель устойчивого развития.
2. Специальная сессия Генеральной Ассамблеи ООН по окружающей среде и развитию, Нью-Йорк, 1997 г.
3. Гигиеническое нормирование воздействия факторов ОС на здоровье населения. Понятие локальной экологической катастрофы.
4. Реакция экосистем на промышленно-транспортные загрязнения.
5. Одноступенчатая и многоступенчатая системы очистки водных стоков.
6. Физико-химические методы очистки сточных вод.
7. Химические методы очистки сточных вод.
8. Биологические методы очистки сточных вод.
9. Питьевая вода, нормативы химического состава. Способы обеззараживания питьевой воды. Хлорирование. Озонирование.
10. Организация замкнутых систем водооборота на предприятиях.
11. Комплексная система очистки сточных вод. Использование ценных компонентов.
12. Городское зеленое строительство, как биологический способ борьбы с промышленными загрязнениями.
13. Автотранспорт – основной источник загрязнений ОС газообразными выбросами.
14. Твердые бытовые отходы: проблемы сортировки и утилизации.
15. Проблемы охраны ОС в процессе сельскохозяйственного использования.

16. Нарушение биологического равновесия в результате применения удобрений и ядохимикатов.
17. Переработка и утилизация отходов целлюлозно-бумажной промышленности.
18. Утилизация отходов химической промышленности.
19. Переработка и утилизация отходов пластмасс, легкой и текстильной промышленности.
20. Обеспечение экологической безопасности в химической промышленности.
21. Экстремальные и аварийные ситуации в промышленности.
22. Классификация опасностей. Механизмы опасных воздействий. Шкала опасностей.
23. Критерии социального и экономического развития общества, обеспечивающие устойчивое развитие.
24. Критерии оценки изменения среды обитания и состояния здоровья населения
25. Информационное обеспечение управления природопользованием и охраной ОС.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Калыгин, В.Г. Промышленная экология. Курс лекций / Калыгин В.Г. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2000. – 239 с.
2. Кафаров, В.В. Принципы создания безотходных химических производств / Кафаров В.В. – М.: Химия, 1984. – 225 с.
3. Блинов, Л.Н. Основы экологической химии. Часть 1: Учебное пособие / Блинов Л. Н., Оркина Т.Н., Танцура Н.П. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 76 с.
4. Коробкин, В.И. Экология в вопросах и ответах / Коробкин В.И., Передельский Л. В. – Ростов на Дону.: изд-во «Феникс», 2002. – 383 с.
5. Новиков, Ю.В. Методы исследования качества воды водоемов / Новиков Ю. В. и др. – под ред. А.П. Шицковой. – М.: Медицина, 1990. – 215 с.
6. Алексеев, С.В. Практикум по экологии. Учебное пособие / Алексеев С.В., Груздева Н.В., Муравьев А.Г., Грушина Э.В. – М.: АО МДС, 1996. – 354 с.
7. Ксензенко, В.И. Общая химическая технология и основы промышленной экологии. Учебник для вузов / Ксензенко В.И., Кувшинников И.М., Скоробогатов В.С. и др. – под ред. В.И. Ксензенко. – М.: Химия, 2001. – 328 с.
8. Лурье, Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод – по ред. Ю.Ю Лурье. – М.: Химия, 1973. – 305 с.
9. Голицин, А.Н. Основы промышленной экологии. Учебник / Голицин А. Н. – М.: Изд-во ИРПО, 2002. – 240 с.

Учебное издание

Составители:

Тур Элина Аркадьевна

Бондарь Кристина Вячеславовна

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лекционным и практическим занятиям по курсу

«ЭКОЛОГИЗАЦИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ»

для студентов и магистрантов технических специальностей,
слушателей Института повышения квалификации
и переподготовки кадров

Ответственный за выпуск: Тур Э. А.

Редактор: Боровикова Е. А.

Корректор: Никитчик Е. В.

Компьютерная вёрстка: Боровикова Е. А.

Подписано в печать 28.09.2020 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Performer».
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 3,02. Уч. изд. л. 3,25. Заказ № 901.
Тираж 100 экз. Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.