



**МИЭТ**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

**В. Б. Кольцов, О. В. Кольцова**

# **ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ**

УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ ДЛЯ СПО

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

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом среднего профессионального образования в качестве учебника для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования*

**Книга доступна в электронной библиотечной системе  
[biblio-online.ru](http://biblio-online.ru)**

**Москва ■ Юрайт ■ 2016**

УДК 502(075.32)

ББК 20.1я723

К21

**Ответственный редактор:**

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

**Авторы:**

**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;

*Роцин 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 Очистные сооружения : учебник и практикум для СПО / В. Б. Кольцов, О. В. Кольцова ; под общ. ред. В. И. Каракеяна. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 588 с. — Серия : Профессиональное образование.

ISBN978-5-9916-6035-8

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.

*Для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования. Может быть использован при изучении смежных дисциплин, связанных с безопасностью жизнедеятельности и техническими системами, а также работниками природоохранных служб промышленных предприятий.*

УДК 502(075.32)

ББК 20.1я723

ISBN 978-5-9916-6035-8

© Кольцов В. Б., Кольцова О. В., 2014

© ООО «Издательство Юрайт», 2016

# Оглавление

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Предисловие .....</b>   | <b>10</b> |
| <b>Глава 1. Проблемы защиты окружающей среды .....</b>   | <b>14</b> |
| 1.1. Экологическая ситуация в мире .....   | 14        |
| 1.2. Действующие законодательные требования, предъявляемые к аппаратам очистки природной среды .....   | 19        |
| <i>Контрольные вопросы .....</i>   | <i>45</i> |
| <b>Глава 2. Классификация основных процессов защиты окружающей среды на основе физических, химических и физико-химических закономерностей .....</b>  | <b>46</b> |
| 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        |
| <i>Контрольные вопросы .....</i>   | <i>81</i> |
| <i>Задачи для самостоятельного решения .....</i>   | <i>82</i> |
| <b>Глава 3. Методы сепарации пыли из газового потока .....</b>   | <b>84</b> |
| 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        |
| <i>Контрольные вопросы .....</i>   | <i>96</i> |
| <i>Задачи для самостоятельного решения .....</i>   | <i>96</i> |
| <b>Глава 4. Аппараты сухой механической очистки газов .....</b>  | <b>98</b> |
| 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 |
| <i>Контрольные вопросы</i> .....   | 124 |
| <i>Задачи для самостоятельного решения</i> .....   | 125 |

## **Глава 5. Аппараты фильтрующего действия (очистка газов в фильтрах) .....**

|   |     |
|---|-----|
| 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 |
| <i>Контрольные вопросы</i> .....  | 160 |
| <i>Задачи для самостоятельного решения</i> .....  | 161 |

## **Глава 6. Электрическая очистка газов .....**

|  |     |
|--|-----|
| 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 |

|  |            |
|--|------------|
| <i>Контрольные вопросы</i> .....   | 182        |
| <i>Задачи для самостоятельного решения</i> .....   | 183        |
| <b>Глава 7. Аппараты мокрой очистки газов</b> .....  | <b>185</b> |
| 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        |
| <i>Контрольные вопросы</i> .....   | 214        |
| <i>Задачи для самостоятельного решения</i> .....   | 214        |
| <b>Глава 8. Сорбционные методы очистки от вредных газообразных выбросов и использование уловленных компонентов (аппараты химической и физико-химической очистки газов)</b> ..... | <b>216</b> |
| 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        |
| <i>Контрольные вопросы</i> .....   | 248        |
| <i>Задачи для самостоятельного решения</i> .....   | 249        |
| <b>Глава 9. Каталитическая очистка и термическое обезвреживание газов</b> .....  | <b>251</b> |
| 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        |
| <i>Контрольные вопросы</i> .....   | 265        |
| <i>Задачи для самостоятельного решения</i> .....   | 266        |
| <b>Глава 10. Процессы защиты гидросферы (очистка сточных вод)...</b>   | <b>267</b> |
| 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. Обратное водоснабжение .....             | 274        |
| 10.4. Классификация методов очистки сточных вод .....  | 278        |
| <i>Контрольные вопросы</i> .....   | 280        |
| <b>Глава 11. Механические методы очистки сточных вод. Очистка сточных вод от взвешенных частиц .....</b>                         | <b>281</b> |
| 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        |
| <i>Контрольные вопросы</i> .....   | 320        |
| <i>Задачи для самостоятельного решения</i> .....   | 320        |
| <b>Глава 12. Физико-химические методы очистки сточных вод .....</b>  | <b>322</b> |
| 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        |
| <i>Контрольные вопросы</i> .....   | 373        |
| <i>Задачи для самостоятельного решения</i> .....   | 374        |
| <b>Глава 13. Химические методы очистки сточных вод .....</b>   | <b>375</b> |
| 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        |
| <i>Контрольные вопросы</i> .....   | 390        |
| <b>Глава 14. Биохимические методы очистки сточных вод .....</b>  | <b>391</b> |
| 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        |
| <i>Контрольные вопросы</i> .....   | 417        |
| <i>Задачи для самостоятельного решения</i> .....   | 418        |
| <b>Глава 15. Термические методы очистки сточных вод .....</b>  | <b>419</b> |
| 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 кон-<br>центрированных растворов .....                 | 432        |
| <i>Контрольные вопросы</i> .....   | 435        |
| <b>Глава 16. Процессы и аппараты защиты литосферы (переработка<br/>твердых отходов) .....</b>                | <b>436</b> |
| 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<br>с твердыми отходами .....                       | 456        |
| <i>Контрольные вопросы</i> .....   | 459        |
| <b>Глава 17. Полигонное захоронение отходов. Устройство полигонов<br/>для складирования ТБО .....</b>        | <b>460</b> |
| 17.1. Депонирование ТБО на свалках и полигонах .....   | 460        |
| 17.2. Требования законов РФ к размещению отходов на поверх-<br>ности 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 депони-<br>рованию 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<br>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<br>размещения полигона. Схема полигона .....        | 489        |
| 17.11.9. Проектирование участка складирования .....  | 490        |
| <i>Контрольные вопросы</i> .....   | 511        |



|   |            |
|---|------------|
| <b>Глава 18. Переработка и утилизация твердых отходов .....</b>                             | <b>513</b> |
| 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        |
| <i>Контрольные вопросы</i> .....  | 565        |
| <b>Приложения .....</b>   | <b>567</b> |
| <b>Литература .....</b>   | <b>587</b> |

## 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.

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 представлений 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.

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. Издание предназначено для студентов всех направлений и специальностей среднего 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-обогащателями.

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 издании использованы работы таких известных экологов, химиков-технологов, инженеров-металлургов и инженеров-обогащителей, 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 (С, О, Н, 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<sup>3</sup> 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 —  $180 \text{ Вт/м}^2$ , доля антропогенной энергии в нем —  $0,1 \text{ Вт/м}^2$ . В городах она возрастает до  $30\text{--}40$  и даже до  $150 \text{ Вт/м}^2$  (Манхэттен).

Над крупными городами атмосфера содержит в 10 раз больше аэрозолей и в 25 раз больше газов. При этом  $60\text{--}70\%$  газового загрязнения дает автомобильный транспорт. Более активная конденсация влаги приводит к увеличению осадков на  $5\text{--}10\%$ . Самоочищению атмосферы препятствует снижение на  $10\text{--}20\%$  солнечной радиации и скорости ветра. При малой подвижности воздуха тепловые аномалии над городом охватывают слои атмосферы в  $250\text{--}400 \text{ м}$ , а контрасты температуры могут достигать  $5\text{--}6^\circ\text{С}$ . 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  $1 \text{ м}^3$  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 неблагоприятное 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-

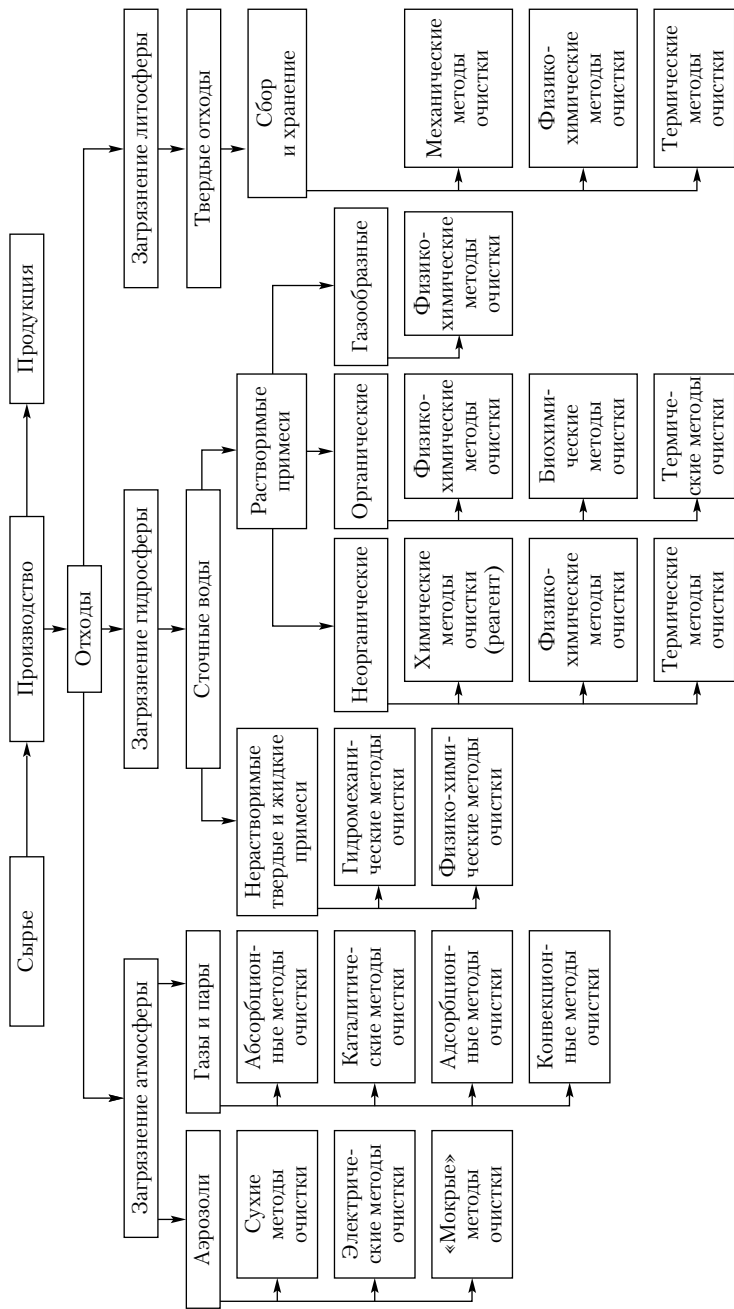


Рис. 1.1. Схема обезвреживания и переработки промышленных отходов

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<sup>1</sup> 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.

---

<sup>1</sup> 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 (ПДК<sub>мр</sub>).

Предотвращение неблагоприятного влияния на здоровье населения при длительном поступлении атмосферных загрязнений в организм обеспечивается соблюдением среднесуточных ПДК (ПДК<sub>сс</sub>).

Для веществ, имеющих только среднесуточные ПДК при использовании расчетных методов определения степени загрязнения атмосферы, используются ПДК<sub>сс</sub>.

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, устанавливаются 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

$$c + c_{\text{ф}} \leq \text{ПДК} \quad (1.1)$$

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

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