

Краткий конспект лекций по дисциплине "ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ"

1. Человек и биосфера: проблемы современного этапа развития

Возраст Земли составляет около 4,6 млрд. лет. Биосфера сформировалась на планете в процессе эволюции около 3,5 млрд. лет назад под влиянием следующих естественных факторов: солнечной энергии, силы гравитации, тектонических сил, химической энергии и биогенной энергии. Более 1-го миллиона лет назад на Земле появился человек. Отличие человека от других живых организмов – в обладании сознанием, которое дает человеку уникальную способность к самопознанию, познанию и преобразованию окружающего мира, позволяет оценивать результаты своей деятельности.

Антропогенное воздействие – деятельность человека, связанная с реализацией его экономических, военных, культурных и других интересов, вносящая физические, химические, биологические и другие изменения в окружающую природную среду.

Выделяют следующие основные **виды антропогенных воздействий**:

1. **Изменение структуры земной поверхности:** строительство городов, промышленных предприятий, дорог, распашка степей, вырубка лесов, осушение земель, создание искусственных водоёмов и т.д.
2. **Изменение химического состава окружающей природной среды, влияние на круговорот веществ в биосфере:** добыча полезных ископаемых, выбросы различных веществ в атмосферу и гидросферу, химизация сельского хозяйства и т.д.
3. **Изменение энергетического (теплового) баланса отдельных регионов и планеты в целом:** крупномасштабное сжигание топлива, загрязнение атмосферы "малыми газами" и т.д.
4. **Изменения, вносимые в живую природу:** уничтожение отдельных видов организмов, выведение новых пород животных и сортов растений, перемещение организмов на новые места обитания и т.д.

Характер и масштабы антропогенных воздействий на биосферу обусловлены **биосоциальной природой человека**, суть которой состоит в следующем:

♥ с одной стороны, **человек – биологический объект**, участвующий в глобальном круговороте веществ и энергии и связанный с окружающей природной средой системой трофических взаимодействий;

♥ с другой стороны, **человечество представляет собой высокоразвитую социальную систему**, которая предъявляет к окружающей природной среде широкий круг небиологических требований, вызванных техническими, бытовыми, культурными потребностями, прогрессивно возрастающими по мере развития науки, техники, культуры.

Таким образом, человек является одновременно и частью природы, и частью особой социальной среды – общества. В настоящее время **человечество как социальная система стало функционировать намного шире, чем как система биологическая**, вследствие чего масштабы антропогенного воздействия возросли до планетарных, ему подвергаются все компоненты биосферы.

Современное состояние планеты Земля оценивается как глобальный экологический кризис.

Экологический кризис – это такое состояние взаимоотношений человеческого общества и природы, которое характеризуется несоответствием развития производительных сил и производственных отношений в обществе ресурсно-экологическим возможностям биосферы.

В отличие от экологической катастрофы, экологический кризис является обратимым состоянием и человек в нём – активно действующая сторона. Ответная реакция человечества на экологический кризис называется **экологической революцией**.

Причинами современного экологического кризиса явились следующие факторы:

- ♥ количественный рост населения Земли и усложнение антропосистемы;
- ♥ достигнутый уровень развития промышленности и сельского хозяйства;
- ♥ недостаточное внимание со стороны правительств многих стран к проблемам экологии;
- ♥ слабый в ряде случаев контроль за состоянием природных ресурсов или вообще его отсутствие;
- ♥ неполнота научного познания и организации жизни на Земле;
- ♥ экологическая и биогеографическая безграмотность большинства населения Земли, включая специалистов, разрабатывающих тот или иной проект преобразования природы.

Названные причины кризиса обусловили его **структуру**, состоящую **из двух частей** – естественной и социальной. Естественная часть состоит в *наступлении деградации, разрушении окружающей природной среды*. Социальная сторона заключается в *неспособности государственных и общественных структур остановить деградацию окружающей природной среды и оздоровить её*.

В целом, **современный экологический кризис** характеризуется **опасным загрязнением окружающей среды, истощением природных ресурсов с приближением к максимальному использованию энергии на поверхности Земли** и, как следствие, **резким нарушением экологического равновесия**.

Загрязнение окружающей природной среды – это поступление в неё любых твёрдых, жидких и газообразных веществ, микроорганизмов или энергий (в виде звуков, шумов, излучений) в количествах, оказывающих вредное воздействие на здоровье человека, флору, фауну и общее состояние экосистем.

Выделяют следующие основные типы загрязнений окружающей среды:

1. Физическое загрязнение: тепловое, шумовое, радиационное и радиоактивное, электромагнитное.
2. Химическое загрязнение: минеральное и органическое.
3. Биологическое загрязнение: биотическое (биогенное) и микробиологическое (микробное).

Природные ресурсы – компоненты окружающей природной среды (естественные тела и природные явления), **используемые человеком для создания материальных благ и удовлетворения духовных потребностей**.

К природным ресурсам относятся: солнечная энергия, энергия морских приливов и отливов, геотермальная энергия (внутриземная теплота), энергия ветра, воздух, вода, почва, полезные ископаемые, животные и растения.

Неисчерпаемые ресурсы – те ресурсы, которые можно использовать неограниченно долго. К ним относятся ресурсы космического масштаба, источник которых не подвержен антропогенному влиянию.

Исчерпаемые ресурсы – те ресурсы, которые могут быть полностью использованы в ближайшей или отдалённой перспективе. Исчерпаемые ресурсы делят на возобновляемые, относительно возобновляемые и невозобновляемые.

Возобновляемые ресурсы – ресурсы, обладающие способностью к воспроизводству (естественному или с помощью человека) со скоростью, превышающей скорость их потребления. **Относительно возобновляемые ресурсы** – ресурсы, способные к воспроизводству со скоростью, сопоставимой с темпами их эксплуатации. **Невозобновляемые ресурсы** – ресурсы, скорость использования которых превышает скорость их естественного накопления, если таковое вообще происходит.

Человек использовал природные ресурсы с самого начала своего существования. До самого недавнего времени потребление человеком невозобновляемых природных ресурсов оставалось небольшим, а скорость использования возобновляемых была относительно мала. **Сейчас сложилась качественно иная ситуация: осознан факт ограниченности невозобновляемых ресурсов, скорость потребления возобновляемых ресурсов стала превышать скорость их естественного возобновления.** В результате возник целый ряд проблем, главными из которых являются: а) возможность перехода отдельных видов возобновляемых ресурсов в разряд невозобновляемых; б) быстрое истощение имеющихся запасов невозобновляемых ресурсов.

Решение проблем глобального загрязнения окружающей среды и истощения природных ресурсов – ключевых аспектов современного экологического кризиса – возможно только в рамках концепции о ноосфере, разработанной академиком В.И. Вернадским.

Ноосфера – высшая стадия развития биосферы, связанная с возникновением и становлением в ней цивилизованного общества, т.е. с периодом, когда разумная деятельность человека становится главным определяющим фактором развития биосферы.

Важнейшей задачей предноосферного периода является **выход из глобального экологического кризиса**. Решение этой проблемы заключается в разработке комплекса надёжных антикризисных мер, позволяющих активно противодействовать дальнейшей деградации природной среды и выйти на устойчивое развитие общества.

Анализ причин и структуры современного экологического кризиса позволяет выделить следующие основные **направления выхода из кризиса**:

1. Технологическое направление – создание экологически чистой технологии, внедрение безотходных и малоотходных производств, обновление основных фондов, совершенствование технологических процессов.

2. **Экономическое направление** – развитие и совершенствование экономического механизма охраны окружающей природной среды: внедрение платежей за выбросы вредных веществ, введение налоговых льгот за выпуск экологически чистой продукции и др.

3. **Административно-юридическое направление** – применение мер административного пресечения и мер юридической ответственности за экологические правонарушения: закрытие предприятий, нарушающих природоохранные законы, привлечение виновных к уголовной или гражданской ответственности и т.п.

4. **Эколого-просветительское направление** – гармонизация экологического мышления человека: создание всеобщей системы экологического образования, просвещения, воспитания, искоренение потребительского отношения к природе.

5. **Международно-правовое направление** – гармонизация экологических международных отношений, объединение усилий всех стран в решении экологических проблем.

Ликвидация экологического кризиса и построение ноосферы возможны только при установлении рациональных взаимоотношений в системе "человек – природа". Рациональные взаимоотношения базируются на принципах *охраны окружающей природной среды и рационального природопользования*. Главными инструментами в области охраны окружающей природной среды и рационального природопользования являются система экологического нормирования и инженерная защита окружающей среды.

Экологическое нормирование – это процесс научной разработки и юридического закрепления системы количественных и качественных нормативов состояния окружающей природной среды, при которых обеспечиваются благоприятные условия для жизни людей и устойчивого функционирования природных экосистем.

Экологические нормативы делятся на три группы: санитарно-гигиенические, производственно-хозяйственные и комплексные.

Санитарно-гигиенические нормативы – это нормативы предельно допустимых уровней химического, биологического, физического и радиационного воздействий (применительно к здоровью человека). Основными санитарно-гигиеническими нормативами являются: предельно допустимая концентрация вредных веществ (ПДК – для химических и биологических воздействий) и предельно допустимый уровень воздействия (ПДУ – для физических и радиационных воздействий).

Производственно-хозяйственные нормативы устанавливают требования к источнику вредного воздействия, ограничивая его деятельность определённой пороговой величиной. Основными производственно-хозяйственными нормативами являются: предельно допустимый выброс (ПДВ) и предельно допустимый сброс (ПДС).

Комплексными нормативами качества являются предельно допустимые нормы нагрузки на окружающую природную среду (ПДН).

Рациональное природопользование – это экономная, научно-обоснованная эксплуатация природных ресурсов, при которой достигается максимально возможное использование природно-ресурсного потенциала в интересах человека (с учётом перспективы) при сохранении способности природных экосистем к саморегуляции и воспроизводству.

Главное стратегическое направление **инженерной защиты окружающей среды** состоит в **экологизации всего промышленного производства**. Основными направлениями такой экологизации являются:

- ♥ совершенствование технологических процессов и разработка нового оборудования с меньшим уровнем выбросов вредных веществ и отходов в окружающую среду;
- ♥ широкое внедрение экологической экспертизы всех видов производств и промышленной продукции;
- ♥ замена токсичных и не утилизируемых отходов на нетоксичные и утилизируемые;
- ♥ широкое применение дополнительных методов и средств защиты окружающей среды – аппаратов и систем очистки газовых выбросов, сточных вод, глушителей шума и т.п.

2. Нормирование качества атмосферного воздуха

Нормирование качества атмосферного воздуха представляет собой деятельность по установлению показателей (нормативов) предельно допустимых уровней антропогенного воздействия на атмосферу.

Нормативы качества атмосферного воздуха подразделяются на санитарно-гигиенические, производственно-хозяйственные (экологические) и вспомогательные.

Санитарно-гигиеническое нормирование воздушных загрязнений базируется на критериях, сформулированных проф. Рязановым В.А.:

1. Допустимой может быть признана только такая концентрация того или иного вещества в атмосфере, которая не оказывает на человека прямого или косвенного вредного или неприятного воздействия, не снижает его работоспособность, не влияет на его самочувствие.
2. Привыкание к вредным веществам, присутствующим в воздухе, должно расцениваться как неблагоприятный эффект, доказывающий недопустимость таких концентраций.
3. Недопустимыми следует считать такие концентрации атмосферных загрязнений, которые неблагоприятно влияют на растительность, климат местности, прозрачность атмосферы и бытовые условия жизни населения.

Основным **санитарно-гигиеническим нормативом** качества воздушной среды является предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ (ПДК).

ПДК делятся на две группы: ПДК в атмосферном воздухе населённых мест и ПДК в воздухе рабочей зоны.

ПДК в атмосферном воздухе населённых мест также делятся на две группы:

- 1) Максимально разовая ПДК_{М.Р.} – такое максимальное содержание вредного вещества в воздухе (мг/м^3), которое не вызывает рефлекторных реакций в организме человека (ощущение запаха, раздражение слизистых оболочек глаз и верхних

дыхательных путей, задержка дыхания – слезотечение, насморк, кашель, удушье и т.п.) при кратковременном (до 30 мин) воздействии.

2) Среднесуточная ПДК_{с.с.} – такое максимальное содержание вредного вещества в воздухе (мг/м³), которое не оказывает прямого или косвенного вредного влияния на организм человека при неопределённо долгом (годы) круглосуточном воздействии.

Наибольшая концентрация каждого вредного вещества в приземном слое атмосферы (C_M) не должна превышать его максимально разовую ПДК_{м.р.}:

$$C_M \leq \text{ПДК}_{\text{м.р.}}$$

При одновременном присутствии в атмосфере нескольких химических веществ, обладающих однонаправленным действием, их безразмерная суммарная концентрация, согласно формуле Аверьянова, не должна превышать единицы:

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

где $C_1, C_2 \dots C_n$ – фактические концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе; ПДК₁, ПДК₂ ... ПДК_n – их максимально разовые предельно допустимые концентрации.

Основным **производственно-хозяйственным нормативом** качества атмосферного воздуха является предельно допустимый выброс (ПДВ).

Предельно допустимый выброс – такое максимальное количество загрязняющего вещества, выбрасываемого в атмосферу отдельным конкретным источником в единицу времени, превышение которого ведет к превышению ПДК загрязняющего вещества в приземном слое воздуха и, как следствие, к неблагоприятным последствиям в окружающей источник природной среде и угрозе для здоровья людей.

Если в воздухе городов или других населённых пунктов, вблизи или в черте которых расположены промышленные предприятия, концентрации вредных веществ превышают ПДК, а их выбросы по объективным причинам не могут быть снижены до уровня ПДВ, то на таких предприятиях вводится график **поэтапного снижения выбросов** вредных веществ до значений, обеспечивающих их ПДК. При этом для каждого этапа указываются его продолжительность и величина ВСВ. Величины **ВСВ (временно согласованных выбросов)** устанавливаются на уровне выбросов предприятий, близких по мощности и типу производства, с аналогичной или наиболее совершенной технологией.

Цель **вспомогательных нормативов** качества атмосферного воздуха состоит в обеспечении единства в употребляемой терминологии, в деятельности организационных структур и правовом регулировании экологических отношений.

3. Рассеивание вредных выбросов в атмосфере. Санитарно-защитные зоны промышленных объектов

В случаях, когда применяемые на предприятии меры по экологизации технологических процессов и очистке газопылевых выбросов не обеспечивают достижения установленных нормативов качества в приземном слое воздуха, одним

из основных путей снижения концентраций вредных веществ до уровня ПДК является **рассеивание газопылевых выбросов в атмосфере**.

Рассеивание осуществляют посредством выброса вредных веществ через высокие дымовые трубы. Их применение позволяет распределять загрязняющие вещества на большие площади, снижая тем самым их общую концентрацию в атмосфере. С увеличением высоты трубы и скорости выброса эффективность рассеивания увеличивается, а концентрация вредных веществ в приземном слое воздуха снижается.

Рассеивание газопылевой смеси в атмосфере происходит за счёт движения выбрасываемых частиц благодаря молекулярной и турбулентной диффузии с преобладающим вкладом турбулентной.

На процесс рассеивания оказывает влияние целый ряд факторов: метеорологические условия, рельеф местности, характер расположения на ней предприятий, высота и размеры производственных зданий, их взаимное расположение, высота трубы, скорость газопылевой смеси в трубе, её температура и плотность, агрегатное состояние загрязняющих веществ и др.

Метеорологические условия включают скорость ветра, влажность воздуха, атмосферное давление, температурную стратификацию атмосферы.

Методика расчёта рассеивания атмосферных выбросов предприятий основана на расчётах:

- 1) ожидаемого загрязнения атмосферы от одного или более источников, имеющих в данном регионе;
- 2) оптимальной высоты дымовой трубы для нового источника загрязнения атмосферы с учётом существующего фона загрязнений, особенностей территории и окружающих строений.

Расчёт ожидаемого загрязнения атмосферы предполагает определение максимальных концентраций загрязняющих веществ в приземном слое воздуха в зависимости от условий выхода газопылевой смеси, параметров дымовой трубы и метеорологических условий. Расчёт ведётся на доминирующее в выбросах вредное вещество, т.е. то, для которого коэффициент опасности будет наибольшим.

Поскольку в результате рассеивания происходит снижение концентраций вредных веществ в воздухе до безопасных уровней, оно тесно связано с устройством санитарно-защитных зон и архитектурно-планировочными мероприятиями.

Санитарно-защитная зона (СЗЗ) – это свободная территория определённой протяжённости (полоса), отделяющая источники промышленного загрязнения от жилых или общественных зданий для защиты населения от влияния вредных факторов производства (выбросов пыли и иных видов загрязнения среды).

Каждое предприятие, имеющее источники загрязнения среды, должно иметь санитарно-защитную зону. Размер СЗЗ устанавливают в зависимости от класса производства, который определяется степенью вредности и количеством выбрасываемых в атмосферу веществ.

Архитектурно-планировочные мероприятия включают: правильное взаимное размещение источников выброса и населённых мест с учётом направления ветров; выбор под застройку промышленного предприятия ровного возвышенного места, хорошо продуваемого ветрами; сооружение автомобильных дорог в обход населённых пунктов и др.

4. Очистка газопылевых смесей от твёрдых частиц

Под очисткой газопылевых смесей понимают отделение от них загрязняющих веществ или перевод последних в безвредное состояние.

Выбор отдельных аппаратов и/или схем очистки отходящих газов от пыли и эффективность их работы зависят, главным образом, от физико-химических свойств пылевых частиц, наиболее важными из которых являются:

- плотность;
- дисперсность (дисперсный состав);
- слипаемость;
- смачиваемость;
- электрическое сопротивление.

Дисперсность пыли характеризует диапазон (разброс) размера пылевых частиц (от наименьшего до наибольшего). Дисперсным составом пыли называют распределение пылевых частиц по фракциям, ограниченным частицами определённого размера, с указанием доли каждой фракции в процентах по массе или по числу частиц.

Основными механизмами отделения твёрдых частиц от газовой фазы являются:

1) гравитационное осаждение (седиментация) – происходит в результате вертикального оседания частиц под действием силы тяжести;

2) инерционное осаждение – происходит в случае, когда масса частицы или скорость её движения настолько значительны, что она не может следовать вместе с газом по линии, огибающей препятствие, а стремится продолжить своё движение, сталкивается с препятствием и осаждается на нём;

3) осаждение под действием центробежной силы – происходит при криволинейном движении аэродисперсного потока, когда развиваются центробежные силы, под действием которых частицы отбрасываются на поверхность осаждения;

4) зацепление, захват (эффект касания) – наблюдается, когда расстояние частицы, движущейся с газовым потоком, от обтекаемого тела равно или меньше её радиуса;

5) диффузионное осаждение – обусловлено броуновским (тепловым) движением частиц, в результате чего повышается вероятность их контакта с обтекаемым телом;

6) электрическое осаждение – заключается в зарядке частиц с последующим выделением их из газовой фазы под воздействием электрического поля.

По принципиальным особенностям процесса очистки все **пылеуловители** делятся на **4 типа**:

1) "Сухие" механические пылеуловители – в них твёрдые частицы отделяются под действием внешней механической силы – гравитации, инерции или центробежной силы.

В эту группу входят: пылеосадительные камеры; инерционные пылеуловители (ударно-инерционные и жалюзийные); вихревые и динамические (ротационные) пылеуловители; циклоны.

- 2) "Мокрые" пылеуловители** – в них твёрдые частицы улавливаются жидкостью. В эту группу входят: скрубберы (газопромыватели) различных конструкций; "мокрые" циклоны.
- 3) Фильтрующие устройства** – в них твёрдые частицы задерживаются пористыми перегородками. В эту группу входят фильтры из различных материалов – тканей, волокон, керамики, полимеров, зернистых слоёв гравия, песка и др.
- 4) Электрофильтры** – в них твёрдые частицы осаждаются под действием электрического поля.

В пылеосадительных камерах выделение пыли происходит за счёт увеличения сечения воздуховода, вследствие чего скорость газопылевого потока резко падает и частицы пыли выпадают вниз под действием силы тяжести. В инерционных пылеуловителях выделение пыли достигается посредством резкого изменения направления газопылевого потока или установки на его пути препятствий, вследствие чего частицы пыли, стремясь сохранить направление движения под воздействием силы инерции, ударяются о перегородки внутри аппарата и выпадают вниз под действием силы тяжести. В циклонах пылевые частицы выделяются под действием центробежной силы в процессе завихрения (вращения) газового потока. В ротационных (динамических) пылеуловителях сепарация пыли происходит в результате вращения барабана (вентиляторного колеса).

В основе работы фильтрующих устройств лежит процесс пропускания газопылевой смеси через пористую перегородку. При этом газ полностью проходит сквозь неё, а частицы пыли задерживаются в объёме фильтрующего материала и/или образуют пылевой слой на его поверхности. Выделение твёрдых частиц из газового потока при фильтрации происходит в результате совокупного действия силы инерции, броуновской диффузии и зацепления. Кроме того, определённое влияние на процесс фильтрации могут иметь силы электростатического притяжения. По типу материала, из которого изготавливаются фильтрующие перегородки, фильтры делят на тканевые, волокнистые и зернистые.

Принцип действия всех пылеуловителей "мокрого" типа заключается в осаждении пылевых частиц, главным образом, за счёт силы инерции и броуновской диффузии. Второстепенное значение имеют центробежное и гравитационное осаждение, реализуются и другие механизмы.

В результате контакта запылённого газа с жидкостью образуется межфазная поверхность контакта, которая состоит из газовых пузырьков, газовых и жидких струй, капель, плёнок жидкости.

В зависимости от формы контакта газовой и жидкой фаз все способы "мокрой" пылеочистки можно разделить на 3 группы:

- 1 – улавливание в объёме (слое) жидкости;
- 2 – улавливание плёнками жидкости;
- 3 – улавливание распылённой жидкостью (каплями) в объёме газа.

По способу действия выделяют следующие типы газопромывателей (скрубберов):

- 1 – полые;

- 2 – насадочные;
- 3 – тарельчатые (барботажно-пенные);
- 4 – ударно-инерционного действия;
- 5 – центробежного действия;
- 6 – динамические (механические);
- 7 – скоростные (Вентури).

5. Очистка газовых смесей от газообразных примесей

Для очистки отходящих газов от газообразных и парообразных токсичных веществ в промышленности применяют следующие группы методов: методы сорбции, каталитические и термические методы, методы конденсации и компримирования.

1. Методы сорбции: основаны на селективном поглощении одного или нескольких компонентов газовой смеси жидким или твёрдым поглотителем. Сорбция бывает физической и химической (хемосорбция).

При *физической сорбции* поглотитель не вступает в химическое взаимодействие с извлекаемым из смеси газом; поглощаемые молекулы удерживаются сорбентом, главным образом, электростатическими силами и силами Ван-дер-Ваальса.

При *хемосорбции* поглотитель реагирует с компонентами газовой смеси с образованием малолетучих или малорастворимых соединений. Химическая реакция может протекать как обратимо, так и необратимо.

Существуют два принципиально отличных типа сорбционных процессов: абсорбция и адсорбция.

Абсорбция представляет собой поглощение газа всем объёмом поглотителя. Этот процесс состоит в проникновении молекул газа в массу поглотителя с образованием раствора. Распространение молекул газа в массе поглотителя происходит, главным образом, за счёт диффузии. В качестве физических абсорбентов в промышленности используют воду, органические растворители и их водные растворы. В качестве хемосорбентов используют водные растворы солей и щелочей, органические вещества и водные суспензии различных веществ.

При абсорбции происходит переход вещества из газовой фазы в жидкую, т.е. осуществляется передача массы вещества от газа к жидкости. Этот процесс состоит из процессов переноса вещества в каждой из фаз (*массоотдача*) и переноса вещества через границу раздела фаз (*массопередача*). При этом принимается, что на границе раздела фаз существует равновесие.

При физической абсорбции уравнения массоотдачи для процессов переноса вещества в каждой из фаз:

$$G = \beta_G F \cdot (P - P_P),$$

$$G = \beta_{Ж} F \cdot (C_P - C),$$

где G – масса вещества, переносимого в единицу времени, кг/с;

F – поверхность контакта фаз, м²;

P – парциальное давление поглощаемого вещества в газовой фазе, Па;

C – концентрация поглощаемого вещества в жидкой фазе, кг/м^3 ;

β_G и $\beta_{\text{ж}}$ – коэффициенты массоотдачи в газовой и жидкой фазах, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ на единицу движущей силы.

Уравнения массопередачи для процессов переноса вещества из одной фазы в другую при физической абсорбции:

$$G = K_G F \cdot (P - P^*),$$

$$G = K_{\text{ж}} F \cdot (C^* - C),$$

где P^* – парциальное давление поглощаемого вещества, равновесное его концентрации в жидкости, Па;

C^* – концентрация поглощаемого вещества в жидкости, равновесная его парциальному давлению в газе, кг/м^3 ;

K_G и $K_{\text{ж}}$ – коэффициенты массопередачи, отнесённые к одной из фаз, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ на единицу движущей силы.

При протекании процессов химической абсорбции абсорбируемый газ в жидкой фазе вступает в химическую реакцию с поглотителем. Уравнение массоотдачи в жидкой фазе при хемосорбции может быть записано в двух вариантах:

$$G' = \beta'_{\text{ж}} F \cdot \Delta_{\text{ж}}$$

или

$$G' = \beta_{\text{ж}} F \cdot (\Delta_{\text{ж}} + \delta),$$

где $\Delta_{\text{ж}} = C_p - C$ – движущая сила абсорбции в жидкой фазе;

δ – величина, на которую повышается движущая сила в жидкой фазе при протекании в ней химической реакции.

Обозначения со штрихом соответствуют описанным выше параметрам абсорбции, сопровождаемой химической реакцией.

Адсорбция представляет собой концентрирование вещества на поверхности раздела двух фаз. Этот процесс состоит во взаимодействии молекул или ионов адсорбата с поверхностью адсорбента за счёт сил Ван-дер-Ваальса, водородных связей и электростатических сил. В качестве физических адсорбентов используют твёрдые пористые материалы с сильно развитой внутренней поверхностью – активированный уголь, силикагель, алюмогель, цеолиты и др. Для протекания процессов хемосорбции физические адсорбенты дополнительно пропитываются химическими реактивами, взаимодействующими с компонентами очищаемой газовой смеси.

Величина адсорбции зависит от природы поглощаемого вещества и его концентрации в газовой смеси, природы поверхности адсорбента и характера его пористости, а также от давления и температуры. Экспериментально величину адсорбции находят из соотношения:

$$A = x/m,$$

где x – количество поглощённого вещества (моль);

m – масса поглотителя (кг).

Количество поглощённого вещества на 1 м^2 поверхности адсорбента называют удельной адсорбцией:

$$\Gamma = A/S,$$

где S – площадь поверхности адсорбента (м^2).

Физическая адсорбция протекает, главным образом, за счёт сил Ван-дер-Ваальса и является обратимым экзотермическим процессом. **Зависимость**, отражающая связь **величины адсорбции** определённого компонента газовой смеси **от** его **парциального давления** применительно к конкретному адсорбенту в условиях равновесия между фазами **при постоянной температуре**, называется **изотермой адсорбции**:

$$\Gamma = f(P),$$

где P – парциальное давление поглощаемого компонента в газовой смеси, равновесное с величиной его адсорбции Γ . Существует 5 типов экспериментально получаемых изотерм физической адсорбции паров и газов на твёрдых адсорбентах.

Химическая адсорбция часто является необратимым процессом, носит специфический избирательный характер и приводит к образованию прочных поверхностных соединений между адсорбатом и адсорбентом. С повышением температуры скорость хемосорбции, как и любой другой химической реакции, возрастает в соответствии с уравнением *Аррениуса*:

$$K = A \cdot e^{-E/RT},$$

где K – константа скорости реакции;

A – предэкспоненциальный множитель;

E – энергия активации химической реакции;

R – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура.

Основными свойствами адсорбентов являются структура (размеры пор), активность (ёмкость) и избирательность (селективность).

2. Каталитические методы: основаны на химических превращениях токсичных компонентов отходящих газов в нетоксичные на поверхности твёрдых катализаторов.

Катализаторами называют вещества, взаимодействующие с молекулами реагирующих веществ, изменяющие скорость химической реакции и выделяющиеся затем в химически неизменном виде.

Каталитические методы очистки газовых смесей представляют собой процессы гетерогенного катализа, протекающие на границе раздела газовой и твёрдой фаз. Действие катализаторов основано на образовании между катализатором и реагирующими веществами промежуточных поверхностных соединений (активированных комплексов), распадающихся с выделением продуктов реакции и катализаторов. Ускоряющее действие катализатора называют его **активностью**. Она представляет собой отношение констант скоростей реакций, происходящих с участием катализатора и без него:

$$a = K_{\text{Kat}}/K = e^{\Delta E/RT},$$

где $\Delta E = E - E_{\text{Kat}}$; E и E_{Kat} – энергии активации химической реакции в присутствии катализатора и без него.

В результате реализации каталитических методов могут протекать следующие процессы:

- 1 – окисление примесей до диоксида углерода CO_2 и воды (используется для углеводородов, спиртов и других органических веществ);
- 2 – окисление примесей в ценные продукты (используется для хлорорганических веществ, SO_2 , оксидов азота с получением, соответственно, Cl_2 , H_2SO_4 , HNO_3);
- 3 – восстановление примесей в безвредные продукты (например, NO в N_2);
- 4 – восстановление примесей в ценные продукты (например, SO_2 в S);
- 5 – разложение примесей до безвредных продуктов.

В качестве катализаторов при осуществлении каталитических процессов используют платину, металлы платинового ряда, оксиды меди, марганца, никеля, хрома и других металлов и пр.

3. Термические методы: основаны на высокотемпературном окислении компонентов газовой смеси кислородом. Для реализации этих методов необходимо поддержание высоких температур газовой смеси и наличие достаточного количества кислорода.

4-5. Методы конденсации и копримирования: основаны на явлении уменьшения давления насыщенного пара растворителя при понижении температуры. В случае использования метода конденсации смесь паров растворителя с воздухом предварительно охлаждают в теплообменнике, а затем конденсируют. Метод копримирования аналогичен методу конденсации с той разницей, что пары растворителя находятся при этом под избыточным давлением.

Выбор методов и конкретных схем очистки отходящих газов от токсичных газообразных и парообразных примесей зависит от целого ряда факторов: химического состава газовой смеси, концентрации и агрегатного состояния содержащихся в ней компонентов, её объёма и температуры, имеющихся на предприятии технологических возможностей, требуемой степени очистки и т.п. и производится на основании результатов технико-экономических расчётов.

6. Нормирование и оценка качества водной среды

Понятие качества воды включает в себя совокупность показателей состава и свойств воды, определяющих пригодность её для конкретных видов водопользования и водопотребления. По характеру водопользования и водопотребления и по нормированию качества вода подразделяется на 3 категории:

- 1 – хозяйственно-питьевого назначения;
- 2 – культурно-бытового назначения;
- 3 – рыбохозяйственного назначения.

Основным нормативным требованием к качеству воды является соблюдение установленных величин предельно-допустимых концентраций веществ.

ПДК различных веществ в воде нормируются по **лимитирующему показателю вредности**, под которым понимают наибольшее отрицательное влияние, оказываемое данным веществом.

Выделяют следующие ЛПВ:

- 1) **санитарно-токсикологический** – включает проявления прямого токсического воздействия на организм человека;
- 2) **общесанитарный** – включает влияние на общесанитарное состояние водоёма, в том числе на его способность к самоочищению;
- 3) **органолептический** – включает влияние на привкус, окраску, запах, прозрачность воды, пено- и плёнкообразование;
- 4) **токсикологический** – включает проявления прямого токсического воздействия на гидробионтов;
- 5) **рыбохозяйственный** – включает влияние на вкусовые качества рыбы и других промысловых видов гидробионтов, накопление в них токсичных веществ, опасных для человека и животных.

Нормирование качества воды хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения осуществляется по трём первым ЛПВ, рыбохозяйственного назначения – преимущественно по трём последним ЛПВ.

При наличии в воде нескольких веществ с одинаковым ЛПВ содержание их должно соответствовать условию:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1$$

где C_i – фактическая концентрация i -го вещества в воде; ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -го вещества в воде; n – общее количество веществ с одинаковым ЛПВ, присутствующих в воде нормируемого водного объекта.

Нормирование качества воды также предполагает установление показателей, характеризующих содержание в ней растворённого кислорода и органических веществ. К таким показателям относятся БПК и ХПК.

Биохимическое потребление кислорода (БПК) – это количество кислорода, которое требуется для полного окисления всех находящихся в воде органических веществ в результате происходящих в ней биохимических процессов.

Химическое потребление кислорода (ХПК) – это количество кислорода, которое требуется для химического окисления находящихся в воде органических веществ сильными окислителями.

Оценка качества воды производится по следующим показателям: содержание взвешенных и плавающих веществ; запах; окраска; привкус; значение pH; температура; наличие растворённого кислорода и органических веществ; концентрация токсичных примесей.

Для оценки и контроля содержания токсичных примесей в объектах водной среды на практике обычно используют 2 группы методов: дифференциальные и комплексные.

Дифференциальные методы предполагают использование величин ПДК отдельных веществ.

Комплексные методы принципиально разделяются на 3 группы:

1. Методы, позволяющие оценивать качество воды по совокупности гидрохимических (содержание биогенных веществ и кислорода, БПК, ХПК), гидрофизических (содержание взвесей, прозрачность), гидробиологических (биомасса водорослей, величина первичной продукции) и микробиологических (численность различных групп бактерий и микроорганизмов) показателей.

2. Методы, основанные на использовании обобщённых числовых характеристик качества воды, определяемых по ряду основных показателей и видам водопользования.

3. Методы, опирающиеся на использование биотестирования. Они заключаются в наблюдении за воздействием воды на водные микроорганизмы и оценке её качества по их ответных реакциям. Тест-объектами или тест-организмами служат одноклеточные инфузории, бактерии и т.п. При использовании биотестирования надо учитывать, что разные виды тест-организмов могут проявлять разную чувствительность к одним и тем же веществам, диапазон которой зависит от природы вещества. Поэтому при биотестировании необходимо использовать следующее правило: если в отношении какого-либо тест-организма анализируемая проба воды токсична, то проба определённо токсична; если же токсичность пробы воды в отношении одного вида тест-организмов не обнаружена, то она потенциально может оказаться токсичной.

7. Общая характеристика сточных вод и методов их очистки

Сточные воды – это воды, использованные человеком на бытовые или производственные нужды и получившие при этом дополнительные примеси, изменившие их первоначальный химический состав или физические свойства, а также воды, стекающие с территорий населённых мест, промышленных предприятий и сельскохозяйственных полей в результате выпадения атмосферных осадков.

Различают следующие виды загрязнений сточных вод:

1. Тепловое загрязнение.
2. Загрязнение минеральными солями.
3. Загрязнение взвешенными веществами.
4. Загрязнение тяжёлыми металлами.
5. Загрязнение органическими веществами и ВМС
6. Загрязнение нефтепродуктами.
7. Загрязнение биогенными элементами.

В общем виде эколого-химические требования к очистке сточных вод формулируются следующим образом:

1. Сток, сбрасываемый в водоём, не должен нарушать систему самоочищения водной среды.
2. Сток не должен обладать токсичностью в отношении обитателей водной среды.
3. Сток не должен нарушать динамику внутриводоёмных окислительно-восстановительных процессов, формирующих редокс-состояние водной среды.

Имеются следующие пути уменьшения количества сточных вод:

- разработка и внедрение безводных технологических процессов;

- усовершенствование существующих технологических процессов;
- разработка и внедрение усовершенствованного оборудования;
- внедрение аппаратов воздушного охлаждения вместо водяного;
- эффективная очистка сточных вод;
- повторное использование очищенных сточных вод в оборотных циклах.

Для каждого вида сточных вод существует оптимальная степень очистки. Даже после глубокой очистки сбрасываемые воды должны быть разбавлены чистой водой. Предприятие должно обеспечивать такое поступление загрязняющих веществ в составе сточных вод в природную водную среду, при котором эти вещества смогут рассеяться (разбавиться) в ней до предельно-допустимых концентраций. Возможность такого разбавления гарантируется соблюдением норматива на содержание вредных веществ в стоках – ПДС.

Предельно допустимый сброс (ПДС) – максимальное количество загрязняющего вещества, сбрасываемого в составе сточных вод в природный водный объект в единицу времени, превышение которого ведёт к превышению ПДК загрязняющего вещества в данном водном объекте.

Генеральным стратегическим направлением ликвидации загрязнения водных объектов посредством сброса сточных вод является создание безотходных технологий. В рамках этого направления наиболее реальным инженерным решением проблемы является организация на предприятиях оборотного водоснабжения. Применение систем оборотного водоснабжения даёт двойной положительный эффект: позволяет существенно снизить потребление свежей воды и исключает поступление сточных вод в природные водоёмы, предотвращая, таким образом, их загрязнение.

Основная классификация методов очистки сточных вод базируется на агрегатном состоянии и химической природе содержащихся в них примесей. Согласно этой классификации различают 4 группы методов:

- 1 – методы очистки от дисперсных примесей, как твёрдых, так и жидких;
- 2 – методы очистки от растворённых минеральных веществ;
- 3 – методы очистки от растворённых органических веществ;
- 4 – методы очистки от газов.

Кроме того, методы очистки сточных вод принято разделять на реагентные и безреагентные. Реагентными называются методы, в которых очистка осуществляется в результате протекания химических процессов при добавлении в воду специальных веществ – реагентов. Остальные методы очистки сточных вод являются безреагентными.

Выбор технологической схемы очистки сточных вод определяется целым рядом факторов, основными из которых являются:

- происхождение и количество сточных вод;
- химическая природа и концентрация примесей;
- требуемая степень очистки с учётом последующего их использования;
- эффективность очистки.

8. Механические методы очистки сточных вод

Механические методы используют для очистки сточных вод от взвешенных примесей – как твёрдых, так и жидких. Механическая очистка является обязательным первым этапом очистки сточных вод любого происхождения.

К методам механической очистки относятся процеживание, отстаивание и фильтрование.

Процеживание применяют для выделения из сточных вод грубодисперсных твёрдых частиц размером более 20 мм (бумага, тряпье, дерево и пр.). Для этой цели на пути движения сточных вод устанавливают разнообразные перегородки – решётки, сетки и сита. Перегородки изготавливают из металлов, сплавов и пластмасс.

Отстаивание применяют для выделения из сточных вод грубодисперсных твёрдых частиц и жидких (капельных) примесей (масел, жиров, смол, нефти и нефтепродуктов).

Отстаивание может осуществляться под действием гравитационных и центробежных сил. В первом случае процесс отстаивания проводят в песколовках, отстойниках и осветлителях. Во втором случае используют гидроциклоны и центрифуги. В осветлителях одновременно с отстаиванием происходит фильтрование сточных вод через слой взвешенных частиц.

Для удаления из сточных вод капельных примесей с плотностью ниже плотности воды используют нефте-, масло- и жироловушки.

Фильтрование применяют для выделения из сточных вод тонкодисперсных твёрдых или жидких примесей, не выделившихся при отстаивании.

Выделение примесей происходит в результате прохождения сточных вод через пористые перегородки, пропускающие жидкость и задерживающие диспергированную фазу. Процесс фильтрования идёт под действием гидростатического давления столба жидкости, повышенного давления над перегородкой или вакуума после перегородки.

Фильтрующими перегородками могут служить сетчатые элементы и зернистый слой. При фильтровании через зернистый слой действует целый ряд механизмов извлечения частиц из воды, основными из которых являются: процеживание (чисто механическое извлечение); гравитационное осаждение; инерционное захватывание; физическая и химическая адсорбция; коагуляционное осаждение; биологическое выращивание.

9. Физико-химические методы очистки сточных вод

Флотацию применяют для удаления из сточных вод дисперсных твёрдых и капельных примесей размером от 0,2 до 1,5 мм, которые самопроизвольно плохо отстаиваются, а также для удаления из воды таких растворённых компонентов, как ПАВ, снижения концентрации легкоокисляемых веществ, бактерий и микроорганизмов.

Флотация как метод очистки сточных вод представляет собой выделение диспергированных частиц загрязняющего вещества из объёма воды на её

поверхность с помощью пузырьков газа (воздуха), которыми предварительно насыщают воду.

Процесс флотации протекает в 3 стадии:

- 1) сближение поднимающихся в воде пузырьков газа со взвешенными в ней твёрдыми или жидкими частицами;
- 2) разрыв прослойки воды и слипание пузырьков газа с частицами с образованием флотационных комплексов "пузырёк – частица";
- 3) всплытие флотационных комплексов на поверхность воды с образованием пенного слоя.

При образовании флотационного комплекса в контакт вступают 3 фазы – твёрдая, жидкая и газообразная. Возможность и скорость образования комплекса "пузырёк – частица", его прочность и продолжительность существования зависят от способности частиц смачиваться водой, которая характеризуется величиной краевого угла θ .

Краевым углом называют обращённый в воду угол между твёрдой поверхностью частицы и касательной к поверхности пузырька в точке соприкосновения трёх фаз. Значения краевого угла могут меняться в пределах от 0° до 180° . Принято считать, что при величине $\theta < 90^\circ$ происходит смачивание, а при $\theta > 90^\circ$ – несмачивание. Таким образом, с увеличением краевого угла θ увеличивается несмачиваемость поверхности взвешенной в воде частицы, она становится более гидрофобной, в результате чего возрастает вероятность прилипания к ней газовых пузырьков и прочность их удерживания.

В зависимости от способа получения флотирующего газа можно выделить следующие **способы флотационной обработки** сточных вод:

- 1) **Флотация с выделением воздуха из раствора**: заключается в создании пересыщенного раствора воздуха в сточной воде; из раствора при уменьшении давления выделяются пузырьки воздуха;
- 2) **Флотация с механическим диспергированием воздуха**: в этом случае при перемещении струи воздуха в воде в ней создаётся интенсивное вихревое движение, под воздействием которого воздушная струя распадается на отдельные пузырьки;
- 3) **Флотация с подачей воздуха через пористые материалы**: в этом случае при пропускании воздуха через пористые материалы образуются мелкие пузырьки;
- 4) **Электрофлотация**: пузырьки газа образуются при электролизе воды – на аноде выделяется O_2 , на катоде – H_2 ;
- 5) **Химическая флотация**: при введении в сточную воду некоторых веществ протекают химические реакции с выделением газов – O_2 , CO_2 , Cl_2 и др.;
- 6) **Биологическая флотация**: пузырьки газов выделяются в результате деятельности микроорганизмов.

Коагуляцию применяют для удаления из сточных вод дисперсных твёрдых и капельных примесей размером до 100 мкм.

Коагуляция – это процесс укрупнения дисперсных частиц за счёт их объединения в агрегаты в результате взаимодействия. Другими словами, коагуляция

представляет собой процесс слипания частиц дисперсной фазы при потере коллоидной системой агрегативной устойчивости.

Агрегативная устойчивость представляет собой способность коллоидной системы сохранять степень дисперсности образующих её частиц, т.е. противостоять их агрегации. Основными условиями такой устойчивости являются следующие факторы:

- наличие у коллоидных частиц одноимённых электрических зарядов, что мешает им объединяться в агрегаты – действуют электростатические силы отталкивания;

- вокруг коллоидных частиц образуются тесно связанные с ними сольватные оболочки из молекул растворителя.

Очевидно, что нарушение любого из названных факторов приведёт к потере коллоидной системой агрегативной устойчивости и коагуляции составляющих её частиц.

На границе раздела коллоидной частицы и дисперсионной среды образуется **двойной электрический слой (ДЭС)**. Образование ДЭС приводит к появлению определённых электрических потенциалов на границе раздела твёрдой и жидкой фаз.

Разность потенциалов между поверхностью ядра коллоидной частицы и жидкостью называется термодинамическим или ϕ -(фи)-потенциалом. Термодинамический потенциал можно определить как работу по переносу элементарного заряда из бесконечно удалённой точки в объёме раствора на поверхность твёрдой фазы.

Разность потенциалов между поверхностью скольжения и жидкостью называется электрокинетическим или ζ -(дзета)-потенциалом. Электрокинетический потенциал можно определить как работу по переносу элементарного заряда из бесконечно удалённой точки в объёме раствора на поверхность скольжения.

Поскольку ζ -потенциал зависит от толщины диффузного слоя, наличие которого предохраняет частицы от слипания, то значение ζ -потенциала характеризует величину электростатических сил отталкивания между частицами, которые мешают им объединяться в агрегаты. Другими словами, **с уменьшением величины ζ -потенциала агрегативная устойчивость коллоидной системы падает и возрастает вероятность её коагуляции.**

Величина ζ -потенциала может изменяться под влиянием таких внешних воздействий, как разведение коллоидного раствора, изменение его температуры, введение в коллоидный раствор электролитов, действие электрических полей и др.

В процессах очистки сточных вод снижение величины ζ -потенциала и коагуляцию коллоидных частиц вызывают добавлением специальных веществ – электролитов, называемых **коагулянтами**. В качестве коагулянтов используют различные минеральные вещества – чаще всего соли алюминия, железа ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3 , FeSO_4 и т.п.) или их смеси и др.

При введении коагулянтов в воду их молекулы подвергаются гидролизу, в результате чего образуются рыхлые хлопья гидроксидов металлов, которые обладают высокоразвитой поверхностью и образуют с коагулирующими коллоидными частицами агрегаты, постоянно растущие в размерах. Образующиеся

агрегаты быстро осаждаются под действием силы тяжести, механически захватывая при этом и другие взвешенные примеси.

Кроме электролитов, в качестве коагулянтов используют также вещества с высокими адсорбционными свойствами – различные глины, золы и шлаки, активированный уголь и т.п.

Кроме коагуляции путём добавления в раствор различных веществ, для очистки сточных вод используют **электрокоагуляцию**. Для этого проводят электролиз воды с использованием растворимых анодов – стальных и алюминиевых, которые становятся источником ионов M^{3+} в воде. При использовании нерастворимых электродов коагуляция может происходить в результате электрофоретических явлений, разряда заряженных частиц на электродах или выделения на них газов (Cl_2 , O_2 и др.), разрушающих сольватные оболочки на поверхности коллоидных частиц и тем самым способствующих потере коллоидной системой агрегативной устойчивости.

Для ускорения процессов коагуляции и увеличения скорости осаждения образующихся хлопьев при очистке сточных вод в промышленности обычно применяют флокуляцию.

Флокуляция – это процесс агрегации взвешенных частиц за счёт добавления в раствор специальных веществ – флокулянтов.

Флокулянты – высокомолекулярные соединения, представляющие собой водорастворимые полимеры цепеобразного строения с полярными концевыми функциональными группами. В качестве флокулянтов используют крахмал, декстрин, поливиниловый спирт, целлюлозу, полиакрилонитрил, полиакрилоамид, полиэтиленамин, кремниевую кислоту и др.

Механизм действия флокулянтов заключается в адсорбции концов макромолекулы флокулянта на взвешенных частицах или хлопьях гидроксидов металлов с образованием полимерных мостиков между ними, что приводит к их связыванию за счёт сил Ван-дер-Ваальса в рыхлые крупные трёхмерные агрегаты, которые осаждаются под действием силы тяжести.

Экстракцию применяют для удаления из сточных вод растворённых органических веществ, представляющих техническую ценность (органические кислоты, фенолы, нитросоединения и др.) при концентрации их в воде более 2-4 г/л.

Экстракция – это процесс извлечения вещества, растворённого в одном растворителе, другим растворителем, который не смешивается с первым и лучше растворяет извлекаемое вещество.

Экстракция основана на смешении двух взаимно нерастворимых жидкостей (воды и неполярного органического растворителя) и распределении вещества между ними в соответствии с его растворимостью в каждой из жидкостей. При этом в условиях постоянства температуры и давления по истечении некоторого времени в системе будет наступать динамическое равновесие, условием которого является равенство химических потенциалов растворённого вещества в обеих жидких фазах:

$$\mu_i^{0(I)} + RT \cdot \ln a_i^{(I)} = \mu_i^{0(II)} + RT \cdot \ln a_i^{(II)},$$

где $\mu_i^{(I)}$ и $\mu_i^{(II)}$ – стандартные химические потенциалы i -го компонента в первой и второй фазах; $a_i^{(I)}$ и $a_i^{(II)}$ – активности i -го компонента в первой и второй фазах.

Так как стандартные химические потенциалы являются постоянными величинами, то постоянным будет и отношение активностей:

$$K_p = a_i^{(I)} / a_i^{(II)} \approx \text{const}$$

Данное равенство является общим выражением **закона распределения: отношение равновесных активностей третьего компонента в двух взаимно нерастворимых жидкостях есть величина постоянная при постоянной температуре и называемая термодинамической константой распределения.**

Отношение равновесных концентраций вещества в водной ($C_i^{\text{вод}}$) и органической ($C_i^{\text{орг}}$) фазах при постоянной температуре характеризуется **коэффициентом распределения:**

$$K_3 = C_i^{\text{орг}} / C_i^{\text{вод}}$$

Поскольку экстракция основана на законе распределения, очевидно, что извлечение вещества экстракцией тем полнее, чем больше коэффициент его распределения превышает единицу. Как правило, после достижения динамического равновесия концентрация извлекаемого вещества в органической фазе во много раз превышает его концентрацию в водной фазе (K_3 может достигать 300 и более).

Сконцентрированное таким образом в органическом растворителе вещество затем отделяется от него и либо утилизируется, либо является товарным продуктом.

Процесс очистки сточных вод методом экстракции состоит из 3-х стадий:

- 1) интенсивное смешение сточной воды с органическим растворителем (**экстрагентом**) для достижения максимального развития поверхности соприкосновения двух жидких фаз;
- 2) как можно более быстрое и полное разделение фаз (экстракта и рафината) после экстракции;
- 3) извлечение экстрагента из экстракта и рафината.

Экстракт – фаза, содержащая извлекаемое вещество и экстрагент.

Рафинат – фаза, содержащая очищенную сточную воду и экстрагент.

Адсорбцию применяют для глубокой очистки сточных вод от растворённых органических соединений (фенолов, пестицидов, ароматических нитросоединений, СПАВ, красителей и др.) при концентрации их в воде менее 2 г/л.

Механизм адсорбции из растворов заключается в переходе молекул растворённого вещества из объёма раствора на поверхность твёрдого адсорбента под действием его силового поля. **Адсорбция** из растворов в большинстве случаев представляет собой физическую адсорбцию и протекает за счёт сил Ван-дер-Ваальса, поэтому с повышением температуры величина адсорбции уменьшается.

Отличие адсорбции из растворов от адсорбции из газовой фазы состоит в том, что адсорбция из газовой фазы обусловлена взаимодействием с поверхностью твёрдого тела только молекул адсорбата, тогда как при адсорбции из растворов поверхность твёрдого тела взаимодействует одновременно с молекулами адсорбата и растворителя. Другими словами, адсорбция из растворов является результатом

конкуренции за активные центры на поверхности твёрдого адсорбента как молекул растворённого вещества, так и молекул растворителя.

Изотермой адсорбции при адсорбции из растворов называют **зависимость величины адсорбции от концентрации растворённого вещества при постоянной температуре**:

$$\Gamma = f(C).$$

Ионный обмен (ионообменную или эквивалентную адсорбцию) применяют для удаления из сточных вод растворённых примесей, находящихся в ионизированной форме – сильных электролитов. К таким веществам относятся минеральные соли различных металлов, соединения аммония, мышьяка, фосфора, органические кислоты и основания (алифатические и ароматические амины, азотистые гетероциклы, карбоновые кислоты, фенолы и т.п.).

Ионный обмен представляет собой адсорбцию ионов, присутствующих в растворе, на поверхности твёрдой фазы под влиянием химических, а не ван-дер-ваальсовых, как при молекулярной адсорбции, сил.

Сущность процесса ионного обмена состоит в том, что практически нерастворимый в воде адсорбент способен диссоциировать с поверхности, выделяя в раствор катионы или анионы и поглощать из раствора эквивалентное количество присутствующих там катионов или анионов с тем же знаком заряда, но иной природы.

Ионообменная адсорбция связана с образованием на границе раздела твёрдой и жидкой фаз ДЭС, происходящим в результате диссоциации твёрдого вещества с поверхности. Обмен ионов между адсорбентом и раствором происходит под влиянием разности химических потенциалов этих ионов в твёрдой и жидкой фазах.

Адсорбенты, способные к диссоциации с поверхности в водных растворах, т.е. к обмену ионов, называют ионообменниками или **ионитами**.

В зависимости от заряда обменивающихся ионов иониты делят на 3 группы:

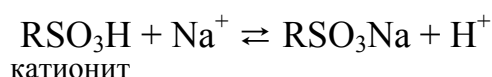
1 – **катиониты** – обладают кислотными свойствами и обмениваются с растворами катионами;

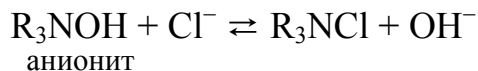
2 – **аниониты** – обладают основными свойствами и обмениваются с растворами анионами;

3 – **амфотерные иониты** – могут обмениваться с растворами как катионами, так и анионами.

Наибольшее распространение при очистке сточных вод получили ионообменные смолы. Они представляют собой высокомолекулярные соединения, углеводородные радикалы которых образуют пространственную сетку с нерегулярно расположенными на ней ионогенными (функциональными) группами. Пространственная полимерная сетка называется **матрицей**, функциональные группы – **активными группами**, обменивающиеся ионы – **противоионами**, а соединённые с ними противоположно заряженные ионы, фиксированные на матрице за счёт химических связей с углеродными атомами – **анкерными ионами**.

В общем виде реакции ионного обмена выглядят так:





В приведённых реакциях R – матрица; SO₃H и R₃NOH – активные группы; H⁺ и Na⁺, OH⁻ и Cl⁻ – противоионы; SO₃⁻ и R₃N⁺ – анкерные ионы.

Основными характеристиками ионитов являются обменная ёмкость и кислотно-основные свойства.

Зависимость между эквивалентными долями извлекаемых ионов в твёрдой (a_i^*) и жидкой (a_i) фазах при постоянной температуре называется **изотермой ионного обмена**:

$$a_i^* = f(a_i).$$

Мембранные методы применяют для глубокой очистки сточных вод от растворённых минеральных веществ и низкомолекулярных органических соединений.

Мембранными методами очистки растворов называют процессы фильтрования растворов через полупроницаемые перегородки (мембраны) под давлением, превышающим осмотическое давление. При этом мембраны пропускают молекулы растворителя и задерживают молекулы или ионы растворённого вещества.

К мембранным методам очистки сточных вод относятся обратный осмос и ультрафильтрация.

Движущей силой обратного осмоса и ультрафильтрации является разность рабочего и осмотического давлений очищаемого раствора у поверхности мембраны. Различие между обратным осмосом и ультрафильтрацией определяется природой извлекаемого вещества и величиной рабочего давления.

Кроме обратного осмоса и ультрафильтрации, к мембранным методам очистки сточных вод относится электродиализ. Электродиализ применяется для удаления из сточных вод растворённых минеральных солей. Метод состоит в разделении ионизированных веществ (ионов) под действием электродвижущей силы, создаваемой в растворе по обе стороны разделяющей его мембраны.

Электрохимические методы применяют для очистки сточных вод от различных взвешенных и растворённых примесей.

К электрохимическим методам относятся: электрофлотация, электрокоагуляция, электродиализ, анодное окисление и катодное восстановление. Все эти процессы протекают на электродах при пропускании через сточную воду постоянного электрического тока. В основе всех электрохимических методов очистки сточных вод лежат процессы электролиза.

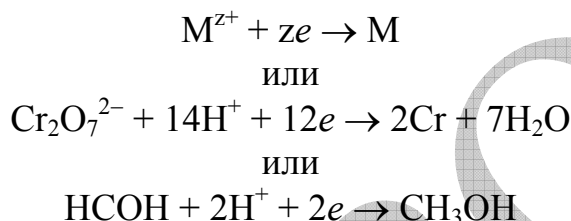
Электролизом называют протекание химических превращений – окисления и восстановления веществ – в электрохимической цепи при пропускании через неё электрического тока от внешнего источника.

Анодное окисление применяют для очистки сточных вод от цианидов, роданидов, сульфидов, спиртов, альдегидов, аминов, меркаптанов, фенолов, нитросоединений, азокрасителей и т.д. В результате анодного окисления вещества

распадаются с образованием CO_2 , NH_3 и H_2O или нетоксичных соединений, например:



Катодное восстановление применяют для очистки сточных вод от тяжёлых металлов, присутствующих в растворе как в виде катионов, так и в составе анионов, органических веществ (альдегидов, кетонов, галогензамещённых углеводов, аминов, нитрозо- и нитросоединений и пр.), других растворённых соединений (нитрата аммония и др.). В результате катодного восстановления вещества переходят в менее токсичную или легко выводимую из воды форму (осадок, газ), например:



Десорбцию, дезодорацию и дегазацию осуществляют для удаления из сточных вод растворённых газов и летучих минеральных и органических веществ, многие из которых имеют неприятный запах (сероводород, сероуглерод, аммиак, бензол, хлорбензол, толуол, фенол, хлороформ, этилацетат, нафталин, амины, меркаптаны, альдегиды и др.).

Наиболее распространённым и эффективным способом десорбции, дезодорации и дегазации является **отдувка (аэрация)**, которая состоит в продувании (барботировании) воздуха или других инертных малорастворимых газов (N_2 , CO_2 , топочные газы) через сточную воду. При этом растворённый в сточной воде летучий компонент или газ диффундирует внутрь газовых пузырьков, что обусловлено более высоким парциальным давлением газа над раствором, чем в окружающем воздухе.

Для дезодорации и дегазации сточных вод, кроме метода аэрации, применяют отдувку водяным паром, адсорбцию, экстракцию, дистилляцию (отгонку), ректификацию (пофракционную перегонку), химические, термические и биологические способы.

10. Химические методы очистки сточных вод

Химические методы используют для очистки сточных вод от различных растворённых минеральных и органических соединений. К химическим методам очистки относятся нейтрализация, осаждение, окисление и восстановление.

Нейтрализацию применяют для очистки сточных вод, содержащих большие количества минеральных кислот и щелочей. Сущность метода нейтрализации состоит в сбалансировании количества кислых и щелочных ионов (H^+ и OH^-) в воде. В основе метода лежит реакция нейтрализации:



Практически нейтральными считаются воды с рН 6,5-8,5.

Нейтрализацию сточных вод осуществляют несколькими способами:

1) Смешение кислых и щелочных стоков: применяется, когда на одном или соседних предприятиях имеются и кислые, и щелочные стоки, не загрязнённые другими компонентами.

2) Добавление реагентов: для нейтрализации кислых стоков используют гашёную и негашёную известь, "известковое молоко", щёлочи, аммиачную воду, соду, известняк, доломит, магнезит, цемент; для нейтрализации щелочных стоков используют минеральные кислоты.

3) Фильтрация кислых вод через нейтрализующие материалы:

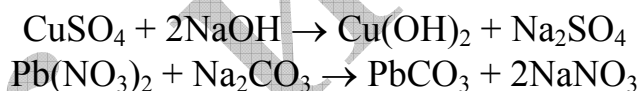
В качестве нейтрализующих материалов используют толчёные магнезит, доломит, известняк, мел, мраморную и цементную крошку, золы и шлаки.

4) Абсорбция кислых газов (CO_2 , SO_2 , NO_x) щелочными стоками и абсорбция аммиака (NH_3) кислыми стоками.

Осаждение применяют, главным образом, для удаления из сточных вод тяжёлых металлов, а также соединений фтора и фосфора.

Сущность метода осаждения состоит в переводе растворимых в воде веществ в малорастворимые или нерастворимые путём добавления различных реагентов с последующим выделением продуктов из воды в виде осадков. В основе метода осаждения лежат реакции замещения.

В качестве реагентов в процессах осаждения используют NaOH , KOH , Ca(OH)_2 , CaCO_3 , Na_2CO_3 , Na_2S , золы и шлаки и др., например:

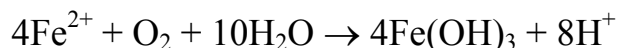


Окисление и восстановление применяют для очистки сточных вод от различных растворённых минеральных и органических веществ.

Сущность этих методов состоит в использовании реакций окисления и восстановления для перевода токсичных соединений в менее токсичные или нетоксичные путём добавления в воду различных реагентов с последующим выделением продуктов из воды.

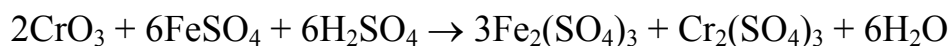
Окисление применяют для удаления из сточных вод цианидов, сероводорода, сульфидов, соединений тяжёлых металлов и мышьяка, меркаптанов, фенолов, крезолов и др.

В качестве окислителей используют хлор и его производные, озон, кислород, пероксид водорода, перманганаты, бихроматы, пиролюзит и др., например:



Восстановление применяют для удаления из сточных вод легко восстанавливающихся веществ – главным образом, соединений ртути, хрома и мышьяка, а также нитритов, нитратов, сульфатов, хроматов, бихроматов, хлоратов, перхлоратов, броматов, иодатов и т.п.

В качестве восстановителей используют активированный уголь, сульфиды, алюминиевый и железный порошок, соли Fe (II), водород, SO₂, гидросульфит и боргидрид натрия, аммиак, ацетат бария, некоторые органические вещества – гидразин и т.п., а также производственные отходы – пиритный огарок и пр., например:



11. Термические методы очистки сточных вод

Термические методы применяют для очистки сточных вод от минеральных солей и органических веществ. К термическим методам очистки относятся концентрирование и термоокисление.

Концентрирование применяют для удаления из сточных вод растворённых минеральных солей. Концентрирование сточных вод осуществляют следующими способами:

1) Испарение – представляет собой нагревание сточной воды до температуры испарения (кипения) с последующей конденсацией чистых водяных паров.

2) Вымораживание – представляет собой охлаждение сточной воды до температуры ниже температуры замерзания чистой воды, в результате чего чистая вода образует кристаллы пресного льда, а рассол с растворёнными в нём солями образует отдельную жидкую фазу. Кристаллы льда отделяют от рассола и плавят с получением чистой воды. Вымораживание проводят под вакуумом или посредством специальных холодильных агентов (хладагентов) – аммиака, CO₂, бутана, пропана, хладонов (CCl₂F₂, CCl₃F, CClF₃) и др.

3) Кристаллогидратный процесс – представляет собой перевод молекул воды из свободного состояния в связанное путём образования кристаллогидратов при добавлении в сточную воду гидратообразующих агентов – пропана, хлора, хладонов, CO₂ и др. Полученные кристаллогидраты плавят, выделяя чистую воду в виде паров, которые конденсируют.

Термоокислительные методы применяют для удаления из сточных вод органических веществ путём окисления их до нетоксичных соединений кислородом воздуха при высоких температурах.

Термоокисление сточных вод осуществляют следующими способами:

1) Парофазное окисление ("огневой" метод): используется для очистки сточных вод, содержащих большие концентрации органических веществ.

2) Жидкофазное окисление: заключается в окислении растворённых в воде органических веществ кислородом воздуха при температурах 100-350 °С и давлении, обеспечивающем нахождение воды в жидкой фазе – 2-28 МПа.

3) Термокаталитическое окисление: заключается в окислении летучих органических веществ кислородом воздуха в парогазовой фазе в присутствии катализаторов при температурах 260-540 °С. Катализаторами служат Pt, оксиды меди, хрома, цинка, марганца и др.

12. Биологические методы очистки сточных вод

Биологические методы применяют для очистки сточных вод от многих растворённых и взвешенных органических соединений и ряда неорганических веществ – сероводорода, сульфитов, сульфидов, аммиака, нитритов и др.

В основе биологической очистки лежит способность и потребность микроорганизмов использовать содержащиеся в сточных водах органические и минеральные соединения в качестве питательных веществ и источника энергии для своего развития и жизнедеятельности. При этом сложные органические вещества разрушаются до простых неорганических – CO_2 и H_2O , нитратов, сульфатов, карбонатов и т.п. или участвуют в синтезе биомассы.

Процессы разрушения веществ протекают внутри клеток микроорганизмов, где происходит непрерывный и очень сложный процесс химических превращений, представляющий строгую последовательность окислительно-восстановительных реакций с участием ферментов в качестве катализаторов (метаболизм).

Микроорганизмы способны окислять многие органические вещества, но с разной скоростью. Скорость биохимических реакций определяется структурой разрушаемого вещества и активностью ферментов, которая зависит от температуры, pH и присутствия в сточной воде других веществ.

К биологически легко окисляемым соединениям относятся алифатические спирты, альдегиды, сложные эфиры, карбоновые кислоты, углеводы и др. Трудно окисляются высшие спирты, жирные кислоты, нитросоединения и др. Некоторые соединения вообще не подвергается биохимическому окислению вследствие токсического действия на микроорганизмы – хлороформ, тетрахлорметан, гетероциклические соединения и др.

Биологические методы очистки сточных вод делятся на аэробные и анаэробные.

Аэробные методы основаны на использовании для окисления органических веществ аэробных микроорганизмов – таких, для жизнедеятельности которых необходимо наличие кислорода и температура 10-40 °С. Анаэробные методы очистки представляют собой процессы расщепления веществ без доступа кислорода в присутствии анаэробных микроорганизмов. Анаэробные методы применяют преимущественно для обезвреживания осадков сточных вод и называют брожением.

Аэробную очистку сточных вод осуществляют сообществами микроорганизмов, которые культивируют как во взвешенном состоянии (активный ил), так и в закреплённом (биоплёнка). Активный ил культивируется в аэротенках, биоплёнка – в биофильтрах.

Аэробную биологическую очистку сточных вод можно проводить в естественных условиях (поля фильтрации, земледельческие поля орошения, биологические пруды) и в искусственных сооружениях (аэротенки, биофильтры).

Поля фильтрации и орошения представляют собой специально подготовленные земельные участки, на которые сбрасываются сточные воды, прошедшие предварительную механическую и и(или) физико-химическую очистку. Сточные воды фильтруются через слой почвы, оставляя в нём взвешенные и коллоидные частицы, которые вместе с почвенными микроорганизмами образуют биоплёнку. Образующаяся биоплёнка адсорбирует и поглощает растворённые в сточных водах органические вещества, разрушая их до простых минеральных соединений. Кроме

микроорганизмов, в процессах разрушения веществ принимают участие воздух, солнце, корни растений.

Если земельные участки используются только для очистки сточных вод, то их называют полями фильтрации. Если на земельных участках одновременно с очисткой сточных вод происходит выращивание сельскохозяйственных культур (технических и кормовых), то их называют земледельческими полями орошения (ЗПО).

В биологических прудах очистка сточных вод происходит за счёт процессов самоочищения водной среды, а именно в результате комплексного воздействия водных микроорганизмов, водорослей, воздуха, солнца и донных отложений.

Биологические пруды представляют собой искусственно созданные неглубокие водоёмы, в которых создаются самые благоприятные условия для протекания процессов самоочищения: малая глубина, обеспечивающая прогрев и инсоляцию; высокая биомасса водорослей, насыщающих воду кислородом; обилие бактерий и простейших; насыщенность донных отложений червями, личинками насекомых, моллюсками и пр.

В аэротенках очистка сточных вод происходит посредством их смешивания с активным илом в условиях интенсивной аэрации.

Аэротенки представляют собой железобетонные резервуары (бассейны) прямоугольного сечения глубиной от 3 до 6 м, оборудованные устройствами для принудительной аэрации. Как правило, аэротенк разделён на 2 части: собственно аэротенк (75% от общего объёма аэротенка) и регенератор (25%). В собственно аэротенке протекает основной процесс биохимического окисления, в регенераторе осуществляется регенерация активного ила.

Процесс биохимического окисления веществ, протекающий в аэротенке, состоит из нескольких этапов:

- 1 – адсорбция и коагуляция активным илом взвешенных и коллоидных частиц;
- 2 – окисление микроорганизмами растворённых и адсорбированных активным илом органических соединений;
- 3 – доокисление трудноокисляемых веществ и нитрификация;
- 4 – регенерация активного ила.

В биофильтрах очистка сточных вод происходит за счёт их контакта с микроорганизмами биоплёнки. Биофильтры представляют собой аэрируемые негерметичные ёмкостные сооружения (резервуары) из кирпича, бетона или железобетона, заполненные крупнозернистыми материалами, через которые фильтруются сточные воды, поступающие сверху по всей площади фильтра. Просачиваясь сквозь загрузку биофильтра, сточные воды оставляют на её поверхности органические вещества, которые образуют биоплёнку, где растут и развиваются микроорганизмы. При контакте сточной воды с биоплёнкой происходит адсорбция загрязняющих воду веществ и их биохимическое окисление.

Анаэробные методы применяют для очистки очень концентрированных сточных вод, содержащих органические вещества, а также для переработки твёрдых отходов с высокой концентрацией органических веществ – стоков пищевых, целлюлозно-

бумажных, текстильных, кожевенных и других производств, отходов животноводства и сельского хозяйства, канализационного ила и осадков промышленных сточных вод, прошедших аэробную биологическую очистку.

Процессы биохимического разрушения сложных органических веществ в анаэробных условиях при участии ферментов называются бродильными процессами или **брожением**. В зависимости от конечного продукта различают несколько видов брожения: пропионовокислое, маслянокислое, молочнокислое, спиртовое, ацетонобутиловое, метановое и др. Для очистки сточных вод используют метановое брожение.

Метановое брожение происходит при разрушении микроорганизмами органических масс, содержащих большое количество углеводов и белков. В результате образуется так называемый **биогаз: смесь метана (CH_4) – 60-75%, углекислого газа (CO_2) – 20–35% и незначительного количества других газов – H_2S , N_2 , O_2 , H_2 , CO .**

Процесс метанового брожения условно протекает в 3 стадии:

- 1 – гидролиз и(или) гидратация органических соединений;
- 2 – распад сложных органических веществ до простых – жирных и карбоновых кислот, спиртов, альдегидов, кетонов;
- 3 – ферментация простых органических веществ с образованием метана, CO и CO_2 , водорода, H_2O , сероводорода и т.п. и последующее взаимодействие продуктов предыдущих реакций между собой также с выделением метана.

Процессы метанового брожения осуществляются в специальных сооружениях, именуемых метантенками. Они представляют собой герметично закрытые (для обеспечения анаэробных условий) резервуары, оборудованные приспособлениями для ввода несброженного и отвода сброженного осадка, подогрева содержимого, отвода биогаза и устройствами для перемешивания. Образующийся в метантенках биогаз сжигают с получением тепла, которое используют для нагрева воды, отопления и т.п.

13. Твёрдые отходы и обращение с ними

Твёрдые отходы, образующиеся в результате хозяйственной деятельности человека, делятся на отходы производства и отходы потребления.

Отходами производства являются остатки исходного сырья, материалов, полуфабрикатов, образовавшиеся при производстве продукции или выполнении работ и полностью или частично утратившие исходные потребительские свойства. К отходам производства относятся также продукты переработки сырья, получение которых не являлось целью производственного процесса (побочные продукты).

Отходами потребления являются различного рода изделия и материалы, которые по тем или иным причинам непригодны для дальнейшего использования. Отходы потребления делятся на промышленные и коммунально-бытовые. К промышленным отходам потребления относятся, например, металлолом, выходящее из строя оборудование, изделия технического назначения из пластмасс, резины, стекла и т.д. К коммунально-бытовым отходам относятся пищевые отходы, изношенные изделия бытового назначения (одежда, обувь и т.п.), тара, бумага и т.д.

Обращение с отходами представляет собой деятельность, в процессе которой образуются отходы, а также производится сбор, использование, обезвреживание, транспортировка и размещение отходов.

Использование отходов включает применение отходов для производства товарной продукции (вторичные материальные ресурсы, ВМР), выполнения работ, оказания услуг, получения энергии (вторичные энергетические ресурсы, ВЭР).

Обезвреживание отходов заключается в обработке отходов с целью предотвращения вредного воздействия на здоровье человека и окружающую среду.

Размещение отходов включает хранение и захоронение отходов. **Хранение** отходов представляет собой комплекс работ, обеспечивающих содержание отходов на соответствующих объектах с целью их последующего захоронения, обезвреживания или использования. **Захоронение** отходов состоит в изоляции отходов, не подлежащих дальнейшему использованию, в специальных хранилищах, исключающих попадание вредных веществ в окружающую среду.

Отходы производства и потребления, применение которых в хозяйственной деятельности в настоящее время невозможно или экономически нецелесообразно, условно принято называть **отбросами**. Отбросы обезвреживают и(или) подвергают захоронению.

Полигоны твёрдых отходов представляют собой, попросту говоря, (городские) **мусорные свалки**. На каждую из таких свалок ежегодно выбрасывается несколько миллионов тонн твёрдых отходов.

На предварительном этапе переработки твёрдых коммунально-бытовых отходов (ТБО) производят отделение органической составляющей отходов от неорганической. Последнюю используют, добавляя в шихту сталеплавильных или стекольных печей, печей для выплавки вторичных металлов и т.д.

Для переработки органической составляющей ТБО применяют следующие методы:

- 1) сжигание в печах при высоких температурах с получением электроэнергии и тепла;
- 2) биологические способы превращения отходов в удобрения;
- 3) пиролиз.

При биологической обработке ТБО сначала измельчаются до определённой степени дисперсности, а затем смешиваются с водой для получения коллоидного раствора. Полученный раствор подаётся в аэротенк (биофильтр, биологический пруд), где происходит аэробное окисление полученной смеси. После этого смесь поступает в метантенк, где происходит её анаэробная обработка.

При компостировании ТБО сбрасываются в барабанных аппаратах или на воздухе в специальных штабелях при непрерывном ворошении. Разложение отходов продолжается до получения относительно стабильного материала, подобного гумусу.

Пиролиз ТБО проводится в закрытых реакторах и представляет собой процесс разложения при высокой температуре (несколько сотен °С) без доступа воздуха. В результате получается твёрдый осадок, а образующиеся газообразные и жидкие продукты сжигаются с целью получения тепла.

Основным способом захоронения твёрдых отходов (главным образом, крупнотоннажных отходов промышленных производств) является их складирование в поверхностных хранилищах.

Существует несколько типов поверхностных хранилищ, основными из которых являются шламонакопители. Шламонакопители строят по одно- или многокаскадному принципу с созданием плотины, берегов и чаши хранилища. Шламонакопители снабжают противофильтрационными устройствами из глинистых, битумных и полимерных материалов в один или несколько слоёв.

Опасными отходами называют отходы, содержащие в своём составе вещества, которые обладают опасными свойствами (токсичность, радиоактивность, взрывчатость, пожароопасность, инфекционность и т.д.) и присутствуют в количестве, опасном для здоровья людей и окружающей природной среды.

Захоронение опасных отходов осуществляют следующим образом: заключают в металлические капсулы, помещают в кубы из отвердевшего жидкого стекла и размещают под землёй в геологических выработках. Иногда в контейнерах из материалов, устойчивых к действию морской воды, отходы опускают в глубокие впадины морского дна.

Большой объём твёрдых отходов, значительная часть которых содержит ценные компоненты, обуславливает необходимость их утилизации с целью возврата в производство.

Утилизируются как бытовые, так и промышленные отходы. Приведём некоторые примеры использования отходов химической промышленности в качестве ВМР.

При производстве фосфорсодержащих продуктов (фосфорной кислоты, двойного суперфосфата и пр.) в качестве отходов образуется **фосфогипс**, в составе которого присутствуют SO_3 , CaO , P_2O_5 , CaSO_4 , соединения фтора, Mg , Si и редких металлов. Фосфогипс используют для мелиорации солонцовых почв, в производстве цемента, для получения серной кислоты, извести, сульфата аммония.

При получении серной кислоты из серного колчедана основным отходом является твёрдый порошок, называемый **пиритным огарком**, который содержит 58% Fe , 5% Cu , CaSO_4 , небольшие количества серебра, золота и других компонентов. Пиритный огарок используют в цементной и стекольной промышленности, в производстве чугуна, минеральных пигментов (железного сурика, охры и др.), в производстве строительных материалов.

Проблемы переработки отходов с целью использования в качестве ВМР в настоящее время решаются недостаточно эффективно. Для расширения масштабов утилизации твёрдых отходов необходима разработка новых высокоэффективных химико-технологических процессов.