
ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема защиты среды обитания с каждым годом становится для человечества одной из главнейших, а ее всестороннее изучение приобретает все большее значение на всех стадиях и во всех формах системы образования. По словам российского академика Н. Н. Моисеева «...человечество подошло к такому пределу в своем историческом развитии, который может обозначить некоторый рубеж, отделяющий более или менее благополучную историю рода человеческого от неизвестного и, вероятнее всего, очень опасного будущего».

Население Земли в 2013 г. приблизилось к семимиллиардной отметке. Человеческая деятельность (промышленное производство, строительство жилья, дорог, добыча полезных ископаемых), направленная на достижение определенного благосостояния, создает новую, чуждую человеку среду обитания, которая называется техносферой. Согласно Н. Ф. Реймерсу, техносфера — часть среды обитания, коренным образом преобразованная человеком в технические и техногенные объекты. Границы техносферы неуклонно расширяются: вниз — по мере углубления и увеличения количества шахт, скважин, тоннелей, строительства метрополитенов и вверх — по мере освоения воздушного и околоземного космического пространства.

Одним из основных факторов формирования техносферы является загрязнение окружающей природной среды. Под загрязнением понимается привнесение в среду

обитания новых, обычно не характерных для нее физических, химических и биологических агентов (веществ, факторов) или превышение среднемноголетнего уровня концентрации данных агентов в среде, нередко приводящее к негативным последствиям для человека и других живых существ.

Наибольший вред здоровью человека и других живых организмов наносит химическое загрязнение среды их обитания, на долю которого приходится более 90% негативных последствий. На втором месте по нанесенному вреду — шумовое (акустическое) загрязнение. Помимо шума, к акустической форме загрязнения относятся инфразвук и ультразвук, не воспринимаемые человеком с нормальным слухом, но являющиеся стрессовыми факторами для организма.

Не менее опасно для здоровья человека и электромагнитное загрязнение. Возникающие в городах зоны с колышевыми электрическими токами и полями приводят к увеличению напряженности электромагнитного поля в десятки, сотни и даже тысячи раз по сравнению с естественным электромагнитным фоном.

Несколько поколений людей живут в трансформированной природной среде, пытаясь приспособиться к ней. Раньше, когда уровень антропогенной нагрузки был не значителен, это влияние компенсировалось адаптационными возможностями живых организмов. В настоящее время ситуация изменилась. Экспериментально подтверждены необратимые изменения параметров окружающей среды, что все чаще приводит к экологическим кризисам и катастрофам на локальном уровне (фотохимический смог, кислотные осадки, загрязнение водоемов) и в глобальном масштабе (парниковый эффект, разрушение озонового слоя и др.). Кроме того, накоплены данные, подтверждающие нарушения генетических структур человека.

Наиболее мощными источниками загрязнения являются промышленность и транспорт. Максимальную опасность представляют промышленные отходы и загрязнения, выделяющиеся в технологических циклах предприя-

тий и при очистке производственных сточных вод. В связи с этим весьма актуальным является внедрение технологических процессов с минимальными выбросами, при которых самоочищающая способность природы будет препятствовать возникновению необратимых экологических изменений.

Идеальной моделью производства является безотходная технология, исключающая выбросы в окружающую среду за счет максимально возможной утилизации образующихся отходов. Однако в большинстве случаев безотходная технология не может быть реализована. Ее промежуточной ступенью является малоотходная технология, отличающаяся тем, что обеспечивает получение готового продукта с неполностью утилизируемыми отходами.

При создании и реализации малоотходной и безотходной технологий используются различные методы и процессы инженерной экологии: механические, физико-химические, химические, биологические и др., углубленному рассмотрению которых посвящено данное учебное пособие. В нем отражены основные принципы создания малоотходных технологических процессов и вопросы защиты среды обитания как важнейшие компоненты комплексного подхода к проектированию, созданию и управлению промышленным производством.

Основной базовой составляющей изучения проблем безопасности в техносфере являются дисциплины: «Теоретические основы защиты окружающей среды» и «Промышленная экология».

Данное учебное пособие издается в нашей стране впервые. Наряду с информацией, дающей базовые знания в области безопасности в техносфере, оно содержит обширный материал по теоретическим основам экологически безопасных технологических процессов.

Большинство защитных процессов основывается на законах неорганической, органической и физической химии, в частности на термодинамике и кинетике химических реакций, поэтому этим вопросам в пособии уделено особое внимание.

К сожалению, остались недостаточно освещенными вопросы, разрабатываемые специалистами в области физической экологии и математического моделирования защитных процессов. Однако, на наш взгляд, совмещение столь разных по используемому научному аппарату, методам и подходам научных направлений снизило бы целостность изложения и нарушило бы единую методологическую концепцию учебного пособия.

По мнению авторов, учебное пособие поможет студентам высших учебных заведений в решении достаточно сложных, многофакторных задач, которые возникают при создании систем защиты среды обитания.

Авторы надеются, что учебное пособие будет полезно для слушателей систем производственного обучения, повышения квалификации и переподготовки, а также в практической деятельности специалистов по техносферной безопасности, и выражают искреннюю благодарность глубокоуважаемым коллегам из других высших учебных заведений за содействие в подборе материала и высокопрофессиональные советы.

Глава 1. ЗАЩИТА СРЕДЫ ОБИТАНИЯ КАК ОСНОВА ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*Термины и принципы
классификации защитных процессов*

1.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

Понятие «защита среды обитания» представляет собой систему научно обоснованных инженерно-технических и организационно-управленческих мероприятий, направленных на сохранение качества окружающей среды в условиях развития промышленного производства.

Основным направлением защиты среды обитания является внедрение безотходных и малоотходных технологических процессов, при которых самоочищающая способность природной среды будет в достаточной мере препятствовать возникновению необратимых экологических изменений.

Безотходную технологию можно назвать идеальной моделью производства, поскольку в результате ее реализации отходы полностью утилизируются. Малоотходная технология отличается от нее тем, что отходы утилизируются неполностью. При реализации безотходной и малоотходной технологий используются различные процессы, в основе которых лежат химические, физические и биологические реакции превращения и взаимодействия либо их сочетания (физико-химические, биохимические и др.), которые называют «защитными процессами».

В зарубежной литературе по экологии встречаются такие понятия, как «энвайроментология» и «энвайроменталистика». Первое обозначает комплексную дисциплину об окружающей человека среде, главным образом природной, ее качестве и охране, а второе является техническим приложением энвайроментологии, это способы и методы

очистки отходящих газов и сточных вод, утилизации отходов и т. д. В отечественной практике термин «энвайронменталистика» не что иное как техника защиты окружающей среды.

1.2. ВЫБОР КЛАССИФИКАЦИИ

Существует несколько классификаций защитных процессов, в зависимости от положенного в их основу принципа (фазово-дисперсное состояние загрязнений, движущая сила процесса, теоретические закономерности процесса и др.).

При выборе защитных процессов водоподготовки наиболее удачной признана классификация, разработанная Л. А. Кульским. Она позволяет решать вопрос об удалении загрязнений, исходя из их фазово-дисперсного состояния, а не их индивидуальной природы (табл. 1.1).

Такой подход позволяет разрабатывать эффективные методы удаления еще неизученных загрязнений, поступающих со сточными водами новых видов производств.

Таблица 1.1

Классификация защитных процессов по фазово-дисперсному состоянию загрязнителей воды [19]

Фазовое состояние веществ в растворе	Задачи процессы
Нерастворимые в воде грубодисперсные примеси — взвеси, суспензии и эмульсии (первая группа), образуют с водой гетерогенные кинетически неустойчивые системы	Процессы, основанные на использовании сил гравитации (фильтрация, центрифugирование, отстаивание)
Вещества, коллоидной степени дисперсности ($R \approx 10^{-7}$ м), образующие с водой гидрофильные и гидрофобные системы, близкие к коллоидным растворам (вторая группа)	Флотация, седиментация, коагуляция
Вещества, молекулярной степени дисперсности ($R < 10^{-8}$ м), растворенные органические соединения (третья группа)	Сорбция с применением активированных углей
Ионные растворы (электролиты) $R < 10^{-9}$ м. Растворы солей, кислот, щелочей, ионы металлов (четвертая группа)	Перевод ионов в малорастворимые соединения, с использованием реагентов, процессов обессоливания

В таблице 1.2 приведена классификация защитных процессов на основе законов, определяющих скорость их протекания.

Таблица 1.2
Классификация защитных процессов в зависимости от их движущей силы [8]

Защитные процессы	Примеры
Механические и гидромеханические процессы	Движение потоков жидкости и газа; осаждение; фильтрование; центрифugирование; отстаивание; измельчение; перемешивание; флотация; псевдоожижение; процеживание; осветление во взвешенном осадке; коагуляция и флокуляция; 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	Электроагуляция; 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 газовоздушных 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

Скорость процесса пропорциональна его движущей силе, которая представляет собой разность потенциалов, характерных для данного процесса, и выражает удаленность системы от состояния равновесия. Так, для массообмена это разность концентраций вещества, которая выравнивается в процессе реакции; для теплообмена — разность температур двух участков; для электрического тока — разность потенциалов и т. д.

Таблица 1.3

**Классификация защитных процессов
по методам их проведения**

Методы	Заданные процессы
Физические	Осаждение (гравитационное, инерционное, центробежное, диффузионное); осаждение при касании; осаждение в электрическом поле; гидромеханическое осаждение (осаждение на каплях, в пузырьках, в пленке жидкости, в газовой струе); фильтрация; процеживание; отстаивание (седиментация, обратная седиментация); ультрафиолетовое облучение; уплотнение (гравитационное, центробежное, флотационное); обезвоживание (под давлением, под разряжением, в центробежном поле); дробление; измельчение; грохочение; гранулирование; брикетирование; магнитная сепарация; электрическая сепарация; звукоизоляция; звукопоглощение; выбросование; виброзоляция; вибродемпфирование; экранирование; радиопоглощение
Химические	Нейтрализация (реагентная, смешением, фильтрацией через нейтрализующие материалы, дымовыми газами); окисление; обеззараживание (хлорирование, озонирование); восстановление; выделение веществ в виде малорастворимых соединений
Физико-химические	Абсорбция; адсорбция; хемосорбция; ионообменная сорбция (аннионирование, катионирование); коагуляция; флокуляция; экстракция; флотация; обратный осмос; нанофильтрация; ультрафильтрация; микроФильтрация; электрохимические процессы (электрокоагуляция, электрофлотация, электрофлотокоагуляция, гальванокоагуляция, анодное окисление и катодное восстановление, электродиализ, электрофорез); катализ; термические процессы; выпаривание; вымораживание; кристаллизация; жидкофазное окисление; парофазное каталитическое окисление; сжигание; пиролиз; газификация
Биохимические	Ферментативный катализ; аэробные процессы (стабилизация, ферментация); анаэробные процессы (метаногенез)

В основу структуры настоящего учебного пособия положена классификация защитных процессов, основанная на методах их осуществления, приведенная в таблице 1.3.

1.3. ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Многие защитные процессы предполагают физические и химические превращения. В физических процессах изменяются лишь форма, размеры, агрегатное состояние и другие физические свойства веществ, а химиче-

ский состав сохраняется. Физические процессы преобладают в процессах пылеулавливания, физической абсорбции и адсорбции газов, очистки сточных вод от механических примесей. Химические процессы изменяют химический состав обрабатываемого потока для превращения токсичных компонентов газовых выбросов, твердых и жидких отходов в нетоксичные.

Совокупность физических и химических процессов, широко применяемых в защитных технологиях очистки, получила название физико-химических процессов. В их основе лежат физико-химические превращения веществ, к которым относятся коагуляция, ионный обмен, экстракция, обратный осмос, электрохимические и другие процессы.

В основе биохимических процессов лежат каталитические ферментативные реакции превращения веществ в процессе жизнедеятельности микроорганизмов. Продуктом этих превращений являются вещества неживой природы.

В силу гетерогенности процессы отличаются сложностью и многостадийностью и состоят по меньшей мере из трех стадий:

- 1) перенос реагирующих веществ к поверхности раздела фаз — реакционной зоне (массоперенос);
- 2) собственно гетерогенная реакция;
- 3) отвод продуктов реакции из реакционной зоны (массоперенос).

Интенсивность процесса массопереноса зависит от гидродинамических условий движения потоков, природы фаз и других 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 1-я или 3-я стадии, то кинетика процесса будет диффузионной, если 2-я, то скорость процесса определяется скоростью реакции

и лежит в кинетической области. При сравнимых скоростях имеет место равновесная ситуация.

Таким образом, проводить защитные процессы нужно так, 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).

Практически все защитные процессы реализуются в промышленных аппаратах и устройствах, являются неравновесными и характеризуются коэффициентом извлечения φ , который влияет на эффективность проведения защитного процесса η следующим образом:

$$\eta = \left(\frac{C_h - C_k}{C_h} \right) \varphi, \quad (1.1)$$

где C_h — начальная концентрация распределяемого вещества в одной из фаз на входе в массообменный аппарат; C_k — равновесная (предельно достижимая) концентрация распределяемого вещества на выходе из массообменного аппарата. Чем меньше φ отличается от единицы и чем выше его движущая сила ($C_h - C_k$), тем эффективнее организован защитный процесс.

Многие токсичные вещества, содержащиеся в газовоздушных выбросах и сточных водах, характеризуются малыми концентрациями. Например, хромсодержащие стоки гальванических производств обычно содержат шестивалентный хром в концентрациях порядка нескольких десятков миллиграмм на литр, а стандартные хромсодержащие растворы гальванических ванн содержат этот ион в количестве сотен граммов на литр. Аналогична ситуация с содержанием оксидов азота в газовоздушных выбросах. Отходящие газы сернокислотного цеха содержат в своем составе 0,3–0,4% NO_2 , а выбросы отделений травления меди и ее сплавов — $(0,3\text{--}0,9)\cdot10^{-4}\%$.

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.

Итак, при разработке защитного процесса необходимо учитывать гетерогенность и неравновесность используемых процессов, а также малые концентрации загрязняющих веществ, участвующих в реакциях, что снижает скорость их обезвреживания.

1.4. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР ЗАЩИТНОГО ПРОЦЕССА

Учет факторов при выборе защитных процессов предполагает:

- определение состава, концентрации и количества образующихся при промышленном производстве токсичных веществ, входящих в состав выбросов, сбросов или твердых отходов;
- установление последовательности защитных процессов, обеспечивающих защиту среды обитания, в том числе, и обезвреживание загрязняющих веществ с возможностью их дальнейшей рекуперации и повторного использования.

Анализ факторов предполагает следующее:

- при описании биохимических (аэробные и анаэробные процессы очистки, сбраживание в метантенках и т. д.) и электрохимических процессов необходимо учитывать их специфику;
- большинство химических защитных процессов протекает в гетерогенных системах, состоящих из нескольких фаз: твердое тело — жидкость; твердое тело — газ (с катализатором или без); твердое тело — жидкость — газ (катализический); газ — жидкость; жидкость — жидкость (несмешивающиеся жидкости).

Примеры гетерогенных защитных процессов:

- очистка газовых выбросов — адсорбционные, абсорбционные и каталитические (гетерогенный катализ) методы; некоторые термические процессы обезвреживания газовых выбросов;
- 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 др.;
- переработка твердых отходов — высокотемпературная агломерация, выщелачивание (экстракция в системе «твердое тело — жидкость»), растворение, кристаллизация и др.

1.4.1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ЗАЩИТНОГО ПРОЦЕССА

При выборе технологической схемы защитного процесса учитывают принципы экологической концепции развития.

Первый принцип: подавление выделения или замедление скорости образования вредных веществ в источнике их образования (на уровне единичного технологического процесса). Он предполагает замену токсичных материалов, используемых в технологическом процессе, на нетоксичные или использование реагентов, подавляющих образование загрязняющих веществ. Также этот принцип можно осуществить, регулируя параметры технологического процесса, например изменением рН среды, подбором скорости пропускания воды и др.

Второй принцип: снижение концентраций образующихся вредных веществ до безопасных значений (за счет очистки промышленных выбросов и сбросов, а также переработки и обезвреживания твердых отходов). Однако очистка выбросов и сбросов не позволяет решить проблему кардинально, так как в процессе очистки часто один вид загрязнений превращается в другой. Тем не менее в настоящее время этот путь является наиболее приемлемым для предприятий, имеющих возможности модернизировать промышленное оборудование.

Третий принцип: создание экологически чистых (малоотходных) технологий и ресурсосберегающих замкнутых производств, практически не загрязняющих окружающую среду. Для его реализации необходимо соблюдать ряд требований:

- минимизация числа технологических единиц (стадий и аппаратов) производственного процесса с целью

- уменьшения отходов и потерь сырья на промежуточных стадиях процесса;
- применение непрерывных схем процессов и технологий (замкнутых технологических циклов);
 - комплексность использования всех компонентов сырья и энергетических ресурсов;
 - максимальное применение вторичного сырья и замена первичного сырья на вторичное;
 - разработка и внедрение высокоэффективных методов очистки и др.

1.5. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Эффективность защитных процессов очистки напрямую связана с уровнем загрязнения среды обитания промышленным производством: чем выше эффективность используемых процессов, тем меньше загрязнение среды. Экологическая оценка промышленного производства производится по следующим показателям:

- достигаемой степени очистки вредных выбросов (ПДК, остаточные концентрации);
- уровню загрязнения окружающей среды;
- капитальным и эксплуатационным затратам на защитную технику и др.

В качестве критерия оценки рекомендуется использовать:

1. Индекс относительной токсичности массы I_0 :

$$I_0 = \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_2}, \quad (1.2)$$

где ПДК₁ и ПДК₂ — предельно допустимые концентрации вещества, соответственно сравниваемого и принятого за эталон. Например, для воды эталонные ПДК составляют 1 мг/л.

2. Коэффициент экологического действия:

$$K_e = \frac{B_t}{B_\phi}, \quad (1.3)$$

где B_t — теоретическое воздействие, необходимое для производства; B_ϕ — фактическое воздействие. Если $B_\phi \gg B_t$, то $K_a \rightarrow 0$, т. е. данное производство абсолютно не учитывает требований экологической безопасности, и наоборот, чем больше значение K_a , тем больше производство приближается к безотходному.

3. Экономический эффект от рационального использования сырья и ресурсов:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{o.i} + \mathcal{E}_y + \mathcal{E}_p, \quad (1.4)$$

где $\mathcal{E}_{o.i}$ — экономический эффект от использования отходов производства; \mathcal{E}_p — эффект от снижения затрат на добывчу сырья (региональный эффект); \mathcal{E}_y — эффект от предотвращения социально-экономического ущерба от загрязнения окружающей среды.

Рассмотренные показатели качества среды обитания обладают следующими недостатками:

- они не учитывают одновременного влияния на окружающую среду химического, технологического и экологического факторов соответствующего процесса;
- их расчет достаточно сложен и не всегда возможен из-за отсутствия необходимых данных о материальных и энергетических характеристиках процесса, его экологичности.

Поэтому для оценки воздействия промышленного производства на среду обитания и эффективность ее защиты лучше использовать безразмерные критерии, аналогичные критериям подобия (Рейнольдса, Нуссельта, Прандтля и др.), используемым при физическом моделировании.

Основные требования, предъявляемые к критериям:

- они должны учитывать влияние на состояние среды обитания химического, технологического и экологического факторов производственного и защитного процессов;
- математическая структура рассматриваемых критерий должна быть простой, т. е. при любых значениях переменных, входящих в его состав, критерий должен быть определен количественно (не должны присутствовать неопределенности типа $\frac{0}{0}$ или $\frac{\infty}{\infty}$);

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru