МИЭТ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В. Б. Кольцов, О. В. Кольцова

Процессы и аппараты защиты окружающей среды

УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ
ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО БАКАЛАВРИАТА

Под общей редакцией **В. И. Каракеяна**

Рекомендовано УМО по образованию в области природообустройства и водопользования в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 280100 «Природообустройство и водопользование»

Допущено Учебно–методическим отделом высшего образования в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно–техническим направлениям и специальностям

Книга доступна в электронной библиотечной системе biblio-online.ru

Москва ▪ Юрайт ▪ 2016

УДК 502(075.8)
ББК 20.1я73
К21

***Ответственный редактор*:**

Каракеян Валерий Иванович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной экологии факультета интеллектуальных технических систем Национального исследовательского университета «МИЭТ».

***Автор*:**

Кольцов Владимир Борисович — доктор химических наук, профессор кафедры промышленной экологии факультета интеллектуальных технических систем Национального исследовательского университета «МИЭТ»;

Кольцова Ольга Владимировна — кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий в строительстве строительного факультета, заместитель проректора по научной работе Московского государственного университета природообустройства.

***Рецензенты*:**

Шубов Л. Я. — доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией Научно-исследовательского центра по проблемам управления ресурсосбережением и отходами;

Рощин В. М. — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой общей и физической химии, декан факультета интеллектуальных технических систем Национального исследовательского университета «МИЭТ».

Кольцов, В. Б.

К21 Процессы и аппараты защиты окружающей среды : учебник и практикум для академического бакалавриата / В. Б. Кольцов, О. В. Кольцова ; под общ. ред. В. И. Каракеяна. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 588 с. — Серия : Бакалавр. Академический курс.

ISBN 978-5-9916-3548-6

В учебнике излагаются основы инженерной защиты окружающей среды от загрязнений. Материал книги систематизирует и обобщает современные практические и теоретические знания по технологиям очистки атмосферного воздуха, промышленных сточных вод, переработки, утилизации и обезвреживания твердых отходов производства и потребления. Рассмотрены примеры решения задач по основным разделам книги. Приведены задания для самостоятельной работы студентов.

Соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования четвертого поколения.

Для студентов, обучающихся по программе бакалавриата по направлению «Техносферная безопасность». Может быть использован при изучении смежных дисциплин, связанных с безопасностью жизнедеятельности и техническими системами, а также работниками природоохранных служб промышленных предприятий.

УДК 502(075.8)
ББК 20.1я73

ISBN 978-5-9916-3548-6

© Кольцов В. Б., Кольцова О. В., 2014
© ООО «Издательство Юрайт», 2016

Оглавление

Предисловие **10**

Глава 1. Проблемы защиты окружающей среды **14**
1.1. Экологическая ситуация в мире 14
1.2. Действующие законодательные требования, предъявляемые к аппаратам очистки природной среды 19
Контрольные вопросы 45

Глава 2. Классификация основных процессов защиты окружающей среды на основе физических, химических и физико-химических закономерностей **46**
2.1. Классификация процессов химической технологии на основе кинетических закономерностей 46
2.2. Теория подобия и подобные преобразования, критерии и числа подобия. Применение теории подобия к расчету процессов защиты окружающей среды 50
2.3. Общие принципы анализа и расчета процессов и аппаратов ... 61
2.3.1. Материальный и энергетический баланс процесса 61
2.3.2. Методы составления математической модели процесса ... 68
2.3.3. Технологическая схема процесса и ее показатели 70
2.3.4. Технико-экономическое обоснование выбора аппарата обезвреживания и технологическая схема процесса 72
2.4. Неоднородные системы и методы их разделения 79
Контрольные вопросы 81
Задачи для самостоятельного решения 82

Глава 3. Методы сепарации пыли из газового потока **84**
3.1. Основные методы удаления пыли из газового потока, их краткая характеристика. Классификация пылеуловителей 84
3.2. Основные физико-химические свойства пылей 88
3.3. Оценка эффективности газоочистных и пылеулавливающих установок 91
Контрольные вопросы 96
Задачи для самостоятельного решения 96

Глава 4. Аппараты сухой механической очистки газов **98**
4.1. Пылеосадительные камеры, их устройство, принцип действия, область применения 98
4.2. Расчет пылеосадительной камеры 100
4.3. Инерционные пылеуловители, их устройство, конструкция, принцип действия, область применения 102

4.4. Динамические пылеуловители, их устройство, конструкция, принцип действия ... 103
4.5. Жалюзийные аппараты, их устройство, конструкция, принцип действия, область применения ... 104
4.6. Циклоны, их устройство, конструкция, принцип действия, область применения ... 106
4.7. Расчет и выбор циклона ... 110
4.8. Батарейные циклоны, их устройство, конструкция, принцип действия, область применения ... 116
4.9. Расчет батарейного циклона ... 118
4.10. Эксплуатация циклонов различного типа ... 121
4.11. Вихревые пылеуловители, их устройство, конструкция, принцип действия, область применения ... 122
Контрольные вопросы ... 124
Задачи для самостоятельного решения ... 125

Глава 5. Аппараты фильтрующего действия (очистка газов в фильтрах) ... 126
5.1. Процесс фильтрации ... 126
5.2. Механизм фильтрации ... 127
5.3. Характеристика пористых перегородок. Определение эффективности пористых фильтров. Конструкция и расчет пористых фильтров ... 132
5.4. Волокнистые фильтры ... 139
5.5. Тканевые фильтры. Особенности улавливания пыли тканями ... 141
5.6. Расчет тканевого рукавного фильтра ... 143
5.7. Регенерация тканевых фильтров ... 150
5.8. Зернистые фильтры, конструкция, область применения ... 152
5.9. Расчет зернистого фильтра ... 154
5.10. Кассетные фильтры ... 155
5.11. Масляные самоочищающиеся фильтры ... 156
5.12. Рулонные (катушечные) автоматические фильтры ... 157
5.13. Фильтры-туманоуловители (низкоскоростные и высокоскоростные туманоуловители) ... 158
5.14. Сеточные брызгоуловители ... 160
Контрольные вопросы ... 160
Задачи для самостоятельного решения ... 161

Глава 6. Электрическая очистка газов ... 162
6.1. Физические основы работы электрофильтров ... 162
6.2. Расчет электрофильтра и теоретическая эффективность электрической очистки газов ... 165
6.3. Классификация и конструкция электрофильтров, их устройство и работа ... 169
6.4. Электрическое оборудование электрофильтров ... 171
6.5. Эксплуатация электрофильтров ... 175
6.5.1. Влияние эксплуатационно-технологических факторов на степень улавливания пыли в электрофильтре ... 175
6.5.2. Электрические режимы питания электрофильтра ... 178

Контрольные вопросы 182
Задачи для самостоятельного решения 183

Глава 7. Аппараты мокрой очистки газов 185
7.1. Достоинства и недостатки мокрых пылеуловителей 185
7.2. Физические основы работы мокрых пылеуловителей (захват частиц пыли жидкостью) 186
7.2.1. Тепло- и массообмен в мокрых пылеуловителях 189
7.2.2. Энергетический метод расчета эффективности мокрых пылеуловителей 191
7.3. Конструкции мокрых пылеуловителей 192
7.3.1. Форсуночные скрубберы 192
7.3.2. Расчет форсуночного скруббера 194
7.3.3. Скрубберы Вентури 199
7.3.4. Расчет скрубберов Вентури 202
7.4. Пылеуловители с осаждением пыли на пленку жидкости 207
7.4.1. Мокрые аппараты центробежного действия 207
7.4.2. Мокрые аппараты ударно-инерционного действия 208
7.4.3. Тарельчатые газоочистные аппараты 209
7.4.4. Расчет пенного пылеуловителя 213
Контрольные вопросы 214
Задачи для самостоятельного решения 214

Глава 8. Сорбционные методы очистки от вредных газообразных выбросов и использование уловленных компонентов (аппараты химической и физико-химической очистки газов) 216
8.1. Физические основы сорбционных методов очистки 216
8.2. Абсорбция 221
8.2.1. Основы процесса физической абсорбции 221
8.2.2. Устройство и расчет абсорбционных аппаратов 225
8.2.3. Расчет абсорберов 228
8.3. Адсорбция 233
8.3.1. Основы процесса физической адсорбции 233
8.3.2. Характеристика адсорбентов и их виды 237
8.3.3. Устройство адсорберов 239
8.3.4. Расчет адсорбера с неподвижным слоем адсорбента 241
8.3.5. Непрерывно действующие адсорберы 242
8.4. Десорбция 243
8.5. Ионообменная очистка газовых потоков 245
Контрольные вопросы 248
Задачи для самостоятельного решения 249

Глава 9. Каталитическая очистка и термическое обезвреживание газов 251
9.1. Физико-химические процессы каталитической очистки отходящих газов 251
9.2. Эксплуатационные требования к катализаторам 256
9.3. Очистка оксида углерода каталитическим методом 257

9.4. Высокотемпературное обезвреживание газов 258
Контрольные вопросы 265
Задачи для самостоятельного решения 266

Глава 10. Процессы защиты гидросферы (очистка сточных вод)... 267
10.1. Вода как химическое соединение, ее состояние и роль в природе 267
10.2. Физико-химические свойства воды 268
10.3. Виды вод различного технического назначения: технологическая вода и сточные воды. Оборотное водоснабжение 274
10.4. Классификация методов очистки сточных вод 278
Контрольные вопросы 280

Глава 11. Механические методы очистки сточных вод. Очистка сточных вод от взвешенных частиц 281
11.1. Процеживание, основные аппараты для процеживания и их конструкции 281
11.2. Усреднители 283
11.3. Процессы отстаивания и применяемое оборудование 284
11.3.1. Песколовки 287
11.3.2. Отстойники 288
11.3.3. Осветлители 290
11.3.4. Удаление всплывающих примесей 291
11.4. Центробежные методы очистки 293
11.5. Очистка сточных вод фильтрованием 299
11.5.1. Физические основы фильтрации с образованием осадка. Гидродинамика течения жидкости через пористые и зернистые слои 301
11.5.2. Определение оптимальных условий работы фильтров. Экономически выгодный цикл фильтрации 305
11.5.3. Фильтровальные перегородки 306
11.6. Классификация и конструкции фильтров 306
11.6.1. Вакуумные фильтры 307
11.6.2. Магнитные фильтры 313
11.6.3. Фильтрование эмульгированных веществ 314
11.7. Физические основы разделения суспензий в фильтрующих центрифугах 314
11.8. Выбор и расчет фильтров 316
11.9. Червячные отжимные аппараты 318
11.10. Комплексная очистка сточных вод от твердых частиц 319
Контрольные вопросы 320
Задачи для самостоятельного решения 320

Глава 12. Физико-химические методы очистки сточных вод 322
12.1. Агрегирование частиц малого размера 322
12.1.1. Коагуляция 322
12.1.2. Флокуляция 325
12.2. Очистка сточных вод флотацией 328
12.3. Очистка сточных вод методом адсорбции 336
12.4. Адсорбционная очистка сточных вод ионным обменом 343

12.5. Очистка сточной воды ультрафильтрацией и обратным осмосом ... 346
12.6. Расчет установки обратного осмоса ... 350
12.7. Очистка сточных вод методом экстракции ... 351
12.8. Очистка воды от растворенных газовых примесей ... 359
12.9. Электрохимические методы очистки воды ... 360
12.9.1. Классификация методов электрохимической очистки сточных вод ... 361
12.9.2. Анодное окисление и катодное восстановление ... 363
12.9.3. Электрокоагуляция ... 366
12.9.4. Электрофлотация ... 368
12.9.5. Расчет установок для электрофлотации и электрофлотокоагуляции ... 369
12.9.6. Электродиализ ... 371
12.9.7. Гальванокоагуляционная очистка сточных вод ... 373
Контрольные вопросы ... 373
Задачи для самостоятельного решения ... 374

Глава 13. Химические методы очистки сточных вод ... 375
13.1. Нейтрализация ... 375
13.1.1. Нейтрализация смешением ... 376
13.1.2. Реагентная нейтрализация ... 377
13.1.3. Нейтрализация кислых сточных вод путем их фильтрования через нейтрализующие материалы ... 378
13.1.4. Нейтрализация щелочных сточных вод кислыми газами ... 378
13.2. Окислительный метод очистки сточных вод ... 379
13.2.1. Окисление реагентами, содержащими активный хлор... 380
13.2.2. Окисление пероксидом водорода ... 382
13.2.3. Окисление кислородом воздуха ... 382
13.2.4. Озонирование ... 383
13.2.5. Окисление перманганатом калия ... 383
13.2.6. Радиационное окисление ... 384
13.3. Очистка восстановлением ... 384
13.4. Реагентные методы выделения загрязняющих веществ в виде малорастворимых и нерастворимых соединений ... 386
Контрольные вопросы ... 390

Глава 14. Биохимические методы очистки сточных вод ... 391
14.1. Основные показатели ... 391
14.2. Закономерности распада органических веществ ... 392
14.3. Очистка сточных вод в природных условиях ... 400
14.3.1. Поля орошения ... 400
14.3.2. Биологические пруды ... 401
14.4. Очистка в биофильтрах ... 402
14.5. Очистка в аэротенках ... 403
14.6. Окситенки ... 407
14.7. Анаэробные методы биохимической очистки ... 409
14.8. Технологические показатели работы биологических очистных сооружений (БОС) ... 413

14.9. Обработка осадков в процессе очистки сточных вод 414
Контрольные вопросы 417
Задачи для самостоятельного решения 418

Глава 15. Термические методы очистки сточных вод 419
15.1. Концентрирование сточных вод 419
15.2. Испарительные установки 420
15.3. Расчет выпарного аппарата 428
15.4. Другие методы обезвреживания вредных веществ из концентрированных растворов 432
Контрольные вопросы 435

Глава 16. Процессы и аппараты защиты литосферы (переработка твердых отходов) 436
16.1. Классификация твердых отходов 436
16.1.1. Федеральный классификационный каталог отходов.... 442
16.1.2. Международная классификация твердых отходов..... 452
16.2. Административное и правовое регулирование обращения с твердыми отходами 456
Контрольные вопросы 459

Глава 17. Полигонное захоронение отходов. Устройство полигонов для складирования ТБО 460
17.1. Депонирование ТБО на свалках и полигонах 460
17.2. Требования законов РФ к размещению отходов на поверхности земли 461
17.3. Полигоны для размещения ТБО 463
17.4. Утилизация свалочного газа 464
17.5. Изоляция полигонов 471
17.6. Увеличение срока службы полигонов 474
17.7. Полигоны ТБО в директивах Европейского союза 476
17.8. Процедуры депонирования отходов 478
17.9. Работа полигона 480
17.10. Закрытие и рекультивация полигона 482
17.11. Выполнение курсового проекта по полигонному депонированию твердых отходов 483
17.11.1. Этапы проектирования полигона 483
17.11.2. Выбор участка под строительство полигона 483
17.11.3. Проект полигона ТБО 485
17.11.4. Расчет необходимой площади отвода участка земли для строительства полигона захоронения ТБО 485
17.11.5. Организация сбора отходов 485
17.11.6. Расчет годовой нормы накопления ТБО 486
17.11.7. Определение проектной вместимости полигона 487
17.11.8. Расчет требуемой площади земельного участка для размещения полигона. Схема полигона 489
17.11.9. Проектирование участка складирования 490
Контрольные вопросы 511

Глава 18. Переработка и утилизация твердых отходов 513
18.1. Безопасность жизнедеятельности в сфере переработки и утилизации твердых отходов 513
18.2. Основные принципы переработки отходов 515
18.3. Современные решения по переработке твердых бытовых отходов 519
18.4. Предварительная сортировка и переработка твердых отходов... 521
18.4.1. Измельчение 522
18.4.2. Выбор и расчет дробилок 531
18.4.3. Другие методы измельчения 532
18.4.4. Грохочение 533
18.4.5. Окускование 538
18.4.6. Гравитационное обогащение твердых отходов 539
18.4.7. Электрические и магнитные методы обогащения 548
18.4.8. Физико-химическое разделение компонентов с участием жидкой фазы 557
18.5. Санитарная земляная засыпка 558
18.6. Сжигание 559
18.7. Биотермическое компостирование 561
Контрольные вопросы 565

Приложения 567
Литература 587

Предисловие

Грандиозные масштабы производственной деятельности человека привели к большим позитивным изменениям в мире — созданию мощного промышленного и сельскохозяйственного потенциала, мелиорации больших земельных площадей и, как следствие, созданию систем искусственного климата. Однако вместе с этим в XX в. резко ухудшилось состояние окружающей среды, что выразилось в глобальном загрязнении атмосферы, водоемов и почвы твердыми, жидкими и газообразными отходами различных производств. Кроме того, постоянно происходит истощение невозобновляемых природных ресурсов, и в первую очередь это касается полезных ископаемых и пресной воды. Поэтому защита окружающей среды от загрязнений стала одной из насущных проблем человечества.

Для сокращения выбросов загрязнений в биосферу и поддержания качества окружающей среды на должном уровне академиками Н. Н. Семеновым и И. В. Соколовым-Петряновым выдвинута концепция безотходной (малоотходной) технологии. Эта концепция подразумевает такое производство, при котором минимизируется объем газообразных, жидких, твердых и тепловых отходов при переработке природного сырья. Это связано в первую очередь с разработкой таких технологий переработки, в которых используется замкнутая система водооборота, а также практически полная рекуперация (улавливание и использование) газообразных отходов производства.

В настоящее время в системе экологического образования России появилась новая технологическая специальность — 28020265 «Инженерная защита окружающей среды», в которой согласно общеобразовательному стандарту введен предмет «Процессы и аппараты защиты окружающей среды».

Процессы и аппараты защиты окружающей среды являются составной частью науки о процессах и аппаратах химической технологии. Данная наука находится в стадии интенсивного фундаментального, прикладного и методологического развития. Научные успехи в настоящее время, прежде всего, связаны с существенным углублением физических представ-

лений о механизме процессов, математизацией и компьютеризацией. Ускорение промышленного развития в мире обусловлено острыми энергетическими, сырьевыми и экологическими проблемами, а также появившимися возможностями интенсификации и совмещения технологических процессов, оптимизации проектирования, управления аппаратурой и реализацией ряда новых технологий. Методологические изменения поставили перед высшей школой задачи подготовки специалистов широкого профиля, способных не только представлять сложные физико-химические процессы в виде уравнений, но и воплощать их в конкретном аппаратурно-технологическом оформлении, обеспечивающем строгие требования к целевым продуктам, ресурсосбережению и экологической безопасности производства.

В соответствии с общеобразовательным стандартом выпускник этой специальности должен хорошо представлять себе, что человек — это часть природы, и в этом отношении является неправомерным противопоставление природы и человека как внешних сил по отношению друг к другу. А раз это так, то и появление в недрах человеческого общества техники — закономерное явление в процессе эволюции планеты Земля. Поэтому главные усилия инженера-эколога на сегодняшний день должны быть направлены на гармоничное развитие природы и техники, которое возможно только в результате научно обоснованного компромисса между объектами природы и социальной деятельностью человека. Ответственность за такой компромисс лежит на инженерной экологии — многопрофильной области знания о законах природосберегающего формирования техносферы планеты и ее сбалансированного безопасного экологического развития. Пособие предназначено для студентов всех направлений и специальностей высшего профессионального образования для углубленного изучения материала курса, а также выполнения практических и лабораторных работ по расчету средств защиты от опасных и вредных факторов техносферы и природной среды.

В конце книги дается список литературы, включающий монографии и учебные пособия, написанные известными экологами, химиками-технологами, инженерами-металлургами и инженерами-обогатителями.

В результате изучения данной дисциплины студент должен:

знать

- основы проектирования технических объектов;

• основные виды механизмов, методы исследования и расчета: их кинетических и динамических характеристик;

• методы расчета на прочность и жесткость типовых элементов различных конструкций;

• принципы построения и функционирования электрических машин, цепей и электронных схем;

• основные техносферные опасности и их свойства и характеристики, характер воздействия вредных и опасных факторов на человека и природную среду, методы защиты от них;

• теоретические основы обеспечения безопасности жизнедеятельности;

• действующую систему нормативно-правовых актов в области техносферной безопасности;

• систему управления безопасностью в техносфере;

уметь

• применять действующие стандарты, положения и инструкции по оформлению технической документации;

• применять методы расчета и конструирования деталей и узлов механизмов;

• проводить расчеты деталей машин по критериям работоспособности и надежности;

• применять принципы построения, анализа и эксплуатации электрических сетей, электрооборудования и промышленных электронных приборов;

• идентифицировать основные опасности среды обитания человека, оценивать риск их реализации, выбирать методы защиты от опасностей и способы обеспечения комфортных условий жизнедеятельности;

• проводить аэро- и гидромеханические, тепло- и массообменные расчеты аппаратов и процессов в биосфере;

владеть

• навыками разработки и оформления эскизов деталей машин, изображения сборочных единиц, сборочного чертежа изделия, составлять спецификацию, в том числе с использованием машинной графики;

• навыками изображения пространственных объектов на плоских чертежах;

• навыками использования методов теоретической механики, теории механизмов и машин, сопротивления материалов, деталей машин, основ конструирования при решении практических задач;

• методами теоретического и экспериментального исследования в механике, гидромеханике, теплотехнике, электротехнике и электронике;

• законодательными и правовыми актами в области безопасности и охраны окружающей среды, требованиями к безопасности технических регламентов;

• методами оценки экологической ситуации.

В учебном пособии использованы работы таких известных экологов, химиков-технологов, инженеров-металлургов и инженеров-обогатителей, как А. Г. Касаткин, К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков, Н. Н. Моисеев, В. В. Крапухин, С. Б. Старк, Л. Я. Шубов, А. И. Родионов, В. Н. Клушин, В. Г. Систер, П. П. Кукин, В. Д. Самыгин, Н. Ф. Пантелеева и др. Ссылки на использованные источники приводятся в конце учебника.

Глава 1
ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В результате изучения данной главы студент должен:

знать

• современную экологическую ситуацию в мире;

• действующую систему нормативно-правовых актов в области техносферной безопасности;

уметь

• применять действующие законодательно-правовые акты, положения и инструкции в области безопасности и охраны окружающей среды;

владеть

• комплексным организационно-правовым подходом к решению проблемы безопасности природной среды.

1.1. Экологическая ситуация в мире

За 4 млрд лет существования планеты Земля пришли в равновесие происходящие в природе процессы. Установился кругооборот основных элементов органического мира (C, O, H, N) и многих других. На высоте 20—25 км сформировался озоновый слой, защищающий биологический мир от ультрафиолетового излучения. Однако появление человека и его жизнедеятельность внесли дисбаланс в установившееся термодинамическое равновесие. Нарушение равновесия связано, прежде всего, с ростом численности населения планеты в XX — начале XXI в. с 1,5 до 7 млрд человек. Кроме того, каждые 15 лет происходит удвоение объемов производства. Растет номенклатура используемых элементов. Если в 1869 г. было известно 62 элемента, из которых использовали лишь 35, то к 2013 г. число открытых элементов выросло до 111, из них находят применение уже 90.

В настоящее время объем производства определяется получением различных металлов (примерно 800 млрд т в год),

добычей полезных ископаемых (примерно 100 млрд т), производством синтетических материалов (около 60 млрд т). На поля ежегодно вывозится до 500 тыс. т химических удобрений, из них 40 тыс. т — вредных для здоровья человека, а 12 тыс. т — ядовитых. Кроме того, в мире производится большое количество энергии, которое удваивается каждые 12 лет. Это приводит к тепловыделению порядка 10^{13} Вт (для сравнения: излучение Солнца составляет 10^{17} Вт). Большое тепловыделение наряду с выбросом в атмосферу около 12 млрд т диоксида углерода влияет на климат Земли и приводит к появлению так называемого парникового эффекта. Последнее грозит таянием гренландских ледников и затоплением земной поверхности.

Использование атомной энергии связано с опасностью радиоактивного заражения в результате различных аварий, подобных чернобыльской (СССР — 1986 г.) и аварии на атомной станции в городе Фукусима (Япония — 2011 г.). При этом обостряется проблема захоронения радиоактивных отходов.

В результате жизнедеятельности человека ежегодно в атмосферу выбрасывается:

- 250 млн т пыли;
- 200 млн т окиси углерода;
- 50 млн т оксидов азота;
- 50 млн т различных углеводородов.

Из-за выброса фреона реальна возможность нарушения озонового слоя, что может привести к массовой гибели организмов под действием жесткого ультрафиолета. Большое количество выбросов возвращается на Землю вместе с осадками в виде так называемых «кислотных» дождей, загрязняющих водоемы.

Большое значение в жизни человека имеет вода. Около 13% речных вод потребляет человек. Однако в результате его жизнедеятельности в водоемы сбрасывается 700 млрд $м^3$ сточных вод, загрязненных ядовитыми веществами (тяжелыми металлами, кислотами и органическими соединениями). Кроме того, в воды ежегодно сбрасывается 17 млрд т твердых отходов, которые уносятся в моря и океаны. Водоемы пересыхают, засоряются и засоляются (Аральское море, Азовское море, Байкал, залив Кара-Богаз-Гол).

Серьезной проблемой является низкий коэффициент использования природного сырья. Так, при производстве металла 2/3 добытого сырья уходит в отходы. Причем даже из произведенной стали 25% также уходит в отходы.

В ухудшение экологии свою лепту вносит и производство материалов электронной техники. Используемые вредные вещества As, P, Hg, Pb, Cd, Te и их соединения, HCl и другие кислоты, органические растворители, к сожалению, нередко попадают в среду обитания человека.

Сегодня экологическую ситуацию в мире можно охарактеризовать как близкую к критической. Среди глобальных экологических проблем можно отметить следующие:

• уничтожены и продолжают уничтожаться тысячи видов растений и животных;

• в значительной мере истреблен лесной покров;

• стремительно сокращается имеющийся запас полезных ископаемых;

• Мировой океан не только истощается в результате уничтожения живых организмов, но и перестает быть регулятором природных процессов;

• атмосфера во многих местах загрязнена до предельно допустимых размеров, а чистый воздух становится дефицитом;

• частично нарушен озоновый слой, защищающий от губительного для всего живого космического излучения.

Экологические проблемы крупных городов связаны с чрезмерной концентрацией на сравнительно небольших территориях населения, транспорта и промышленных предприятий, с образованием антропогенных ландшафтов, очень далеких от состояния экологического равновесия.

Темпы роста населения мира в 1,5—2 раза ниже роста городского населения, к которому сегодня относится 40% людей планеты. За период 1972—2012 гг. население крупных городов выросло в 4, в средних — в 3 и малых — в 2 раза (судя по всем сайтам, тенденция роста урбанизированных зон за последние годы остается на том же уровне). Социально-экономическая обстановка привела к неуправляемости процесса урбанизации во многих странах. Городское население в отдельных странах на 2011 г. по данным *The United Nations Department of Economic and Social Affairs* составляет: Аргентина — 92,6%, Уругвай — 92,6%, Австралия — 89,3%, США — 82,6%, Япония — 67%, Германия — 74%, Швеция — 84,8%. Помимо крупных городов-миллионников, быстро растут городские агломерации или слившиеся города. Таковы Вашингтон — Бостон и Лос-Анжелес — Сан-Франциско в США; города Рура в Германии; Москва, Донбасс и Кузбасс в СНГ. Круговорот вещества и энергии в городах значительно превосходит таковой в сельской местности. Средняя плотность

естественного потока энергии Земли — 180 Вт/м^2, доля антропогенной энергии в нем — 0,1 Вт/м^2. В городах она возрастает до 30—40 и даже до 150 Вт/м^2 (Манхэттен).

Над крупными городами атмосфера содержит в 10 раз больше аэрозолей и в 25 раз больше газов. При этом 60—70% газового загрязнения дает автомобильный транспорт. Более активная конденсация влаги приводит к увеличению осадков на 5—10%. Самоочищению атмосферы препятствует снижение на 10—20% солнечной радиации и скорости ветра. При малой подвижности воздуха тепловые аномалии над городом охватывают слои атмосферы в 250—400 м, а контрасты температуры могут достигать 5—6°С. С ними связаны температурные инверсии, приводящие к повышенному загрязнению, туманам и смогу. Города потребляют в 10 и более раз больше воды в расчете на 1 человека, чем сельские районы, а загрязнение водоемов достигает катастрофических размеров. Объем сточных вод достигает 1 м^2 в сутки на одного человека. Поэтому практически все крупные города испытывают дефицит водных ресурсов и многие из них получают воду из удаленных источников. Водоносные горизонты под городами сильно истощены в результате непрерывных откачек скважинами, колодцами, а кроме того, загрязнены на значительную глубину.

Коренному преобразованию подвергается и почвенный покров городских территорий. На больших площадях, под магистралями и кварталами он физически уничтожается, а в зонах рекреаций — парки, скверы, дворы — сильно уничтожается, загрязняется бытовыми отходами, вредными веществами из атмосферы, обогащается тяжелыми металлами, обнаженность почв способствует водной и ветровой эрозии.

Растительный покров городов обычно практически полностью представлен «культурными насаждениями» — парками, скверами, газонами, цветниками, аллеями. Структура антропогенных фитоценозов не соответствует зональным и региональным типам естественной растительности. Поэтому развитие зеленых насаждений городов протекает в искусственных условиях, постоянно поддерживается человеком. Многолетние растения в городах развиваются в условиях сильного угнетения. Самое опасное загрязнение всей окружающей среды — радиоактивное. Известно, что в начале 1960-х гг. фон искусственной радиоактивности, вызванной испытаниями ядерного оружия, достиг угрожающего уровня. Страшные последствия проявляются уже сейчас.

Для получения электроэнергии конструкторы ядерных реакторов создают достаточно надежную защиту от выделения радиоактивных элементов в окружающую среду. Однако проблему захоронения радиоактивных отходов все еще нельзя считать решенной.

К важнейшим экологическим проблемам относится загрязнение водоемов промышленными и бытовыми стоками. Потребление загрязненной воды служит источником 3/4 всех болезней и 1/3 всех смертельных случаев. Особенно остро проблема чистой питьевой воды стоит в тропических странах, где водоемы часто служат средой размножения паразитов. Очистка сточных вод в подавляющем большинстве государств мира отличается крайним несовершенством. Особенно много «проскакивает» через очистные сооружения неорганических соединений азота, фосфора, калия, минеральных солей, в том числе и солей высокотоксичных металлов. В Англии 90% населения пользуются водой сомнительного качества. Ряд рек имеет воду плохого качества по бактериальным и химическим показателям. Особенно загрязнена река Темза, в которую сбрасываются все сточные воды Лондона. К наиболее загрязненным рекам мира относятся Нил, Амазонка, Дон, Нигер, Миссисипи, Миссури, Конго, Москва-река и др. Основным загрязнителем морей (Средиземное море наиболее загрязненное в этом плане), значение которого быстро возрастает, является нефть. Этот вид загрязнителя попадает в море разными путями: при спуске воды после промывки цистерн из-под нефти, при аварии судов, в особенности нефтевозов, при бурении морского дна и авариях на морских нефтепромыслах. О масштабах загрязнения можно судить по следующим показателям. В Мировой океан сбрасывается более 5% транспортируемой нефти — примерно 10 млн т в год.

Понять природу экологического кризиса в целом и в отдельных ее проявлениях и сделать выводы из допущенных просчетов развития, скорректировать развитие экономики, политики и культуры — вот основные задачи, которые должны решать люди всей планеты. В противном случае экологический кризис перерастет в необратимую экологическую катастрофу с полным разрушением биосферы.

Крайне неблагополучное состояние природопользования диктует необходимость уделять этому вопросу особое внимание человека. В разных странах разработаны соответствующие законодательные документы, регулирующие хозяйственную деятельность, создан общественный контроль (например, движение «зеленых»).

В России существует Комитет по охране природы, в задачу которого входят контроль за действующим производством, апробация внедряемых новых производств. Составляется экологический паспорт производства (газовые, жидкие и твердые отходы, их количество и состав). За выбросы вредных веществ предприятие обязано платить значительные суммы.

При создании предприятия составляется его экологическая карта или паспорт, в котором указываются:

1) общие сведения о предприятии;

2) природно-климатическая характеристика района расположения предприятия;

3) цеха и производственные объекты, которые производят выбросы запрещенных веществ, объемы продукции, технологические схемы с указанием видов и количеств отходов, материального баланса;

4) использование земельных ресурсов, здания, проезды и склады;

5) расход сырья и вспомогательных материалов по видам продукции;

6) расход энергоресурсов по видам продукции;

7) характеристика выбросов в атмосферу, методы их улавливания и утилизации;

8) характеристика водопотребления, водоснабжения и очистки сточных вод на предприятии;

9) характеристика твердых отходов, образующихся на предприятии;

10) характеристика полигонов и накопителей, предназначенных для захоронения (складирования) отходов;

11) рекультивация земель;

12) транспортируемая продукция;

13) плата за выбросы.

Инженерные методы защиты окружающей среды в целом могут быть проиллюстрированы схемой, в которой представлены все основные способы очистки отходов производства от опасных и вредных веществ (рис. 1.1).

1.2. Действующие законодательные требования, предъявляемые к аппаратам очистки природной среды

Нормативно-правовая база охраны окружающей среды определяется Конституцией РФ, федеральными законами, нормативными актами, постановлениями правительства, указами президента, санитарными и строительными норма-

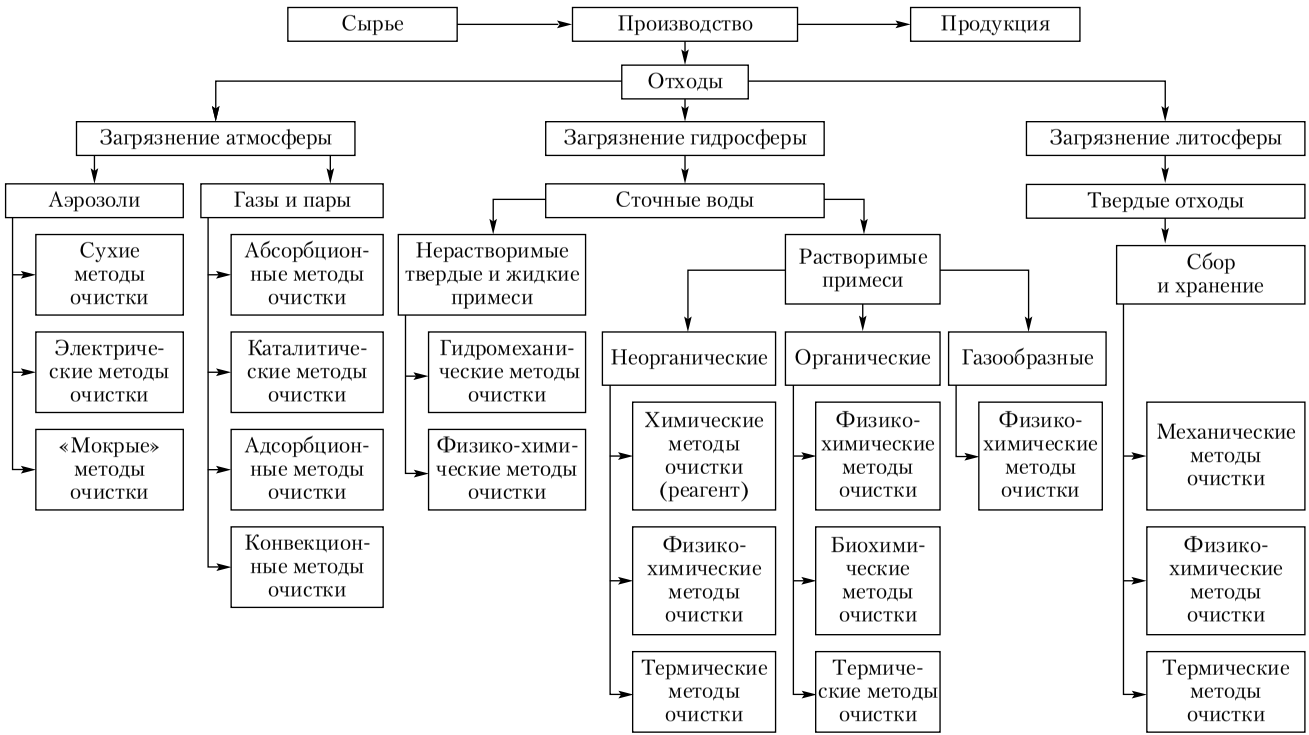

Рис. 1.1. **Схема обезвреживания и переработки промышленных отходов**

ми и правилами. Все граждане Российской Федерации имеют конституционное право на благоприятную окружающую среду. Охрана окружающей среды и обеспечение экологической безопасности регламентируется федеральными законами РФ (Конституция РФ 1993 г.; Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»; Федеральный закон от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»; Федеральный закон от 15.11.1995 г. № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе»; Федеральный закон от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»; Федеральный закон от 04.05.1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха»; Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 г. № 11194-ФЗ).

Атмосферный воздух является одним из основных жизненно важных элементов окружающей среды.

Закон об охране атмосферного воздуха и нормативы предельно допустимых выбросов (ПДВ); СНиП 11.01.1995 г., ОНД-86[1] всесторонне охватывают проблему. Эти документы обобщили требования, выработанные в предшествующие годы и оправдавшие себя на практике. Например, введение правил о запрещении ввода в действие любых производственных объектов (вновь созданных или реконструированных), если они в процессе эксплуатации станут источниками загрязнений или иных отрицательных воздействий на атмосферный воздух. Получили дальнейшее развитие правила о нормировании предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Государственным санитарным законодательством только для атмосферного воздуха были установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) для большинства химических веществ при изолированном действии и для их комбинаций. Большое значение для санитарной охраны атмосферного воздуха имеют выявление новых источников загрязнения воздушной среды, учет проектируемых, строящихся и реконструируемых объектов, загрязняющих атмосферу, контроль за разработкой и реализацией генеральных планов городов, поселков и промышленных узлов в части размещения промышленных предприятий и санитарно-защитных зон.

---

[1] СНиП — строительные нормы и правила; ОНД — общесоюзный нормативный документ.

В Законе об охране атмосферного воздуха предусматриваются требования об установлении нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Такие нормативы устанавливаются для каждого стационарного источника загрязнения, для каждой модели транспортных и других передвижных средств и установок. Они определяются с таким расчетом, чтобы совокупные вредные выбросы от всех источников загрязнения в данной местности не превышали нормативов ПДК загрязняющих веществ в воздухе. Предельно допустимые выбросы устанавливаются только с учетом предельно допустимых концентраций.

1. Основой регулирования качества атмосферного воздуха населенных мест являются гигиенические нормативы — ПДК атмосферных загрязнений химических и биологических веществ, соблюдение которых обеспечивает отсутствие прямого или косвенного влияния на здоровье населения и условия его проживания. Для отдельных веществ допускается использование ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ), для которых устанавливаются сроки их действия.

2. В жилой зоне и на других территориях проживания должны соблюдаться ПДК и 0,8 ПДК — в местах массового отдыха населения, на территориях размещения лечебно-профилактических учреждений длительного пребывания больных и центров реабилитации.

К местам массового отдыха населения следует относить территории, выделенные в генпланах городов, схемах районной планировки и развития пригородной зоны, решениях органов местного самоуправления для организации курортных зон, размещения санаториев, домов отдыха, пансионатов, баз туризма, дачных и садово-огородных участков, организованного отдыха населения (городские пляжи, парки, спортивные базы и их сооружения на открытом воздухе).

3. Предотвращение появления запахов, раздражающего действия и рефлекторных реакций у населения, а также острого влияния атмосферных загрязнений на здоровье в период кратковременных подъемов концентраций обеспечивается соблюдением максимальных разовых ПДК (ПДКмр).

Предотвращение неблагоприятного влияния на здоровье населения при длительном поступлении атмосферных загрязнений в организм обеспечивается соблюдением среднесуточных ПДК (ПДКсс).

Для веществ, имеющих только среднесуточные ПДК при использовании расчетных методов определения степени загрязнения атмосферы, используются ПДКсс.

4. Соблюдение для жилых территорий ПДК, а для зон массового отдыха 0,8 ПДК, обеспечивается с учетом суммации биологического действия веществ или продуктов их трансформации в атмосфере, а также загрязнения атмосферы за счет действующих, строящихся и намеченных к строительству объектов, являющихся источниками загрязнения атмосферного воздуха.

5. Граждане, индивидуальные предприниматели и юридические лица вправе обращаться в органы и учреждения государственной санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации за информацией о качестве атмосферного воздуха.

Очень важны требования Закона, относящиеся к применению средств защиты растений, минеральных удобрений и других препаратов. Все законодательные меры составляют систему профилактического характера, направленную на предупреждение загрязнения воздушного бассейна.

Закон предусматривает не только контроль за выполнением его требований, но и ответственность за их нарушение. Специальная статья определяет роль общественных организаций и граждан в осуществлении мероприятий по охране воздушной среды, обязывает их активно содействовать государственным органам в этих вопросах, так как только широкое участие общественности позволит реализовать положения этого закона. Так, в нем сказано, что государство придает большое значение сохранению благоприятного состояния атмосферного воздуха, его восстановлению и улучшению для обеспечения наилучших условий жизни людей — их труда, быта, отдыха и охраны здоровья.

Предприятия или их отдельные здания и сооружения, технологические процессы которых являются источником выделения в атмосферный воздух вредных и неприятно пахнущих веществ, отделяют от жилой застройки санитарно-защитными зонами. Санитарно-защитная зона для предприятий и объектов может быть увеличена при необходимости и надлежащем обосновании не более чем в 3 раза в зависимости от следующих причин:

а) эффективности предусмотренных или возможных для осуществления методов очистки выбросов в атмосферу;

б) отсутствия способов очистки выбросов;

в) размещения жилой застройки при необходимости с подветренной стороны по отношению к предприятию в зоне возможного загрязнения атмосферы;

г) розы ветров и других неблагоприятных местных условий (например, частые штили и туманы);

д) строительства новых, еще недостаточно изученных вредных в санитарном отношении производств.

Размеры санитарно-защитных зон для отдельных групп или комплексов крупных предприятий химической, нефтеперерабатывающей, металлургической, машиностроительной и других отраслей промышленности, а также тепловых электростанций с выбросами, создающими большие концентрации различных вредных веществ в атмосферном воздухе и оказывающими особо неблагоприятное влияние на здоровье и санитарно-гигиенические условия жизни населения, устанавливают в каждом конкретном случае по совместному решению Минздрава и Госстроя России.

Для повышения эффективности санитарно-защитных зон на их территории высаживают древесно-кустарниковую и травянистую растительность, снижающую концентрацию промышленной пыли и газов. В санитарно-защитных зонах предприятий, интенсивно загрязняющих атмосферный воздух вредными для растительности газами, следует выращивать наиболее газоустойчивые деревья, кустарники и травы с учетом степени агрессивности и концентрации промышленных выбросов. Особо вредны для растительности выбросы предприятий химической промышленности (сернистый и серный ангидрид, сероводород, серная, азотная, фтористая и бромистая кислоты, хлор, фтор, аммиак и др.), черной и цветной металлургии, угольной и теплоэнергетической промышленности.

Контроль загрязнения атмосферы на территории России осуществляется почти в 350 городах. Система наблюдения включает 1200 станций и охватывает почти все города с населением более 100 тыс. жителей и города с крупными промышленными предприятиями.

Средства защиты атмосферы должны ограничивать наличие вредных веществ в воздухе среды обитания человека на уровне не выше ПДК. Во всех случаях должно соблюдаться условие

$$c + c_{ф} \leqslant \text{ПДК} \qquad (1.1)$$

по каждому вредному веществу ($c_{ф}$ — фоновая концентрация).

Соблюдение этого требования достигается локализацией вредных веществ в месте их образования, отводом из помещения или от оборудования и рассеиванием в атмосфере. Ес-