
Содержание

Введение	6
Раздел 1 Загрязнение и основные природоохранные процессы	8
1.1. Показатели качества окружающей среды	8
1.2. Источники загрязнения окружающей среды	17
1.3. Основные физико-химические свойства веществ	20
1.4. Классификация и принципы расчета природоохранных процессов	37
Вопросы для самоконтроля	42
Раздел 2 Явления переноса вещества и энергии в процессах природоохранной технологии	44
2.1. Основные определения математического анализа	44
2.2. Общие закономерности процессов переноса веществ и энергии	47
2.3. Основные феноменологические уравнения гидромеханики сплошной среды	49
2.4. Основные феноменологические уравнения теплопереноса в сплошной среде	60
2.5. Основные феноменологические уравнения массопереноса в сплошной среде	66
2.6. Начальные и граничные условия к задачам переноса	71
2.7. Подобие типовых процессов природоохранных технологий и основы моделирования	74
Вопросы для самоконтроля	86
Раздел 3 Основы прикладной гидравлики	88
3.1. Гидростатика. Основное уравнение гидростатики	88
3.2. Гидродинамика. Основные характеристики движения жидкостей	93
3.3. Режимы движения жидкости	95
3.4. Закон Бернулли для реальной жидкости. Гидравлическое сопротивление трубопроводов	98

3.5. Преобразование уравнений Навье – Стокса. Гидродинамическое подобие	106
3.6. Расчет диаметра трубопровода	110
3.7. Движение жидкости через слои твердых тел	111
3.8. Движение частиц в жидкостях	120
3.9. Пленочное течение жидкости	129
3.10. Неньютоновские жидкости	132
Вопросы для самоконтроля	136

Раздел 4 Тепловые процессы **137**

4.1. Основные понятия	137
4.2. Передача тепла теплопроводностью	139
4.3. Конвективный теплообмен	144
4.4. Преобразование уравнений Фурье – Кирхгофа. Тепловое подобие	145
4.5. Теплоотдача при вынужденном течении теплоносителя	149
4.6. Естественная (гравитационная) конвекция	156
4.7. Теплообмен при конденсации пара	159
4.8. Теплоотдача при кипении жидкости	163
4.9. Теплообмен в системах с твердой фазой	167
4.10. Теплопередача	170
4.11. Тепловое излучение	176
4.12. Расчет теплообменных аппаратов	180
Вопросы для самоконтроля	181

Раздел 5 Массообменные процессы **183**

5.1. Основные понятия	183
5.2. Элементарные виды переноса массы	184
5.3. Способы выражения состава фаз	189
5.4. Равновесие при массопередаче	192
5.5. Уравнение рабочей линии	195
5.6. Уравнение массоотдачи	197
5.7. Преобразование уравнения конвективного массопереноса. Подобие диффузных процессов	198
5.8. Модели массоотдачи	199
5.9. Уравнение массопередачи	203
5.10. Объемные коэффициенты массоотдачи и массопередачи	206
5.11. Движущая сила процессов массопередачи	207
5.12. Массопередача при движении частиц	208
5.13. Массообмен при пленочном движении жидкости	213

5.14. Расчет основных размеров массообменных аппаратов	216
5.15. Аналогия между процессами переноса теплоты, массы и импульса	219
Вопросы для самоконтроля	221
Раздел 6 Химические процессы	223
6.1. Кинетика химических процессов	223
6.2. Химические процессы в гетерогенных системах	232
6.3. Материальный баланс химических процессов	237
6.4. Тепловой баланс химических процессов	237
6.5. Виды химических реакторов, расчет химических реакторов	238
6.6. Высокотемпературные химические реакторы (печи)	242
Вопросы для самоконтроля	244
Раздел 7 Биохимические процессы	246
7.1. Биологическая очистка сточных вод	246
7.2. Кинетика процессов биологической очистки сточных вод	253
7.3. Биологические реакторы периодического действия	257
7.4. Биологические реакторы непрерывного действия	257
7.5. Аэробные процессы	259
7.6. Анаэробные процессы	261
Вопросы для самоконтроля	263
Раздел 8 Механические процессы	265
8.1. Степень измельчения. Работа, затрачиваемая на измельчение	266
8.2. Стадии и схемы дробления и измельчения	268
8.3. Классификация материалов	270
Вопросы для самоконтроля	272
Литература	273
Предметный указатель	277

Введение

Обострение противоречий между человеком и природой, вызванное научно-технической революцией, обусловило необходимость решения многих экологических проблем.

Сегодня, когда в результате деятельности человека на всей планете происходят глобальные изменения как живой, так и неживой природы, особенно актуальной становится проблема защиты окружающей среды от загрязнения техногенными выбросами. Масштабы хозяйственной деятельности человека и изменения природных условий, воздействии на окружающую среду и на здоровье человека требуют эффективного и целенаправленного проведения научных, технических мероприятий в области охраны окружающей среды. Эти задачи призван решать «Процессы и аппараты природоохранных технологий».

Предметом курса является изучение теории основных физико-химических процессов, методов их рационального аппаратурно-технологического оформления, а также принципов устройства и методов инженерного расчета аппаратов и машин, которые используются для проведения природоохранных процессов.

Настоящий курс логически связывает общие закономерности математики, физики, химии с экологией. Изучение основных закономерностей процессов природоохранных технологий базируется на знании главных физико-химических законов и ориентировано на подготовку специалистов, способных решать вопросы защиты окружающей среды путем грамотной организации технологических процессов, выбора и расчета высокоэффективного оборудования, разработки и создания новых природоохранных процессов, технологий и оборудования.

Место курса «Процессы и аппараты природоохранных технологий» в профессиональной подготовке выпускника связано с созданием необходимой базы для понимания физико-химической сущности технологических процессов защиты окружающей среды, а именно: процессов разделения гетерогенных систем: осаждения и фильтрации, коагуляции, флокуляции, абсорбции, адсорбции, конденсации, флотации, жидкостной экстракции, ионного обмена, электрохимического окисления и восстановления, электрокоагуляции и электрофлотации, пиролиза, огневого обезвреживания и др.

Цель курса состоит в получении необходимых знаний об основных методах и закономерностях физико-химических процессов защиты окружающей среды, основах технологий очистки пылегазо-

вых выбросов, жидких сбросов, утилизации и переработки твердых отходов.

Общими задачами курса являются:

- получение базовых знаний о физико-химических процессах, лежащих в основе очистки отходящих газов, сточных вод и утилизации твердых отходов;
- формирование практических навыков расчета параметров физико-химических процессов защиты атмосферы, гидросферы и литосферы.

Курс «Процессы и аппараты природоохранных технологий» включает следующие разделы:

1. Теоретические основы.
2. Процессы и аппараты защиты атмосферы.
3. Процессы и аппараты защиты гидросферы.
4. Процессы и аппараты защиты литосферы.

Изучение этих разделов помогает понять место и роль данной дисциплины в системе высшего экологического образования, ее связь с другими дисциплинами. В учебнике приводятся примеры взаимосвязи защиты окружающей среды и физико-химических дисциплин, классификация основных методов и способов, физико-химическая сущность основных процессов защиты окружающей среды, основ природоохранных технологий.

В результате изучения курса студенты должны

- *знать*:
 - основные физико-химические процессы очистки аэрозолей, коллоидных систем, растворов и сточных вод;
 - основные физико-химические процессы, лежащие в основе утилизации твердых промышленных отходов;
- *уметь*:
 - объяснить с научной точки зрения явления, процессы, протекающие при очистке газовых выбросов в атмосфере, сточных вод в гидросфере и твердых отходов в литосфере;
 - правильно выбрать метод и способ защиты атмосферы, гидросферы, литосферы при выбросе и сбросе в них промышленных отходов;
 - проводить оценку основных физико-химических параметров процессов защиты окружающей среды.

Загрязнение и основные природоохранные процессы

Основные технические решения проблемы защиты окружающей среды заключаются в совершенствовании технологических процессов с целью максимального исключения выбросов вредных веществ. Реальный путь экологизации промышленной технологии — это постепенный переход к малоотходным, а затем и безотходным замкнутым циклам, что обеспечивает рациональное природопользование и охрану окружающей среды.

Однако современный уровень развития техники не дает возможности полностью исключить выбросы, и поэтому качество окружающей среды определяется главным образом эффективностью оборудования, используемого в природоохранных технологиях.

1.1. Показатели качества окружающей среды

Загрязнением окружающей среды называется изменение качества среды, способное вызвать отрицательные последствия. Считается, что одинаковые агенты оказывают одинаковые отрицательные воздействия независимо от их происхождения, поэтому пыль, источником которой является природное явление (например, пыльные бури), должна считаться таким же загрязняющим веществом, как и пыль, выбрасываемая промышленным предприятием, хотя последняя может быть более токсичной в силу своего сложного состава.

Различные виды загрязнений окружающей среды можно классифицировать следующим образом:

1. *Механическое* — загрязнение окружающей среды агентами, оказывающими лишь механическое воздействие без химико-физических последствий.

2. *Химическое* — изменение химических свойств среды, оказывающие отрицательное воздействие на экосистемы и технологические устройства.

3. *Физическое* — изменение физических параметров среды: температурно-энергетических (тепловое), волновых (световое, шумовое, электромагнитное), радиационных и т.п. Например, тепловое загрязнение вызывается главным образом промышленными выбросами нагретого воздуха, отходящих газов и воды; может возникать и как вторичный результат изменения химического состава среды.

4. *Биологическое* — проникновение в экосистемы и технологические устройства видов животных и растений, чуждых данным сообществам и устройствам:

- а) биотическое — распространение определенных биогенных веществ на территории, где они ранее не наблюдались;
- б) микробиологическое:
 - появление огромного количества микроорганизмов, связанное с их массовым размножением на антропогенных субстратах или в средах, измененных в ходе хозяйственной деятельности человека;
 - приобретение ранее безвредной формой микроорганизмов патогенных свойств или способности подавлять другие организмы в сообществах.

Все перечисленные виды загрязнений взаимосвязаны, и каждый из них может вызвать появление других видов загрязнения. В частности, химическое загрязнение атмосферы может увеличивать вирусную активность и, следовательно, биологическое загрязнение.

Содержание тех или иных загрязнений окружающей среды регламентируется существующим законодательством.

Согласно ст. 33 Закона Украины «Об охране окружающей природной среды» под *нормированием качества окружающей природной среды* подразумевается деятельность по определению нормативов предельно допустимых воздействий на нее. Нормативы в области охраны окружающей среды — это установленные нормативы качества окружающей среды и нормативы допустимого воздействия на нее, при соблюдении которых обеспечивается устойчивое функционирование естественных экологических систем и сохраняется биологическое разнообразие. Закон нормирует загрязнение окружающей среды как разновидность неблагоприятных воздействий, исходя из предположения о существовании допустимых норм вредных воздействий на природу,

гарантирующих экологическую безопасность населения, сохранение генофонда и обеспечивающих рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов в условиях устойчивого развития хозяйственной деятельности. Нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в окружающей природной среде и уровни вредных физических и биологических влияний на нее являются едиными для всей территории Украины.

Экологические нормативы в области охраны окружающей среды устанавливают предельно допустимые выбросы и сбросы в окружающую природную среду загрязняющих химических веществ, уровни допустимого вредного влияния на него физических и биологических факторов. Для оценки загрязнения окружающей среды используются следующие нормативы:

- *нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК)* химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов – нормативы, которые установлены в соответствии с показателями предельно допустимого содержания химических веществ, в том числе радиоактивных, иных веществ и микроорганизмов в окружающей среде, и несоблюдение которых может привести к загрязнению окружающей среды, деградации естественных экологических систем;
- *нормативы допустимых физических воздействий* – нормативы, которые установлены в соответствии с уровнями допустимого воздействия физических факторов на окружающую среду и при соблюдении которых обеспечиваются нормативы качества окружающей среды.

Критериями качества окружающей среды служат предельно допустимые концентрации (ПДК), являющиеся гигиеническими нормами. В Украине установлены гигиенические нормативы более чем для 1800 веществ и их соединений, причем все эти вещества отнесены к одному из четырех классов опасности загрязняющих веществ (наиболее опасным является 1-й класс, наименее опасным 4-й).

Значения ПДК не несут информации о влиянии загрязнений на другие объекты и их трансформациях в биосфере. Однако они имеют важное значение для решения организационных проблем охраны окружающей среды.

Атмосферный воздух. Согласно Закону Украины «Об охране атмосферного воздуха» норматив качества атмосферного воздуха – критерий качества атмосферного воздуха, который отображает предельно

допустимое максимальное содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и при котором отсутствует негативное влияние на здоровье человека и состояние окружающей природной среды.

Для воздуха населенных пунктов установлены два вида ПДК:

- 1) *максимально разовая ПДК* ($ПДК_{м.р}$) – с целью предупреждения негативных рефлекторных реакций (ощущение запаха, световой чувствительности глаз и т.п.) при кратковременном воздействии примесей в течение 20 мин;
- 2) *среднесуточная ПДК* ($ПДК_{с.с}$) – для предупреждения общетоксического, канцерогенного, мутагенного и других видов воздействия примеси на организм человека; в этом случае концентрация вредных веществ определяется в пробах, отобранных в течение 20–30 минут. $ПДК_{с.с}$ не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неопределенно долгом вдыхании. Это основной норматив оценки состояния атмосферного воздуха с санитарно-гигиенической точки зрения.

Наибольшая концентрация C любого вредного вещества в приземном слое воздуха за пределами санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятия не должна превышать максимальной разовой предельно допустимой концентрации:

$$C \leq ПДК_{м.р}. \quad (1.1)$$

При одновременном присутствии в атмосфере нескольких вредных веществ, обладающих однонаправленным действием, их безразмерная суммарная концентрация должна удовлетворять условию

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1, \quad (1.2)$$

где C_1, C_2, \dots, C_n – концентрация вредных веществ в атмосфере в одной и той же точке местности, $мг/м^3$;

$ПДК_1, ПДК_2, \dots, ПДК_n$ – максимальные разовые предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосфере, $мг/м^3$.

Допустим, что в воздухе концентрация фенола $C_\phi = 0,345$ $мг/л$, ацетона $C_{ац} = 0,009$ $мг/л$, а $ПДК_\phi = 0,35$ $мг/л$, $ПДК_{ац} = 0,01$ $мг/л$. Таким образом, для каждого из веществ указанное соотношение меньше 1:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} < 1; \quad \frac{C_2}{ПДК_2} < 1.$$

Но поскольку эти вещества обладают эффектом суммации, то общее загрязнение фенолом и ацетоном превысит предельно допустимое, так как

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} = 0,986 + 0,9 = 0,986 + 0,9 = 1,886 > 1.$$

Эффектом однонаправленного действия (суммации) обладает ряд вредных веществ: SO_2 и NO_2 , SO_2 и H_2S , сильные минеральные кислоты (серная, соляная, азотная), озон, формальдегид и другие (более 30 наименований веществ в различной их комбинации друг с другом).

Для более полной оценки качества среды используется другой критерий – ПДЭН (*предельно допустимая экологическая нагрузка*). Для воздуха – это ПДВ (предельно допустимый выброс, г/с); для воды – ПДС (предельно допустимый сброс, г/с). Эти величины характеризуют нагрузку, оказываемую предприятием на окружающую среду в единицу времени, и должны обязательно входить в экологический паспорт (или другой подобный документ) предприятия.

Предельно допустимый выброс в атмосферу (ПДВ) – норматив, устанавливаемый из условия, что содержание загрязняющих веществ в приземном слое воздуха от стационарного источника или совокупности источников не превышает уровня загрязнений, определенных нормативами качества воздуха для населения, а также для животного и растительного миров.

Для выявления связи между ПДВ и ПДК исследуют закономерности распространения примесей от их источников до зоны воздействия с учетом турбулентной диффузии в атмосфере.

Природные воды. Под *загрязнением водных ресурсов* понимают любые изменения физических, химических и биологических свойств воды в водоемах в связи со сбросом в них жидких, твердых и газообразных веществ, которые причиняют или могут создать неудобства, делая воду данных водоемов опасной для использования, нанося ущерб народному хозяйству, здоровью и безопасности населения.

Загрязнения поверхностных и подземных вод можно разделить на следующие типы:

- *механическое* – повышение содержания механических примесей, свойственное в основном поверхностным видам загрязнений;
- *химическое* – наличие в воде органических и неорганических веществ токсического и нетоксического действия;

- *бактериальное и биологическое* — наличие в воде разнообразных патогенных микроорганизмов, грибов и мелких водорослей;
- *радиоактивное* — присутствие радиоактивных веществ в поверхностных или подземных водах;
- *тепловое* — выпуск в водоемы подогретых сточных промышленных вод.

Качество природных вод зависит от состава и количества растворенных и взвешенных веществ, микроорганизмов, гидробионтов, а также от температуры, кислотности и других физико-химических показателей.

Таким образом, оценка качества воды может производиться по физическим, химическим, бактериологическим и гидробиологическим показателям. В «Правилах охраны поверхностных вод от загрязнения оборотными водами» дается определение понятия «категория качества воды». **Категория качества воды** — это показатель степени загрязненности водного объекта, который определяется по совокупности установленных показателей состава и свойств воды и соблюдение которого есть обязательным на протяжении определенного времени.

В области использования и охраны вод и воспроизведения водных ресурсов устанавливаются такие нормативы:

- 1) нормативы экологической безопасности водопользования;
- 2) экологический норматив качества воды водных объектов;
- 3) нормативы предельно допустимого сброса загрязняющих веществ;
- 4) отраслевые технологические нормативы образования веществ, которые сбрасываются в водные объекты;
- 5) технологические нормативы использования воды.

Для оценки возможностей использования воды из водных объектов для нужд населения и отраслей промышленности устанавливаются **нормативы экологической безопасности водопользования**, которые обеспечивают безопасные условия водопользования, а именно:

- предельно допустимые концентрации веществ в водных объектах, вода которых используется для удовлетворения питьевых, хозяйственно-бытовых и других нужд населения;
- предельно допустимые концентрации веществ в водных объектах, вода которых используется для нужд рыбного хозяйства;
- допустимые концентрации радиоактивных веществ в водных объектах, вода которых используется для удовлетворения питьевых, хозяйственно-бытовых и других нужд населения.