



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ВТОРОЕ ИЗДАНИЕ



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Под редакцией
доктора физико-математических наук,
профессора *Л.А. Муравья*

Второе издание,
переработанное и дополненное

*Рекомендовано Министерством образования
Российской Федерации в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений*

*Рекомендовано Учебно-методическим центром
«Профессиональный учебник» в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений*



Москва •

УДК 614.8(075.8)

ББК 68.9я73

Б40

Рецензенты:

д-р биол. наук, проф. *В.А. Абакумов*

(Институт глобального климата и экологии РАН);

д-р биол. наук, проф. *И.И. Судницын*

(Международный университет природы, общества и человека «Дубна»);

д-р юрид. наук, проф. *Х.А. Андриашин*

(Юридический институт МВД РФ);

д-р техн. наук, проф. *Б.В. Прыкин*

Главный редактор издательства

кандидат юридических наук, доктор экономических наук *Н.Д. Эриашвили*

Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие для вузов
Б40 /Под ред. проф. Л.А. Муравья. — 2-е изд., перераб. и доп. —
М.: ЮНИТИ-ДАНА, — 431 с.

ISBN 5-238-00352-8

Приведены основные понятия, определения и термины безопасности жизнедеятельности. Сформулированы основы экологической безопасности человека, а также гарантия безопасности (полная безопасность, локальная безопасность, условно-безопасная ситуация, опасная ситуация); понятия опасности, риска и чрезвычайной ситуации. Анализируются вопросы охраны окружающей среды в качестве основы безопасности жизнедеятельности. Рассматриваются вопросы поддержания оптимального состояния среды обитания человека в зонах труда, быта и отдыха, а также безопасности жизнедеятельности населения и территорий в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного происхождения. Особое внимание уделяется мониторингу как инструменту оценки среды, необходимой для обеспечения безопасности жизнедеятельности.

Для студентов и преподавателей высших и средних специальных учебных заведений, руководителей предприятий и организаций, специалистов государственных и муниципальных служб, а также широкого круга читателей. (1-е изд. «Экология и безопасность жизнедеятельности» — ЮНИТИ, 2000)

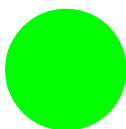
ББК 68.9я73

ISBN 5-238-00352-8

© Коллектив авторов, 2000, 2002

© ИЗДАТЕЛЬСТВО ЮНИТИ-ДАНА, 2000, 2002

Воспроизведение всей книги или любой ее части запрещается без письменного разрешения издательства



Оглавление

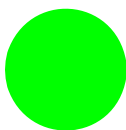


Предисловие	9
Раздел 1. Основы экологии	11
Глава 1. Основные понятия, законы и концепции	13
1.1. Концепция экосистемы	13
1.2. Популяция как элемент экосистемы	30
1.3. Человек и биосфера	37
Глава 2. Мониторинг окружающей среды	42
2.1. Понятие экологического мониторинга и его задачи	42
2.2. Классификация мониторинга	43
2.3. Критерии оценки качества окружающей среды	49
Глава 3. Экотоксикология	54
3.1. Загрязнение окружающей среды токсикантами и количественные критерии оценки его фактического уровня	54
3.2. Токсиканты и их специфические биогеохимические особенности	61
3.3. Понятие токсичности и канцерогенности элементов и соединений	65
Раздел 2. Охрана окружающей среды	73
Глава 4. Защита биосферы от загрязнений	75
4.1. Основные виды загрязнений природной среды	75
4.2. Защита атмосферы	76
4.3. Защита гидросферы	91
4.4. Охрана литосферы	108
Глава 5. Основы рационального природопользования	114
5.1. Основные понятия	114
5.2. Безотходные и малоотходные производства	115
5.3. Основные принципы создания безотходных производств	118
5.4. Безотходное потребление	120

Глава 6. Экологический менеджмент	124
6.1. Понятие, предмет и функции экологического менеджмента	124
6.2. Социоприродная экосистема как объект экологического контроля	125
6.3. Экологическая безопасность	128
6.4. Формирование механизмов природопользования в рыночной экономике	130
6.5. Главный подход к оценке стоимости биотических компонентов экосистем	135
6.6. Управление естественными и социоприродными экосистемами	139
6.7. Экологическое сопровождение хозяйственной деятельности	144
6.8. Экологический менеджмент на предприятии	145
6.9. Структурная перестройка и экологизация экономики	146
6.10. Источники финансирования природоохранной деятельности	149
Глава 7. Экологический маркетинг	152
7.1. Маркетинговый механизм управления охраной окружающей среды	152
7.2. Основные маркетинговые подходы в области экологии	155
7.3. Экологический аудит в системе маркетинга	162
Глава 8. Экологическое право	165
8.1. Понятие, предмет и источник экологического права	165
8.2. Экологические правонарушения	166
8.3. Правовой режим природопользования и охраны окружающей среды	168
8.4. Виды ответственности за экологические правонарушения	177
Раздел 3. Моделирование в экологии	183
Глава 9. Динамические модели	185
9.1. Понятие моделирования	185
9.2. Динамика популяций	186
9.3. Простейшая модель эпидемии	193
9.4. Матричные модели	196
Глава 10. Стохастические модели	201
10.1. Случайные процессы при описании популяций	201
10.2. Случайные изменения среды	204

Глава 11. Оптимизационные и игровые модели	210
11.1. Задачи об оптимальном рационе питания	210
11.2. Задача поиска	214
11.3. Игровые модели	218
Глава 12. Системный анализ и управление в экологии	229
12.1. Общее представление о системном анализе	229
12.2. Основные этапы системного анализа	229
12.3. Комплексная схема системного анализа	232
12.4. Задача управления водохранилищем	233
12.5. Управление водной системой	237
<i>Библиографический список к разделам 1—3</i>	242
Раздел 4. Безопасность труда	245
Глава 13. Опасные и вредные производственные факторы. Общие понятия	247
Глава 14. Влияние на организм человека метеорологических условий	253
14.1. Основные параметры микроклимата в производственных помещениях	253
14.2. Создание требуемых параметров микроклимата в производственных помещениях	260
Глава 15. Воздействие на организм человека вредных веществ, содержащихся в воздухе рабочей зоны	269
15.1. Виды вредных веществ	269
15.2. Оздоровление воздушной среды	272
Глава 16. Производственное освещение	279
16.1. Основные характеристики производственного освещения	279
16.2. Создание требуемых условий освещения на рабочем месте	282
Глава 17. Защита от шума, ультра- и инфразвука, вибрации	291
17.1. Действие шума, ультра- и инфразвука, а также вибрации на организм человека	291
17.2. Основные методы борьбы с шумом, инфра- и ультразвуком и вибрацией	305
Глава 18. Защита от электромагнитных полей и лазерного излучения	316

Глава 19. Защита от ионизирующих излучений	328
19.1. Основные характеристики ионизирующих излучений	328
19.2. Защита от действия ионизирующих излучений	337
Глава 20. Электробезопасность и молниезащита зданий и сооружений	344
20.1. Основные понятия	344
20.2. Защита человека от поражения электрическим током	355
20.3. Молниезащита	369
20.4. Оказание первой помощи пораженному электрическим током	371
Глава 21. Безопасность работы оборудования под давлением выше атмосферного	374
Глава 22. Пожарная и взрывная безопасность	380
22.1. Основные понятия	380
22.2. Основные способы тушения пожаров	387
Глава 23. Основные требования безопасности к промышленному оборудованию	394
Глава 24. Обеспечение безопасности при работе с компьютером	399
Раздел 5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	405
Глава 25. Обеспечение безопасности жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях	407
25.1. Основные понятия	407
25.2. Классификация чрезвычайных ситуаций	413
25.3. Причины и стадии техногенных катастроф	418
25.4. Устойчивость работы объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях	420
25.5. Основные принципы и способы обеспечения безопасности населения в чрезвычайных ситуациях	425
25.6. Ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций	428
Глава 26. Правовые и организационные основы безопасности жизнедеятельности	434
26.1. Основные законодательные документы	434
26.2. Правовые и организационные аспекты обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях	440
26.3. Организационные вопросы безопасности труда	442
<i>Библиографический список к разделам 4—5</i>	446



Предисловие



Идея ноосферы, ответственности человека за судьбу биосферы, а следовательно, и за будущее человечества, сформулированная нашим соотечественником В.И. Вернадским, родилась в качестве альтернативы воззрению на мир как на безграничную кладовую ресурсов.

Сегодня нет острой необходимости доказывать, что принцип потребления, точнее, условия природно-материальной жизни общества, послужившие его основанием, по существу уже исчерпаны. Изменения в биосфере, являющиеся результатом активной человеческой деятельности в нынешнем столетии (повышение температуры поверхности Земли, глобальное загрязнение воды, воздуха и почвы, опустынивание планеты, загрязнение Мирового океана, разрушение озонового слоя), известны сейчас каждому человеку. Поэтому современные концепции природопользования должны базироваться на принципах гармоничной оптимизации условий взаимодействия человека с природой.

В учебном пособии, предлагаемом студентам вузов и колледжей, детально изложены основные аспекты глобальных экологических проблем второй половины XX столетия. Специфической особенностью данного учебного пособия является то, что при изложении основ экологии существенное место отводится математическим моделям, описывающим природные процессы, поддающиеся формализации.

Учение о ноосфере включает в себя в качестве необходимого компонента вопросы безопасности жизнедеятельности. Соответственно этому учебное пособие содержит разделы, в которых тематика безопасного взаимодействия человека со средой его обитания (природная, производственная, бытовая) объединена с вопросами защиты человека от негативных факторов чрезвычайных ситуаций.

Качество окружающей среды и анализ потенциальных возможностей ее основных экологических составляющих предлагают четкую организацию мониторинга системы наблюдений и контроля за ее состоянием. При этом токсикологические аспекты

всестороннего анализа окружающей среды в условиях современного экологического кризиса приобретают особую значимость.

Новацией учебного пособия являются главы «Экологический менеджмент» и «Экологический маркетинг». Здесь анализируются социоприродная система как объект экологического контроля и управления, а также проблема экологической безопасности и механизм управления ею.

Жизнь заставляет общество создать систему внешнего регулирования — систему норм прав, охраняемых силой государства. Эти вопросы подробно излагаются в главе «Экологическое право».

Авторский коллектив

- Л.А. Муравей,** директор департамента МАТИ — Российского Государственного Технологического Университета им. К.Э. Циолковского, чл.-корр. РЭА, д-р физ.-мат. наук, проф. (гл. 6, 9—12)
- Ю.Г. Юровицкий,** ведущий научный сотрудник Института биологии развития РАН, д-р биол. наук, проф. МАТИ (гл. 1, 6)
- О.С. Шорина,** доц. кафедры промышленной экологии МАТИ, канд. биол. наук (§ 2.3, гл. 4, 5)
- Л.А. Кривошеин,** доц. кафедры промышленной экологии МАТИ, канд. техн. наук (гл. 13—26)
- Н.Н. Роева,** зав. сектором Института глобального климата и экологии, зав. кафедрой Московского государственного заочного института пищевой промышленности, чл.-корр. РЭА, д-р хим. наук, проф. (гл. 3, § 2.1, 2.2)
- Н.Д. Эриашвили,** канд. ист. наук, проф. Московского заочного юридического института (гл. 10, 11)
- В.А. Яковлев,** ректор Кубанского института международного предпринимательства и менеджмента, д-р экон. наук, проф. (гл. 6)



Раздел 1

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ



Мы не унаследовали Землю наших отцов. Мы взяли ее в долг у наших детей.

(Из материалов ООН)

**Глава 1. Основные понятия, законы
и концепции**

**Глава 2. Мониторинг окружающей
среды**

Глава 3. Экотоксикология

1

Основные понятия, законы и концепции



1.1. Концепция экосистемы

Термин «экология» (от греч. «*Ойкос*» — дом, жилище и «*логос*» — наука) был предложен более 100 лет назад выдающимся немецким естествоиспытателем Эрнстом Геккелем.

В буквальном смысле **экология** — это наука об условиях существования живых организмов, их взаимодействиях между собой и окружающей средой.

Экология — также междисциплинарное системное научное направление [27, 32]. Возникнув на почве биологии, оно включает в себя концепции, технологии математики, физики, химии. Но экология и гуманитарная наука, поскольку от поведения человека, его культуры во многом зависит судьба биосферы, а вместе с ней и человеческой цивилизации.

В зависимости от специфики решаемых экологических задач существуют ее разнообразные прикладные направления: инженерная, медицинская, химическая, космическая экология, агро-экология, экология человека и т.д.

Что является предметом исследования экологии? Экология изучает организацию и функционирование живых систем более сложных, чем организм, т. е. надорганизменных систем. Эти системы получили название экологических систем или экосистем.

Экосистема — это безразмерная устойчивая система живых и неживых компонентов, в которой совершается внешний и внутренний круговорот вещества и энергии [27]. В качестве примеров можно привести лесные экосистемы, почвы, гидросферу и т.д.

Самой крупной экосистемой, предельной по размерам и масштабам, является биосфера. Биосферой называют активную оболочку Земли, включающую все живые организмы Земли и находящуюся во взаимодействии с неживой средой (химической и физической) нашей планеты, с которой они составляют еди-

ное целое. Биосфера нашей планеты существует 3 млрд лет, она растет и усложняется наперекор тенденциям холодной энтропийной смерти; она несет разумную жизнь и цивилизацию. Биосфера существовала задолго до появления человека и может обойтись без него. Напротив, существование человека невозможно без биосферы.

Все остальные экосистемы находятся внутри биосферы и являются ее подсистемами. Крупная региональная экосистема, характеризующаяся каким-либо основным типом растительности, называется *биомом*. Например, биом пустыни или влажного тропического леса. Гораздо меньшей системой является *популяция*, включающая группу особей одного вида, т. е. единого происхождения, занимающая определенный участок. Более сложной системой, чем популяция, является *сообщество*, которое включает все популяции, занимающие данную территорию. Таким образом, популяция, сообщество, биом, биосфера располагаются в иерархическом порядке от малых систем к крупным.

Важное следствие иерархической организации состоит в том, что по мере объединения компонентов в более крупные функциональные единицы на новых ступенях иерархической лестницы возникают новые свойства, отсутствующие на предыдущих ступенях. Эти свойства нельзя предсказать исходя из свойств компонентов, составляющих новый уровень. Этот принцип получил название *эмерджентности*. Суть его: *свойства целого невозможно свести к сумме свойств его частей*. Например, водород и кислород, находящиеся на атомарном уровне, при соединении образуют молекулу воды, обладающую уже совершенно новыми свойствами. Другой пример. Некоторые водоросли и кишечнополостные образуют систему коралловых рифов. Огромная продуктивность и разнообразие коралловых рифов — эмерджентные свойства, характерные только для рифового сообщества, но никак не для его компонентов, живущих в воде с низким содержанием биогенных элементов.

Деятельность организмов в экосистеме приспособливает геохимическую среду к своим биологическим потребностям. Тот факт, что химический состав атмосферы и сильно забуференная физическая среда Земли резко отличаются от условий на любой другой планете Солнечной системы, позволил сформулировать гипотезу Геи [49]. Согласно этой гипотезе именно живые организмы создали и поддерживают на Земле благоприятные для жизни условия. В

табл. 1.1 представлен сравнительный анализ состава атмосферы Земли, Марса, Венеры, а также гипотетической атмосферы, которая имела бы на Земле до появления жизни.

Т а б л и ц а 1.1. Состав атмосферы планет Солнечной системы

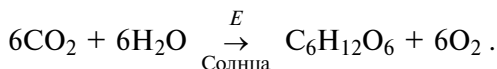
<i>Содержание газов в атмосфере, %</i>	<i>Марс</i>	<i>Венера</i>	<i>Земля без жизни</i>	<i>Земля</i>
Двуокись углерода	95	98	98	0,03
Азот	2,7	1,9	1,9	79
Кислород	0,13	Следы	Следы	21
Температура поверхности, °С	-53	477	290	13

Скорее всего зеленые растения и некоторые микроорганизмы сыграли основную роль в формировании земной атмосферы с ее высоким содержанием кислорода и низким содержанием углекислого газа. Гипотеза Геи подчеркивает важность изучения и сохранения этих регулирующих механизмов, которые позволяют атмосфере приспосабливаться к загрязнениям, обусловленным деятельностью человека.

В состав экосистемы входят следующие компоненты:

- неорганические вещества (С, O₂, N₂, P, S, CO₂, H₂O и др.), которые включаются в круговороты веществ;
- органические соединения (белки, углеводы, липиды и др.), связывающие биотическую (живую) и абиотическую (неживую) компоненты экосистемы;
- воздушная, водная и субстратная среды, включающие климатический режим и другие физические факторы;
- продуценты, автотрофные (самопитающиеся) организмы, в основном зеленые растения, которые, используя энергию солнечного света, синтезируют органические вещества из углекислого газа и воды;
- консументы первого порядка (растительноядные животные) и второго порядка (хищники), гетеротрофные организмы, в основном животные, питающиеся другими организмами;
- редуценты или деструкторы, в основном бактерии и грибы, живущие за счет разложения тканей умерших организмов.

Образование органических веществ зелеными растениями при использовании энергии солнечного света происходит в процессе фотосинтеза:



У зеленых растений H_2O окисляется с образованием газообразного кислорода O_2 , при этом CO_2 восстанавливается до органических веществ (в приведенном уравнении органическое вещество — глюкоза). У фотосинтезирующих бактерий синтезируются органические вещества, но не образуется кислород. Дыхание — процесс, обратный фотосинтезу, при котором органические вещества окисляются с помощью атмосферного кислорода.

Редуценты, разлагая отмершие остатки организмов, освобождают биогенные элементы (C, O_2 , N_2 , P, S и др.), которые поступают в круговорот, необходимый для существования экосистем.

Каждый год продуцентами на Земле создается около 100 млрд т органического вещества, что составляет *глобальную продукцию* биосферы. За этот же промежуток времени приблизительно такое же количество живого вещества, окисляясь, превращается в CO_2 и H_2O в результате дыхания организмов. Этот процесс называется *глобальным распадом*. Но этот баланс существовал не всегда. Примерно 1 млрд лет назад часть образуемого продуцентами вещества не расходовалась на дыхание и не разлагалась, так как в биосфере еще не было достаточного числа консументов. В результате этого органическое вещество сохранялось и задерживалось в осадках. Преобладание синтеза органических веществ над их разложением привело к уменьшению в атмосфере Земли углекислого газа и накоплению кислорода. Около 300 млн лет назад особенно большой избыток органической продукции привел к образованию горючих ископаемых, за счет которых человек позже совершил промышленную революцию. А более чем 60 млн лет назад выработалось колеблющееся стационарное соотношение между глобальной продукцией и распадом.

Однако за последние полвека в результате хозяйственной деятельности человека, связанной главным образом со сжиганием горючих ископаемых, концентрация CO_2 в атмосфере повысилась, а O_2 — уменьшилась, что создает критическую ситуацию

для устойчивости атмосферы. Таким образом, важнейшей характеристикой экосистем является *круговорот веществ*, определяемый глобальной продукцией и распадом.

Следующей важнейшей характеристикой экосистем является их кибернетическое поведение. *Кибернетическое поведение экосистем* определяется тем, что они обладают развитыми информационными сетями, включающими потоки физических и химических сигналов, которые связывают все части экосистемы и управляют ею как единым целым. Отличие экосистем от кибернетических устройств, созданных человеком, заключается в том, что управляющие функции экосистемы сосредоточены внутри нее и диффузны. В кибернетических же системах, созданных человеком, управляющие функции направлены вовне и специализированы.

При сравнении кибернетической системы с экосистемой можно найти нечто общее. В той и другой управление основано на обратной связи. Известно, что энергия обратной связи крайне мала по сравнению с инициируемой ею энергией, которая возбуждается в системе, идет ли речь о техническом устройстве, организме или экосистеме. Устройства, осуществляющие обратную связь в живых системах, называются *гомеостатическими механизмами*. *Гомеостаз* в применении к организму означает поддержание его внутренней среды и устойчивость его основных физиологических функций. В применении к экосистеме гомеостаз означает сохранение ее постоянного видового состава и числа особей. Гомеостатические механизмы поддерживают стабильность экосистем, предупреждая полное выедание растений травоядными животными или катастрофические колебания численности хищников и их жертв и т.д.

Степень стабильности экосистем весьма различна и зависит как от жесткости окружающей среды, так и от эффективности внутренних управляющих механизмов. При этом выделяют два типа устойчивости:

- *резистентная устойчивость* – способность оставаться в устойчивом состоянии под нагрузкой. Так, лес из секвойи (высота деревьев выше 100 м, диаметр 6–11 м) устойчив к пожарам, поскольку эти деревья среди сородичей обладают самой толстой корой, содержат десятки тонн воды и т.д. Но если этот лес все-таки сгорит, то восстанавливается очень медленно;

- *упругая устойчивость* (противоположна резистентной) — способность быстро восстанавливаться. Так, заросли кустарника чапарала легко выгорают, но быстро восстанавливаются.

Помимо систем обратной связи стабильность обеспечивается избыточностью функциональных компонентов. Избыточность хорошо объясняется на примере организма, имеющего парные органы (руки, ноги, глаза, уши, почки, легкие) и многократно дублированные органы иммунитета. Избыточность характерна и для экосистемы. Если в экосистеме имеется несколько видов автотрофных зеленых растений, каждое из которых имеет свой температурный диапазон, то скорость фотосинтеза в экосистеме может оставаться неизменной, несмотря на колебания температуры.

Мозг человека представляет собой устройство с низкими энергетическими характеристиками и с огромными способностями к управлению, поскольку при относительно малой затрате энергии он способен продуцировать разнообразные мощные идеи. Это сделало человека самым могущественным существом на Земле. По крайней мере, это касается его способности изменять функционирование экосистем, в том числе и биосферы.

Основные характеристики экосистемы — ее размер, ее устойчивость, процессы самовосстановления, самоочищения.

Размер экосистемы — пространство, в котором возможно осуществление процессов саморегуляции и самовосстановления всех составляющих экосистему компонентов и элементов.

Самовосстановление природной экосистемы — самостоятельный возврат природной экосистемы к состоянию динамического равновесия, из которого она была выведена воздействием природных и антропогенных факторов.

Самоочищение — естественное разрушение загрязнителя в среде в результате процессов, происходящих в экосистеме.

Экосистемы можно классифицировать по разным признакам. Б и о м н а я классификация экосистем основана на преобладающем типе растительности в крупных регионах. В водных местообитаниях, где растительность малозаметна, в основе выделения экосистем находятся главные физические черты среды, например «стоячая вода», «текущая вода» и т.д.

Биомная классификация экосистем*Наземные биомы:*

Тундра: арктическая и альпийская

Хвойные леса

Листопадный лес умеренной зоны

Степь умеренной зоны

Тропические гарсленд и саванна

Пустыня: травянистая и кустарниковая

Вечнозеленый тропический дождевой лес

Пресноводные экосистемы:

Лентические (стоячие воды): озера, пруды и т.д.

Лотические (текучие воды): реки, ручьи и т.д.

Заболоченные угодья: болота и болотистые леса

Морские экосистемы:

Открытый океан (пелагическая)

Воды континентального шельфа (прибрежные воды)

Регионы апвеллинга (плодородные районы с продуктивным рыболовством)

Эстуарии (прибрежные бухты, проливы, устья рек и т.д.)

Использование в экосистемах различных источников энергии — Солнца, химического топлива — позволило выделить четыре фундаментальных вида экосистем по **энергетическому** признаку.

- Движимые солнцем несубсидируемые экосистемы — природные системы, полностью зависящие от прямого солнечного излучения. К их числу относятся открытые участки океанов, крупные участки горных лесов и большие глубокие озера. Экосистемы этого типа получают мало энергии и имеют малую продуктивность. Однако они крайне важны, так как занимают огромные площади. Это основной модуль жизнеобеспечения биосферы. Здесь очищаются большие объемы воздуха, возвращается в оборот вода, формируются климатические условия и т. д.
- Экосистемы, движимые Солнцем, но субсидируемые другими естественными источниками. Примерами такой экосистемы являются эстуарии рек, морские проливы и лагуны. Приливы и течения способствуют более быстрому круговороту минеральных элементов питания, поэтому эстуарии более плодородны, чем прилегающие участки океана или суши.

- Экосистемы, движимые Солнцем и субсидируемые человеком. Примером их являются агроэкосистемы (поля, коровники, свинарники, птицефабрики и т.д.).
- Экосистема, движимая топливом — индустриально-городская экосистема, в которой энергия топлива не дополняет, а заменяет солнечную энергию. Потребность в энергии плотно заселенных городов на 2—3 порядка больше того потока энергии, который поддерживает жизнь в естественных экосистемах, движимых Солнцем. Поэтому на небольшой площади города может жить большое количество людей.

Концепция продуктивности. Совокупность организмов в экосистеме в момент наблюдения называют *биомассой*, скорость продуцирования биомассы — *продуктивностью*. Различают первичную продуктивность — скорость, с которой продуценты (зеленые растения) в процессе фотосинтеза связывают энергию и запасают ее в форме органических веществ, и вторичную продуктивность — скорость образования биомассы консументами.

Высокая продуктивность сельского хозяйства в развитых странах поддерживается ценой больших вложений энергии и селекционной работой, направленной на выведение высокоурожайных сортов растений и высокопродуктивных пород животных. Этот вспомогательный поток энергии называется *энергетической субсидией*. Если в XIX в. страны мира делились на промышленно развитые и аграрные, то в XX возникла ситуация, при которой чем более развита страна, тем выше продуктивность ее сельского хозяйства. Именно развитые страны могут себе позволить соответствующие энергетические субсидии в сельское хозяйство.

Существует принципиальная разница в поведении энергии и материи. Материя циркулирует в системе; элементы и вещества, входящие в состав живого, имеют свои циклы, свои круговороты. Энергия, однажды использованная экосистемой, превращается в тепло и утрачивается для системы.

Пищевые цепи, пищевые сети. Перенос веществ и энергии пищи от ее источника — зеленых растений — через ряд организмов, от одного звена потребителей к другому называется *пищевой или трофической цепью*. Рациональное поведение звеньев трофической цепи определяется не эффективностью добывания

пищи, а умеренностью. Поэтому в экосистемах остаются лишь виды, хорошо выполняющие свои биологические функции — живущие и дающие жизнь другим. Особенности человека как биологического вида в трофических цепях состоят в следующем:

- человек всеяден и может жить то за счет одних, то за счет других звеньев трофической цепи; это снимает с него узду умеренности;
- он может приближать к себе ресурсы с помощью одомашнивания растений и животных или привозить их, выходя из-под контроля среды в месте проживания;
- он может уходить из нарушенной им цепи в другую. Это дает человеку чувство свободы, однако это свобода от немедленного ответного воздействия и от ответственности перед потомками.

Трофическая структура экосистемы состоит из ряда параллельных и переплетающихся пищевых цепей и называется *пищевой или трофической сетью*.

Метаболизм и размеры особей. При неизменном энергетическом потоке в пищевой цепи более мелкие организмы имеют более высокую интенсивность обмена, более высокий *удельный метаболизм* (метаболизм в пересчете на 1 кг массы), чем крупные организмы. При этом мелкие организмы создают относительно меньшую биомассу, чем крупные. Так, биомасса бактерий, имеющихся в данный момент в экосистеме, гораздо ниже биомассы млекопитающих. Эта закономерность получила название **правила Одума**. Это правило заслуживает особого внимания, поскольку из-за антропогенного нарушения природы происходит измельчание организмов, которое неминуемо должно привести к общему снижению продуктивности и к разладу в экосистемах.

При измельчании особей выход биомассы с единицы площади в силу более плотного заселения пространства увеличивается. Слоны не дадут такой биомассы и продукции с единицы площади, которую способна дать саранча. Это — **закон удельной продуктивности**. Так, мелкие предприятия и фермы в сумме производят больший объем хозяйственной продукции, чем крупные, тем более крупнейшие.

Исчезновение видов, представленных крупными особями, меняет структуру экосистем. При этом организмы одной трофи-

ческой группы замещают друг друга. Так, копытных в степи и саванне сменяют грызуны, а в ряде случаев — растительноядные насекомые. Это — **принцип экологического дублирования**.

В результате потери энергии при переносе ее по трофической цепи и таких факторов, как зависимость метаболизма от размеров особи, каждая экосистема приобретает определенную трофическую структуру. Ее можно представить в виде экологических пирамид. Если принять, что в вещество тела животного переходит в среднем 10% энергии съеденной пищи, то за счет 1 т растительной массы может образоваться 100 кг массы тела травоядного животного, а за счет последнего — 10 кг массы тела хищников.

Экологические факторы. На состояние окружающей среды и на живые организмы оказывают сильное влияние различные экологические факторы [27]. *Экологический фактор* — любое условие среды, способное оказывать прямое или косвенное воздействие на живые организмы. Экологические факторы делятся на три категории: 1) абиотические — факторы неживой природы; 2) биотические — факторы живой природы; 3) антропогенные — факторы человеческой деятельности.

Приспособительные реакции организмов к тем или иным факторам среды определяются периодичностью их воздействия. К первичным периодическим факторам относятся явления, связанные с вращением Земли, — смена времен года, суточная смена освещенности и т.д. Эти факторы действовали еще до появления жизни на Земле, и возникающие живые организмы должны были сразу адаптироваться к ним. Вторичные периодические факторы — следствия первичных, это влажность, температура, осадки и т.д. К непериодическим факторам относятся стихийные явления, а также факторы, имеющие техногенную природу.

Абиотические факторы наземной среды:

1. *Свет.* Поступающая от Солнца лучистая энергия распределяется по спектрам следующим образом. На видимую часть спектра с длиной волны 400-750 нм приходится 48% солнечной радиации. Наиболее важную роль для фотосинтеза играют оранжево-красные лучи, на которые приходится 45% солнечной радиации. Инфракрасные лучи с длиной волны более 750 нм не воспринимаются многими животными и растениями, но являются необходимыми источниками тепловой энергии. На ульт-

рафиолетовую часть спектра — менее 400 нм — приходится 7% солнечной энергии.

2. *Ионизирующее излучение* — это излучение с очень высокой энергией, способное выбивать электроны из атомов и присоединять их к другим атомам с образованием пар положительных и отрицательных ионов. Источник ионизирующего излучения — радиоактивные вещества и космические лучи. Доза излучения (1 рад) — это такая доза излучения, при которой на 1 г ткани поглощается 100 эрг энергии. Единица дозы излучения, которую получает человек, называется бэр (биологический эквивалент рентгена); 1 бэр равен 0,01 Дж/кг.

Т а б л и ц а 1.2. Дозы излучения

<i>Источник излучения</i>	<i>Доза</i>
Фоновое облучение за год	100 мбэр
Допустимое облучение за год	500 мбэр
Телевизор, компьютер	500 мбэр
Рентгенография зубов	3 бэр
Рентгенография желудка	25 бэр
Лучевая болезнь (легкая)	100 бэр
Лучевая болезнь (тяжелая)	450 бэр
Допустимые аварийные облучения населения	10 бэр

В течение года человек в среднем получает дозу 0,1 бэр и, следовательно, за всю жизнь (в среднем 70 лет) 7 бэр.

3. *Влажность атмосферного воздуха* — параметр, характеризующий процесс насыщения его водяными парами. Разность между максимальным (предельным) насыщением и данным насыщением называется дефицитом влажности. Чем выше дефицит, тем суше и теплее, и наоборот. Растения пустынь приспособляются к экономному расходованию влаги. Они имеют длинные корни и уменьшенную поверхность листьев. Пустынные животные способны к быстрому и продолжительному бегу для длинных маршрутов на водопой. Внутренним источником воды у них служит жир, при окислении 100 г которого образуется 100 г воды.

4. *Осадки* являются результатом конденсации водяных паров. Они играют важную роль в круговороте воды на Земле. В зависимости от характера их выпадения выделяют гумидные (влажные) и аридные (засушливые) зоны.

5. *Газовый состав атмосферы.* Важнейшим биогенным элементом атмосферы, который участвует в образовании белков в организме, является азот. Кислород, поступающий в атмосферу в основном от зеленых растений, обеспечивает дыхание. Углекислый газ является естественным демпфером солнечного и ответного земного излучений. Озон выполняет экранирующую роль по отношению к ультрафиолетовой части солнечного спектра.

6. *Температура* на поверхности Земли определяется температурным режимом атмосферы и тесно связана с солнечным излучением. Для большинства наземных животных и растений температурный оптимум колеблется от 15 до 30°C. Некоторые моллюски живут в горячих источниках при температуре до 53°C, а некоторые сине-зеленые водоросли и бактерии — до 70—90°C. Глубокое охлаждение вызывает у насекомых, некоторых рыб и пресмыкающихся полную остановку жизни — анабиоз. Так, зимой карась вмерзает в ил, а весной оттаивает и продолжает обычную жизнедеятельность. У животных с постоянной температурой тела, у птиц и млекопитающих состояние анабиоза не наступает. У птиц в холодные времена отрастает пух, у млекопитающих — густой подшерсток. Животные, у которых зимой корма недостаточно, впадают в спячку (летучие мыши, суслики, барсуки, медведи).

Абиотические факторы водной среды:

На долю Мирового океана приходится 71% земной поверхности. Водная среда отличается от наземной плотностью и вязкостью. Плотность воды в 800 раз, а вязкость в 55 раз больше плотности воздуха. Наряду с этим важнейшими особенностями водной среды являются: подвижность, температурная стратификация, прозрачность и соленость, от которых зависит фотосинтез бактерий и фитопланктона и своеобразие среды обитания гидробионтов.

Биотические факторы окружающей среды:

Под биотическими факторами понимают совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на другие.

Антропогенные факторы окружающей среды.

Антропогенные факторы окружающей среды обязаны своим происхождением комплексной техногенной деятельности человека на Земле, включающей его бытовую сферу (сжигание мусора и отходов, строительство и т.д.) и производственную деятельность (все отрасли промышленной индустрии, сельское хозяйство, нефте-, газо- и горнодобывающие отрасли и т.д.).

Лимитирующие факторы: законы минимума и толерантности:

В 1840 г. Ю. Либихом был сформулирован **закон минимума**, согласно которому развитие растений лимитируется не теми элементами питания, которые присутствуют в почве в изобилии, а теми, которых очень мало (например, цинк или бор). Закон минимума справедлив и для животных, и для человека. Здоровье человека определяется в том числе и специфическими веществами, которые присутствуют в организме в ничтожных количествах (витамины, микроэлементы).

Любому живому организму или сообществу организмов необходимы не вообще температура, влажность, пища и т.д., а их определенный режим, т. е. границы допустимых колебаний этих факторов. Диапазон между экологическим минимумом и экологическим максимумом составляет пределы устойчивости, т. е. толерантности данного организма — этот **закон толерантности** был сформулирован в 1910 г. В. Шелфордом .

Ценность концепции лимитирующих факторов в том, что она дает возможность исследования самых сложных экологических ситуаций. Если для организма характерен широкий диапазон толерантности к фактору, который присутствует в среде в умеренных количествах, то такой фактор не может быть лимитирующим. Напротив, если организм обладает узким диапазоном толерантности к какому-нибудь изменчивому фактору, то этот фактор заслуживает изучения, так как может быть лимитирующим.

Биогеохимические циклы. В экосистемах очень важна роль биогеохимических циклов [27]. Биогенные элементы — С, O₂, N₂, P, S, CO₂, H₂O и другие — в отличие от энергии удерживаются в экосистемах и совершают непрерывный круговорот из внешней среды в организмы и обратно во внешнюю среду. Эти замкнутые пути называют *биогеохимическими циклами*. В каждом круговороте различают два фонда: резервный, включающий большую массу движущихся веществ, в основном небиологических компонентов, и подвижный, или обменный, фонд — по характеру более активный, но менее продолжительный, отличительной особенностью которого является быстрый обмен между организмами и их непосредственным окружением.

Биогеохимические циклы можно подразделять на два типа: 1) круговорот газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере и гидросфере (океан), 2) осадочный цикл с резервным фондом в земной коре.

Из 90 с лишним элементов, встречающихся в природе, 30—40 необходимы для живых организмов. Человек уникален не только тем, что его организм нуждается в 40 элементах, но и тем, что в своей деятельности использует почти все другие имеющиеся в природе элементы.

Круговорот азота. Азот составляет около 80% атмосферного воздуха и является крупнейшим резервуаром и предохранительным клапаном атмосферы. Однако большинство организмов не могут усваивать азот из воздуха. Между тем азот участвует в построении всех белков и нуклеиновых кислот. Усваивать азот из воздуха способны только некоторые организмы — бактерии, которые существуют в симбиозе с бобовыми растениями (горох, фасоль, соя). Они поселяются на корнях бобовых растений, образуя клубеньки, в которых и происходит химическая фиксация азота. Азот могут усваивать также сине-зеленые водоросли, называемые цианобактериями. Они образуют симбиоз с плавающим папоротником, который растет на заливаемых водой рисовых полях и до высадки рассады риса удобряет эти поля азотом. Первый этап фиксации атмосферного азота приводит к образованию аммиака и называется аммонификацией (рис.1.1). Аммиак используется растениями для синтеза аминокислот, из которых

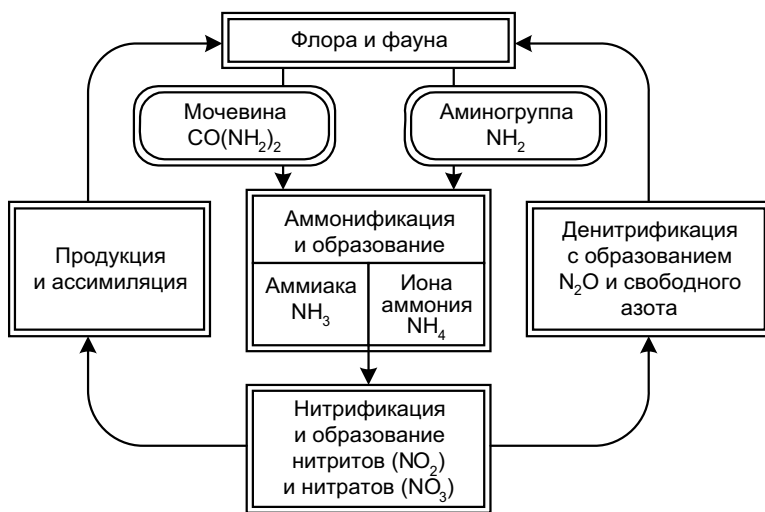


Рис. 1.1. Основные биохимические этапы круговорота азота [21]

состоят белки. Второй этап фиксации азота микроорганизмами — нитрификация, при этом образовавшийся аммиак преобразуется в соли азотной кислоты — нитраты. Нитраты усваиваются корнями растений и транспортируются в листья, где происходит синтез белков. Процесс разложения белков, осуществляемый особой группой бактерий, называется денитрификацией. Распад идет сначала с образованием нитратов, потом аммиака и, наконец, молекулярного азота. Содержание азота в живых тканях составляет около 3% его содержания в обменных фондах экосистем. Общее время круговорота азота — примерно 100 лет.

Круговорот углерода. Круговороты углекислоты и воды в глобальном масштабе — самые важные для человечества биогеохимические круговороты.

В круговороте CO_2 атмосферный фонд невелик по сравнению с запасами углерода в океанах, ископаемом топливе и других резервуарах земной коры. До наступления индустриальной эры потоки углерода между атмосферой, материками и океанами были сбалансированы. Но в XX в. содержание CO_2 постоянно растет в результате новых техногенных поступлений (сжигание горючих ископаемых, деградация почвенного слоя, сведение лесов и

т.д.). В 1800 г. в атмосфере Земли содержалось 0,29% CO_2 ; в 1958 — 0,315%, а к 1980 г. его содержание выросло до 0,335%. Если концентрация CO_2 вдвое превысит доиндустриальный уровень, что может случиться в середине XXI в., то температура поверхности Земли и нижних слоев атмосферы в среднем повысится на 3°. В результате подъем уровня моря и перераспределение осадков могут погубить сельское хозяйство.

Биологический круговорот углерода достаточно прост; в нем участвуют только органические соединения и CO_2 (рис. 1.2). Весь потреблен-

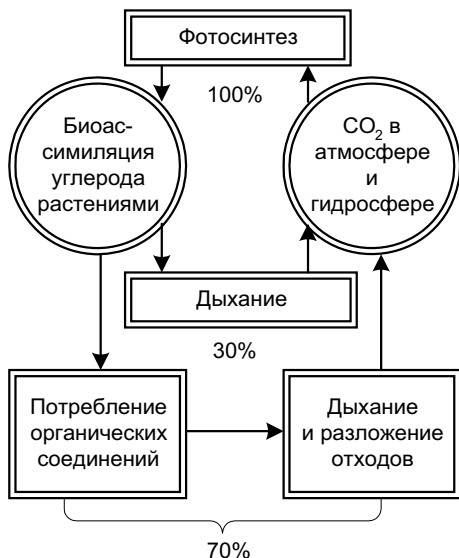


Рис. 1.2. Круговорот углерода [21]

ный в процессе фотосинтеза углерод включается в углеводы, а в процессе дыхания весь углерод, содержащийся в органических соединениях, превращается в CO_2 . Растения потребляют ежегодно около 100 млрд т углерода, 30 млрд т возвращаются в атмосферу в результате дыхания растений. Остальные 70 млрд т обеспечивают дыхание и продукцию животных, бактерий и грибов в различных трофических цепях. Растения и животные ежегодно пропускают через себя 0,25—0,30% углерода, содержащегося в атмосфере и океанах. Весь обменный фонд углерода совершает круговорот каждые 300—400 лет.

Кроме CO_2 в атмосфере присутствует в небольших количествах окись углерода — СО (примерно 0,1 части на миллион). Однако в городах с сильным автомобильным движением содержание СО может достигать 100 частей на миллион, что представляет уже угрозу для здоровья человека. Для сравнения можно привести другой пример: курильщик, потребляющий в день пачку сигарет, получает до 400 частей на миллион, что часто является причиной анемии и других сердечно-сосудистых заболеваний.

Другое соединение углерода в атмосфере — метан (CH_4). Его содержание составляет 1,6 частей на миллион. Считается, что метан поддерживает стабильность озонового слоя в атмосфере.

Круговорот воды. Вода составляет значительную часть живых существ: в теле человека — по весу 60%, а в растительном организме достигает 95%. На круговорот воды на поверхности Земли затрачивается около трети всей поступающей на Землю солнечной энергии. Испарение с водных пространств создает атмосферную влагу. Влага конденсируется в форме облаков, охлаждение облаков вызывает осадки в виде дождя и снега; осадки поглощаются почвой или стекают в моря и океаны.

Для человечества важны фазы круговорота в пределах экосистем. Здесь происходят четыре процесса (рис. 1.3):

- перехват. Растительность перехватывает часть выпадающей в осадках воды до того, как она достигает почвы. Перехваченная вода испаряется в атмосферу. Величина перехвата в умеренных широтах может достигать 25% общей суммы осадков, это — физическое испарение;
- транспирация — биологическое испарение воды растениями. Это не дождевая вода, а вода, заключенная в растениях, т. е. экосистемная. Растения, потребляя около 40% общего количества осадков, играют главную роль в круговороте воды;

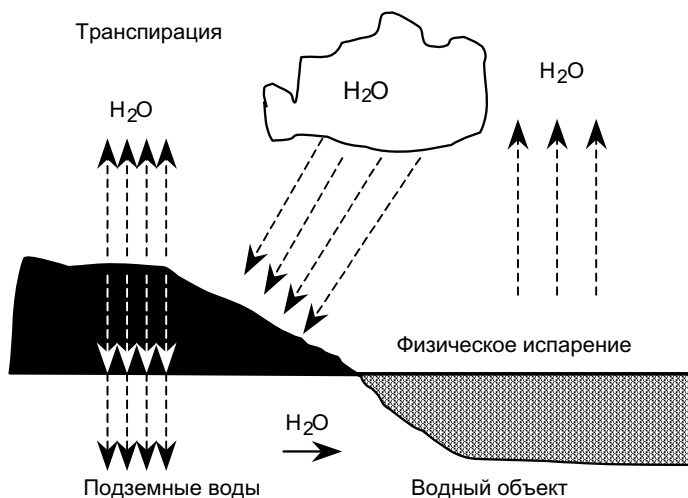


Рис. 1.3. *Круговорот воды* [21]

- инфильтрация — просачивание воды в почве. При этом часть инфильтрованной воды задерживается в почве тем сильнее, чем значительнее в ней коллоидальный комплекс, соответствующий накоплению в почве перегноя;
- сток. В этой фазе круговорота избыток выпавшей с осадками воды стекает в моря и океаны.

Отличие циклов углерода и азота от круговорота воды состоит в том, что в экосистемах два названных элемента накапливаются и связываются, а вода проходит через экосистемы почти без потерь. Биосфера ежегодно использует на формирование биомассы 1% воды, выпавшей в виде осадков.

Круговорот фосфора. Фосфор — один из наиболее важных биогенных компонентов. Он входит в состав нуклеиновых кислот, клеточных мембран, систем аккумуляции и переноса энергии, костной ткани и дентина. Круговорот фосфора всецело связан с деятельностью организмов.

В отличие от азота и углерода резервуаром фосфора служат не атмосфера, а горные породы и отложения, образовавшиеся в прошлые геологические эпохи. Круговорот фосфора — типичный пример осадочного цикла.

Круговорот второстепенных элементов. Второстепенные элементы подобно жизненно важным мигрируют между организ-

мами и средой, хотя и не представляют ценности для организмов. Но в окружающую среду часто попадают побочные продукты промышленности, содержащие высокие концентрации тяжелых металлов, радиоактивные элементы и ядовитые органические соединения.

Радиоактивный Sr-90 крайне опасен для человека и животных. По химическим свойствам он похож на кальций и поэтому, попав в организм, накапливается в костях и оказывается в опасном контакте с костным мозгом — кровеносной тканью.

Радиоактивный Cs-137 — по свойствам схож с калием и поэтому быстро циркулирует по пищевым цепям.

Sr-90 и Cs-137 — новые вещества, которые не существовали в природе до того, как человек расщепил атом. Они характеризуются длительными периодами полураспада. Аккумуляция этих радиоактивных изотопов в организме человека создает постоянный источник облучения, приводящего к канцерогенезу.

Для того чтобы количественно определить повторно используемую часть вещества в обороте, предложен *коэффициент рециркуляции* — отношение суммарных количеств вещества, циркулирующих между разными отделами системы, к общему потоку вещества через всю систему: $CI = TST_c/TST$, где CI — коэффициент рециркуляции, TST_c — рециркулируемая доля потока через систему и TST — общий поток вещества через систему.

Элементы, которые человек считает ценными (платина, золото), повторно используются на 90% и более. Однако коэффициент рециркуляции энергии равен нулю.

1.2. Популяция как элемент экосистемы

Если экосистема — основная функциональная единица экологии, предмет ее исследования, то популяция — основной элемент каждой экосистемы.

Популяция — это совокупность особей одного вида, способная к самовоспроизведению, более или менее изолированная в пространстве и во времени от других аналогичных совокупностей того же вида [27].

Популяция обладает биологическими свойствами, присущими составляющим ее организмам, и групповыми свойствами, присущими только популяции в целом. Как и отдельный

организм, популяция растет, дифференцируется и поддерживает сама себя. Но такие свойства, как рождаемость, смертность, возрастная структура, характерны только для популяции в целом.

При описании популяций используют две группы количественных показателей: *статистические*, характеризующие состояние популяции в какой-то определенный момент времени, и *динамические*, характеризующие процессы, протекающие в популяции за некоторый промежуток времени. *Общая численность* популяции выражается определенным количеством особей. Для ее оценки применяются различные методы. Если речь идет о крупных и хорошо заметных организмах, применяется аэрофотосъемка. В других случаях применяется метод мечения. Животных ловят, метят и отпускают обратно в природу. Через некоторое время производят новый отлов и по доле меченных животных определяют численность популяции.

Количественным показателем оценки популяции является *плотность* — численность популяции, отнесенная к единице занимаемого пространства. Для характеристики *пространственного распределения особей* применяют методы математической статистики, которые позволяют оценить дисперсию наблюдаемого распределения плотности и сопоставить ее со средним значением плотности. При случайном распределении дисперсия равна среднему значению: $\sigma^2 = \bar{m}$, при регулярном — дисперсия меньше среднего: $\sigma^2 < \bar{m}$ и при пятнистом — дисперсия больше среднего: $\sigma^2 > \bar{m}$. В соответствии с этим отношение дисперсии к среднему значению есть показатель степени пространственной агрегированности. Если величина этого показателя примерно равна единице — распределение случайное; меньше единицы — регулярное; больше единицы — пятнистое.

Поскольку длительность существования популяции значительно превышает продолжительность жизни отдельных особей, в ней всегда присутствует смена поколений. И даже если численность популяции постоянна, то постоянство является результатом динамического равновесия прибыли и убыли особей.

Рождаемость — это число особей N , родившихся за некоторый промежуток времени dt — dN_n/dt . Для сравнения популяций разной численности величину dN_n/dt относят к общему числу особей N в начале промежутка времени dt . Полученную величину dN_n/Ndt называют *удельной рождаемостью*. Единица времени, выбранная для оценки рождаемости, изменяется в зависимости

от интенсивности размножения организмов, образующих популяцию. Для популяции бактерий единицей времени может быть час, для планктонных водорослей — сутки, для насекомых — недели или месяцы, для крупных млекопитающих — годы. *Смертность* — величина противоположная рождаемости. Она оценивается числом особей dN_m , погибших за время dt . Удельная смертность выражается как dN_m/Ndt .

Продолжительность жизни у разных видов различна, и, чтобы их сравнивать, строятся кривые выживания. На оси абсцисс откладывается время жизни, на оси ординат — число выживших (рис. 1.4). Кривая типа I (сильно выпуклая) характерна для популяций организмов, у которых смертность почти до конца жизни остается низкой. Этот тип кривой выживания характерен для многих видов крупных животных, в том числе и для человека. Другой крайний вариант — кривая типа III (сильно вогнутая) характерна для популяций, у которых смертность высока на ранних стадиях. Так, у личинок устриц и прорастающих желудей очень высокая смертность, но как только особи хорошо приживутся, продолжительность жизни резко увеличивается.

Кривая типа II (диагональная) соответствует постоянной смертности в течение всей жизни. Такие кривые встречаются у рыб, пресмыкающихся и птиц. Кривая выживания человека не всегда имела выпуклую форму. Например, кривые, построенные по надписям на надгробиях людей, живших в Римской империи в I—IV вв. н. э., были диагональными.

В популяции выделяют три экологические возрастные группы: пререпродуктивную, репродуктивную и пострепродуктивную. В быстрорастущих популяциях значительную долю составляют молодые особи. В популяциях, находящихся в стационарном состоянии, возрастное распределение относительно равномерное.

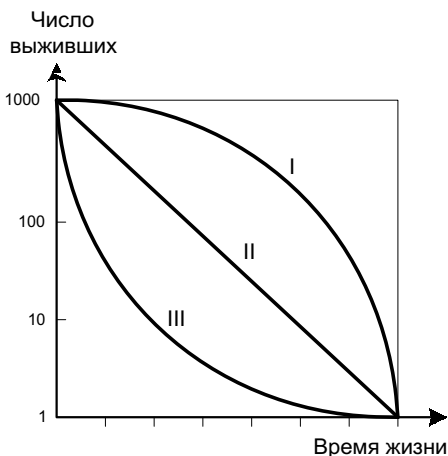


Рис. 1.4. Типы кривых выживания

В популяциях, численность которых снижается, содержится большая доля старых особей. У современного человека упомянутые три возрастные группы приблизительно одинаковы.

У первобытных людей пререпродуктивный период очень длителен, репродуктивный — короткий, а пострепродуктивный отсутствует совсем. У поденок, например, личиночное развитие занимает несколько лет, а во взрослом состоянии (в репродуктивный период) они живут несколько дней.

В среде, не ограничивающей рост популяции (нет ограничения в пище, пространстве и т.д.), удельная скорость роста, т. е. скорость, рассчитанная на одну особь, становится постоянной и максимальной. Этот показатель, обозначаемый r , является экспонентой в дифференциальном уравнении роста популяции в нелимитирующей среде.

$$dN/dt = rN; \quad r = dN/Ndt, \quad (1.1)$$

интегрируя, получаем экспоненциальную зависимость:

$$N_t = N_0 e^{rt}, \quad (1.2)$$

где N_0 — численность в начальный момент времени,

N_t — численность в момент времени t ,

e — основание натурального логарифма.

Логарифмируя обе части равенства, получаем уравнение в форме, удобной для расчета:

$$\ln(N_t) = \ln(N_0) + rt, \quad (1.3)$$

откуда

$$r = (\ln(N_t) - \ln(N_0))/t. \quad (1.4)$$

Когда популяция переходит в стационарное состояние, r называют внутренней скоростью естественного роста — *биотическим потенциалом* и обозначают r_{\max} . Разницу между биотическим потенциалом и скоростью роста в реальных условиях называют сопротивлением среды. *Сопротивление среды* — это сумма всех лимитирующих факторов, препятствующих реализации r_{\max} .

По форме кривых роста можно выделить два основных типа роста: описываемый J -образной кривой и S -образной (или сигмоидной) кривой (рис. 1.5). При J -образной кривой (рис 1.5 а) плотность популяции быстро возрастает по экспоненте, но затем, когда

начинает действовать сопротивление среды, рост быстро прекращается. Этот тип роста может быть описан простым экспоненциальным уравнением (1.1) при заданном ограничении на величину M .

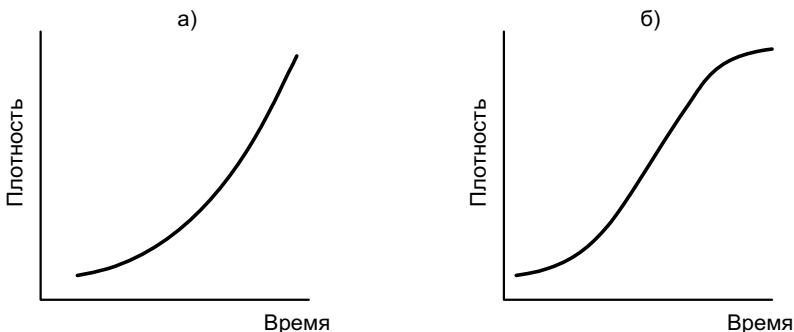


Рис. 1.5. Кривые роста популяции:

- а) J -образная кривая (экспоненциальный рост);
 б) S -образная кривая (сигмоидный рост)

При типе роста, описываемом сигмоидной кривой (рис. 1.5 б), популяция сначала увеличивается медленно, затем рост ее все ускоряется, затем под влиянием среды рост постепенно замедляется и в конце концов достигает равновесия. Этот тип роста описывается простым логистическим уравнением:

$$dN/dt = rN_0(K - N_0)/K,$$

где dN/dt – скорость роста популяции,

r – удельная, или внутренняя, скорость роста,

N – величина популяции (численность),

K – максимально возможная величина популяции. Этот предел является верхней асимптотой сигмоидной кривой.

В природе экспоненциальный рост или не происходит вообще, или происходит в течение очень короткого времени. Эта модель используется, чтобы количественно охарактеризовать потенциальные возможности популяции к росту. Она позволяет выявить факторы, ограничивающие рост изучаемой популяции.

Константы r и K из логистического уравнения характеризуют два типа естественного отбора, которые позволяют обосновать разные *типы экологических стратегий*:

- r -стратегия характерна для популяций в начальный период увеличения ее численности. Она определяется отбором в

условиях, когда плотность популяции мала и соответственно слабо выражено тормозящее воздействие конкуренции. Эта стратегия характерна, например, для временных водоемов, заполняющихся водой только в период дождей. *r*-отбор направлен на высокую плодовитость, быстрое достижение половой зрелости, достижение короткого жизненного цикла, способности выживания в неблагоприятный период в виде покоящихся стадий;

- *K*-стратегия связана с отбором, направленным на повышение выживаемости и величины предельной плотности *K* в условиях стабилизирующейся численности популяции при сильном воздействии конкуренции. *K*-отбор направлен на оценку конкурентоспособности и предусматривает возможные пути защищенности от хищников и паразитов, и выживаемости потомства, а также совершенствования механизмов регуляции численности.

В южных регионах распространено растение амброзия. Она растет по свалкам, залежам и другим недавно нарушенным местообитаниям. С другой стороны, в умеренном поясе в стабильном нижнем ярусе леса обитают травянистые растения. Если сравнить эти растения по продукции семян, окажется, что амброзия продуцирует семян в 50 раз больше, чем растения леса, и тратит в 5 раз больше чистой энергии на размножение. Амброзия — пример *r*-отбора, растения лесного сообщества — *K*-отбора.

Выделение *r*- и *K*-стратегий в чистом виде условно. На самом деле каждый вид организмов испытывает некую комбинацию *r*- и *K*-отбора, т. е. оставляемые отбором особи должны обладать и достаточно высокой плодовитостью, и развитой способностью выживания при наличии конкуренции.

Логистическая модель популяционного роста исходит из предположения о том, что для каждой популяции существует определенный равновесный уровень плотности (численности). Это уровень, при котором рождаемость равна смертности. Если равновесный уровень превышен, то в самой популяции или в окружающей среде что-то должно измениться так, чтобы смертность стала больше рождаемости, а популяция соответственно начала сокращать свою численность. Напротив, в случае понижения численности ниже равновесного уровня процессы, происходящие в популяции или в среде, должны привести к росту

численности популяции. Отсюда возник подход к оценке механизмов, поддерживающих численность популяции, называемый регуляционизмом.

Регуляционизм — представление о том, что каждая популяция обладает равновесным уровнем плотности (численности) и существуют механизмы, направленные на поддержание этой плотности. Наблюдения и эксперименты позволили считать, что динамика численности любой популяции есть автоматически регулируемый процесс, а действие факторов, контролирующих популяцию, определяется плотностью самой популяции.

Принципиально иной подход к оценке механизмов, поддерживающих численность популяции, — это *стохастизм*, при котором придается случайно действующим факторам среды, например, погодным, основное значение. Стохастизм отрицает существование равновесного уровня, отклонение от которого автоматически возвращает популяцию к исходному уровню плотности (численности). С позиции стохастизма равновесный уровень численности есть результат ее усреднения за длительный срок.

Концепция саморегуляции. Сторонники и регуляционизма, и стохастизма, несмотря на различия, сходятся в том, что главная роль в ограничении роста численности популяции принадлежит факторам внешней среды. Однако регуляционисты считают, что факторы среды приводят в действие автоматически регулируемую плотность популяции, стохастисты отводят случайным факторам ведущую роль в определении численности популяции.

В начале 60-х годов нашего столетия была предложена *концепция саморегуляции популяций*, согласно которой в процессе роста популяции изменяется не только и не столько качество среды, в которой существует эта популяция, сколько качество самих составляющих ее особей. Следовательно, суть концепции саморегуляции состоит в том, что любая популяция способна регулировать свою численность так, чтобы не подрывать возобновляемые ресурсы местообитания, и так, чтобы не потребовалось вмешательства каких-либо внешних факторов, например хищников или неблагоприятной среды.

Основанием для выдвижения этой концепции послужили наблюдения за колониями мышей, содержащихся в лаборатории. В этих условиях при достаточном снабжении пищей возрастание плотности популяции приводило к увеличению у мышей надпочечников — органов эндокринной системы. Гормо-

нальные сдвиги, происходящие в организме под влиянием нервного перевозбуждения при перенаселении, ведут к повышению агрессивности животных, изменению репродуктивного потенциала (позднее половое созревание, снижение продуктивности, иногда полное прекращение размножения), снижению устойчивости к заболеваниям. Эти изменения обычно ведут к резкому снижению жизнеспособности особей и их массовой гибели.

Если в лабораторных условиях результатом стрессового состояния, вызванного перенаселенностью, является возрастание смертности, то в природных условиях — миграция в новые местообитания, где больше риск гибели от разнообразных причин.

1.3. Человек и биосфера

Давление человека на биосферу началось задолго до наступления этапа промышленной эволюции, ибо целые цивилизации погибли еще до нашей эры. Среди невозвратно погибших цивилизаций — Средиземноморская, цивилизация Майя, цивилизация острова Пасхи и др. Катастрофические экологические явления в прошлом были в основном связаны не с загрязнением природной среды, как сейчас, а с ее трансформациями. Главная из них — деградация почв, эрозия, засоление и т.д.

Вследствие антропогенной нагрузки на биосферу сегодня возникли новые экологические проблемы, которых не было в предыдущем XIX столетии [22, 27, 41]:

- началось потепление климата нашей планеты. В результате «парникового эффекта» температура поверхности Земли за последние 100 лет возросла на 0,5—0,6°C. Источниками CO₂, ответственными за большую часть парникового эффекта, являются процессы сжигания угля, нефти и газа и нарушение деятельности сообществ почвенных микроорганизмов тундры, потребляющих до 40% выбрасываемого в атмосферу CO₂;
- значительно ускорился процесс подъема уровня Мирового океана. За последние 100 лет уровень моря поднялся на 10—12 см и сейчас этот процесс десятикратно ускорился. Это грозит затоплением обширных территорий, лежащих ниже уровня моря (Голландия, область Венеции, Санкт-Петербург, Бангладеш и др.);

- произошло истощение озонового слоя атмосферы Земли (озоносферы), задерживающего губительное для всего живого ультрафиолетовое излучение. Считается, что главный вклад в разрушение озоносферы вносят хлор-фтор-углероды (т. е. фреоны). Они используются в качестве хладагентов и в баллончиках с аэрозолями. В 1996 г. была принята международная декларация, запрещающая использование наиболее опасных хлор-фтор-углеродов. При соблюдении условий декларации для полного восстановления озонового слоя потребуются не менее 100 лет и с начала XXI в. можно ожидать постепенный рост толщины «экрана» озоносферы;
- происходит интенсивное опустынивание и обезлесение планеты Земля. В Азии и Африке процесс опустынивания идет со скоростью 6 млн га в год. Главной причиной опустынивания является неоправданный рост поголовья скота, вытаптывающего растительный покров. В России это происходит в Калмыкии и Нижнем Поволжье. Интенсивно вырубаются леса в Бразилии и России. Сведение лесов приводит к снижению продукции кислорода, сопровождающей процесс фотосинтеза;
- интенсивно загрязняется Мировой океан. Загрязнение сопровождается разработку морских месторождений нефти и является результатом промышленных и коммунальных стоков в океан. Мировой океан в результате фотосинтетической деятельности одноклеточных зеленых водорослей дает 2/3 продукции кислорода, насыщающего атмосферу. Наибольшую опасность для жизни Океана как живого сообщества представляет нефтяное загрязнение. Сейчас в Океан ежегодно выливается 10 млн т нефти, углеводороды которой разрушаются микроорганизмами, превращающими нефть в углекислый газ и воду. Но защитные силы Океана не безграничны. Модельные расчеты показали, что одновременное попадание в Океан 25 млн т нефти уничтожит это уникальное живое сообщество, т. е. буквально перекроет кислород биосфере.

Поступление кислорода в атмосферу Земли в результате фотосинтетической деятельности ежегодно составляет 240—300 млрд т. Организмы биосферы расходуют на дыхание 90% этого количества, оставшиеся 10% — 24—30 млрд т расходу-

ются промышленностью. Но к началу XXI в. промышленность при нынешних темпах ее развития может потреблять уже 57—60 млрд т кислорода. Если не ограничить и не изменить технологию сжигания горючих ископаемых, то через 100 лет содержание кислорода в атмосфере снизится с 21 до 8%.

Химические и радиационные загрязнения природы, уменьшение толщины озонового слоя подавляют прежде всего иммунную систему живых организмов, в том числе и человека, вызывая иммунодефицитное состояние организма. При заболевании СПИДом особый вирус поражает иммунную систему человека. В результате организм теряет защиту и может погибнуть от самого простого заболевания. В отличие от вируса СПИДа, обладающего огромной разрушительной силой, загрязнения действуют медленно, но столь же губительно.

В результате безудержной техногенной агрессии средняя продолжительность жизни в России находится в конце четвертого десятка стран мира, по выживаемости детей в возрасте до 1 года (по детской смертности) — в конце пятого десятка стран (на уровне африканских стран), отставая от Индии, Бразилии и Южной Кореи. Сегодня смертность в России превышает рождаемость в 1,7 раза. По прогнозам демографов, к 2000 г. на двух ушедших из жизни российских граждан придется только один новорожденный. В России сложилась беспрецедентная ситуация со смертностью мужчин в трудоспособном возрасте от несчастных случаев, отравлений и травм. Для стран Европы, США и Японии доля умерших от этих причин составляет 5—5,5%, а в России 22—25%. В России у 40% мужчин средняя продолжительность жизни составляет 58 лет. Столь драматическая ситуация, уже приведшая к депопуляции, когда смертность существенно возрастает, а рождаемость падает, свойственна исключительно нашей стране. Это является результатом резкого ухудшения экологической обстановки, разрушения ранее существовавших в стране систем общей профилактики заболеваний и пренебрежения к правилам и нормам безопасности жизнедеятельности.

Одним из главных факторов, приведших к ухудшению природной среды России, стало необоснованное развитие отраслей минерально-сырьевого комплекса — добывающей промышленности. Численность населения России составляет менее 3% общемировой, но до последнего времени Россия производила свыше 20% мирового объема продукции горнодобывающей

промышленности, и большая часть этого сырья экспортировалась. В этом отношении Россия мало отличается от стран Третьего мира, которые являются сырьевыми придатками промышленно развитых стран. Структура российской добывающей промышленности такова, что на производство ее конечной продукции расходуется менее 7% сырьевой массы, извлекаемой из недр Земли. Здесь и терриконы вблизи угольных шахт, насыпанные прямо на плодородный чернозем, и неполное извлечение полезных ископаемых из недр, и сжигание попутного газа в факелах, и т.д. Так, например, для поднятия нефти из скважин во всем мире применяется газ, а в России из-за отсутствия соответствующего компрессорного оборудования в скважину закачивается вода. В результате из скважин берут только 30% нефти, вода смешивается с нефтью и т.д. К тому же именно в добывающей промышленности наблюдается самый высокий уровень травматизма среди работающих.

В структуре экспорта России кроме сырой нефти, газа и неразделанного на пиломатериалы леса имеется металл и минеральные удобрения. На мировом рынке у России покупают и черные, и цветные металлы. Однако металлургия — одно из самых экологически грязных производств. Поэтому покупатели нашей металлургической продукции предпочитают иметь грязные производства в России, а не у себя дома. То же самое относится к промышленности минеральных удобрений. Чтобы минимизировать, а затем и вовсе уйти от последствий интенсивного загрязнения среды обитания, необходимо активно внедрять чистые технологии, что позволит значительно увеличить продолжительность жизни; развивать наукоемкие технологии, широкомасштабно используя компьютеризацию; совершенствовать постоянно действующее эффективное природоохранное законодательство.

Мировой опыт показывает, что для стабилизации экологической ситуации в стране нужно затратить не менее 3% валового национального продукта, а для улучшения экологической ситуации — необходимо уже 5%. Такие расходы несут Германия, Англия и Швеция. Самые большие затраты на природоохранные мероприятия у США — 7%. По данным 1989 г., затраты СССР на эти цели составляли 1,5%, а в России, по данным Комитета по экологии Государственной Думы, выделяется на эти цели не более 0,5%.

Контрольные вопросы



1. Дайте определение экосистемы.
2. Как соотносятся время существования биосферы и вида *Homo sapiens*?
3. Как вы понимаете гипотезу Геи?
4. Сформулируйте принцип эмерджентности.
5. В результате каких процессов биосфера накопила горючие ископаемые — основу промышленной революции?
6. Расскажите о биомной и энергетической классификации экосистем.
7. Сформулируйте правило Одума, закон удельной продуктивности и принцип экологического дублирования.
8. Перечислите абиотические факторы наземной среды.
9. Сформулируйте законы минимума и толерантности.
10. Опишите круговороты азота, углерода и воды.
11. Дайте определение популяции и ее свойств.
12. Что такое *r*- и *K*-стратегии отбора?
13. Изложите концепции регуляционизма, стохастизма и саморегуляции.
14. В чем заключаются глобальные экологические проблемы XX в.?
15. Что нужно для стабилизации экологической ситуации в России?

2

Мониторинг окружающей среды



2.1. Понятие экологического мониторинга и его задачи

Всесторонний анализ окружающей среды предусматривает оценку ее экологического состояния и влияние на нее естественных и антропогенных воздействий. Характер этих воздействий весьма специфичен. Лимитирующим показателем уровня естественных и антропогенных воздействий является *предельно-допустимая экологическая нагрузка* (ПДЭН), которая во многих странах установлена в связи с тем, что нормальное функционирование и устойчивость экосистем и биосферы возможны при непревышении определенных предельных нагрузок на них.

Состояние биосферы, непрерывно меняющееся под влиянием естественных факторов, обычно возвращается в первоначальное. Например, изменения температуры и давления, влажности воздуха и почвы происходят в пределах некоторых постоянных средних значений. Как правило, крупные экосистемы под влиянием природных процессов изменяются чрезвычайно медленно. Существующие в мире экологические службы (гидрометеорологическая, сейсмическая, ионосферная и др.) проводят контроль за изменением этих процессов.

Изменение состояния биосферы под влиянием антропогенных факторов происходит в более короткие временные сроки. Поэтому с целью измерения, оценки и прогноза антропогенных изменений абиотической составляющей биосферы (в первую очередь загрязнений) и ответной реакции биоты на эти изменения, а также последующих изменений в экосистемах в результате антропогенных воздействий создана *информационная система экологического мониторинга*.

Экологический мониторинг является комплексным мониторингом биосферы. Он включает в себя контроль изменений состояния окружающей среды под влиянием как природных, так и антропогенных факторов.

О с н о в н ы е з а д а ч и экологического мониторинга антропогенных воздействий:

- наблюдение за источниками антропогенного воздействия;
- наблюдение за факторами антропогенного воздействия;
- наблюдение за состоянием природной среды и происходящими в ней процессами под влиянием факторов антропогенного воздействия;
- оценка физического состояния природной среды;
- прогноз изменения состояния природной среды под влиянием факторов антропогенного воздействия и оценка прогнозируемого состояния природной среды.

Термин «мониторинг» образован от лат. «монитор» — «наблюдающий», «предостерегающий». Существует несколько современных формулировок определения мониторинга. Некоторые исследователи под мониторингом понимают систему повторных наблюдений за состоянием объектов окружающей среды в пространстве и во времени в соответствии с заранее подготовленной программой [52]. Более конкретная формулировка определения мониторинга предложена академиком РАН Ю.А. Израэлем в 1974 г., в соответствии с которой под *мониторингом состояния природной среды, и в первую очередь загрязнений и эффектов, вызываемых ими в биосфере, подразумевают комплексную систему наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния биосферы или ее отдельных элементов под влиянием антропогенных воздействий* [14].

Программа ЮНЕСКО от 1974 г. определяет мониторинг как систему регулярных длительных наблюдений в пространстве и во времени, дающую информацию о прошлом и настоящем состояниях окружающей среды, позволяющую прогнозировать на будущее изменение ее параметров, имеющих особенное значение для человечества [51].

2.2. Классификация мониторинга

Мониторинг включает в себя следующие основные практические направления:

- наблюдение за состоянием окружающей среды и факторами, воздействующими на нее;
- оценку фактического состояния окружающей среды и уровня ее загрязнения;
- прогноз состояния окружающей среды в результате возможных загрязнений и оценку этого состояния.

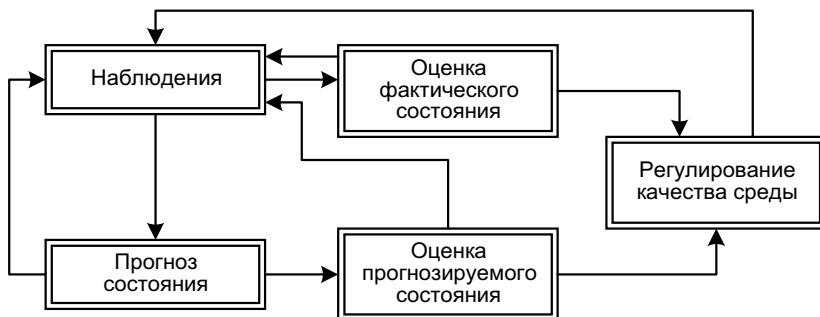


Рис. 2.1. Схема мониторинга

Объектами мониторинга являются атмосфера (мониторинг приземного слоя атмосферы и верхней атмосферы); атмосферные осадки (мониторинг атмосферных осадков); поверхностные воды суши, океаны и моря, подземные воды (мониторинг гидросферы); криосфера (мониторинг составляющих климатической системы).

По объектам наблюдения различают: атмосферный, воздушный, водный, почвенный, климатический мониторинг, мониторинг растительности, животного мира, здоровья населения и т.д.

Существует классификация систем мониторинга по факторам, источникам и масштабам воздействия (рис. 2.2 и табл. 2.2).

Мониторинг факторов воздействия – мониторинг различных химических загрязнителей (ингредиентный мониторинг) и разнообразных природных и физических факторов воздействия (электромагнитное излучение, солнечная радиация, шумовые вибрации).

Мониторинг источников загрязнений – мониторинг точечных стационарных источников (заводские трубы), точечных подвижных (транспорт), пространственных (города, поля с внесенными химическими веществами) источников.

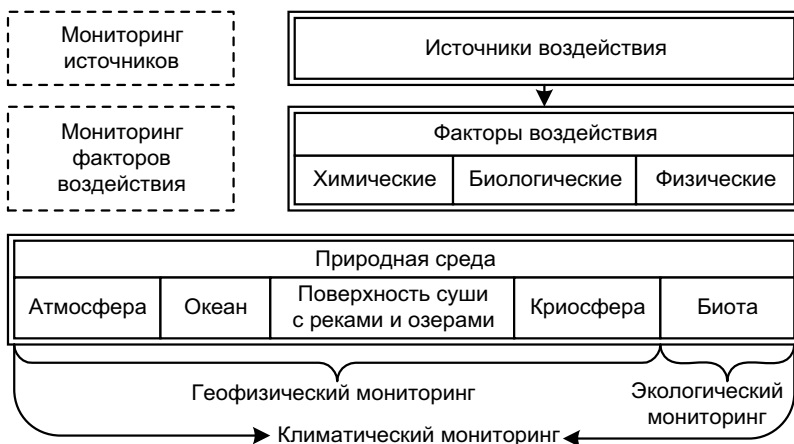


Рис. 2.2. Блок-схема системы мониторинга

По масштабам воздействия мониторинг бывает пространственным и временным.

По характеру обобщения информации различают следующие системы мониторинга:

- *глобальный* – слежение за общемировыми процессами и явлениями в биосфере Земли, включая все ее экологические компоненты, и предупреждение о возникающих экстремальных ситуациях;
- *базовый (фоновый)* – слежение за общебиосферными, в основном природными, явлениями без наложения на них региональных антропогенных влияний;
- *национальный* – мониторинг в масштабах страны;
- *региональный* – слежение за процессами и явлениями в пределах какого-то региона, где эти процессы и явления могут отличаться и по природному характеру, и по антропогенным воздействиям от базового фона, характерного для всей биосферы;
- *локальный* – мониторинг воздействия конкретного антропогенного источника;
- *импактный* – мониторинг региональных и локальных антропогенных воздействий в особо опасных зонах и местах.

Классификация систем мониторинга может основываться и на методах наблюдения (мониторинг по физико-химическим и биологическим показателям, дистанционный мониторинг).

Химический мониторинг – это система наблюдений за химическим составом (природного и антропогенного происхождения) атмосферы, осадков, поверхностных и подземных вод, вод океанов и морей, почв, донных отложений, растительности, животных и контроль за динамикой распространения химических загрязняющих веществ. Глобальной задачей химического мониторинга является определение фактического уровня загрязнения окружающей среды приоритетными высокотоксичными ингредиентами, представленными в табл. 2.1.

Т а б л и ц а 2.1. Классификация приоритетных загрязняющих веществ и контроль за их содержанием в различных средах

<i>Класс приоритетности</i>	<i>Загрязняющие вещества</i>	<i>Среда</i>	<i>Тип программы измерений</i>
I	Диоксид серы и взвешенные частицы	Воздух	И, Р, Б, Г
	Радионуклиды (Sr-90, Cs-197)	Пища	И, Р
II	Озон	Воздух	И, Б (в стратосфере)
	ДДТ и другие хлорорганические соединения	Биота, человек	И, Р
	Кадмий и его соединения	Пища, человек, вода	И
III	Нитраты, нитриты	Питьевая вода, пища	И
	Оксиды азота	Воздух	И
IV	Ртуть и ее соединения	Пища, воздух	И, Р
	Свинец	Воздух, пища	И
	Диоксид углерода	Воздух	Б
V	Оксид углерода	Воздух	И
	Нефтеуглеводороды	Морская вода	Р, Б
VI	Фтористые соединения	Питьевая вода	И
VII	Асбест	Воздух	И
	Мышьяк	Питьевая вода	И
VIII	Микротоксины	Пища	И, Р
	Микробиологическое заражение	Пища	И, Р
	Реактивные углеводороды	Воздух	И

П р и м е ч а н и е: И – импактный, Р – региональный, Б – базовый, Г – глобальный.

Физический мониторинг — система наблюдений за влиянием физических процессов и явлений на окружающую среду (наводнения, вулканизм, землетрясения, цунами, засухи, эрозия почв и т.д.).

Биологический мониторинг — мониторинг, осуществляемый с помощью биоиндикаторов (т. е. таких организмов, по наличию, состоянию и поведению которых судят об изменениях в среде).

Экобиохимический мониторинг — мониторинг, базирующийся на оценке двух составляющих окружающей среды (химической и биологической).

Дистанционный мониторинг — в основном, авиационный, космический мониторинг с применением летательных аппаратов, оснащенных радиометрической аппаратурой, способной осуществлять активное зондирование изучаемых объектов и регистрацию опытных данных.

В зависимости от принципа классификации имеются различные системы мониторинга (табл. 2.2).

Наиболее универсальным является комплексный экологический мониторинг окружающей среды.

Комплексный экологический мониторинг окружающей среды — это организация системы наблюдений за состоянием объектов окружающей природной среды для оценки их фактического уровня загрязнения и предупреждения о создающихся критических ситуациях, вредных для здоровья людей и других живых организмов. Различают мониторинг локальный, региональный и фоновый.

При проведении комплексного экологического мониторинга окружающей среды: а) проводится постоянная оценка экологических условий среды обитания человека и биологических объектов (растений, животных, микроорганизмов и т.д.), а также оценка состояния и функциональной целостности экосистем; б) создаются условия для определения корректирующих действий в тех случаях, когда целевые показатели экологических условий не достигаются.

Система комплексного экологического мониторинга предусматривает:

- выделение объекта наблюдения;
- обследование выделенного объекта наблюдения;
- составление для объекта наблюдения информационной модели;

Т а б л и ц а 2.2. Классификация систем (подсистем) мониторинга [19]

<i>Принцип классификации</i>	<i>Существующие или разрабатываемые системы (подсистемы) мониторинга</i>
Универсальные системы	Глобальный мониторинг (базовый, региональный, импактный уровни), включая фоновый и палеомониторинг Национальный мониторинг (например, Общегосударственная служба наблюдения и контроля за уровнем загрязнения внешней среды) Международный мониторинг (например, мониторинг трансграничного переноса загрязняющих веществ)
Реакция основных составляющих биосферы	Геофизический мониторинг Биологический мониторинг, включая генетический Экологический мониторинг (включающий вышеназванные)
Различные среды	Мониторинг антропогенных изменений (включая загрязнения и реакцию на него) в атмосфере, гидросфере, почве, криосфере и биоте
Факторы и источники воздействия	Мониторинг источников загрязнения Ингредиентный мониторинг (например, отдельных загрязняющих веществ, радиоактивных излучений, шумов и т.д.)
Острота и глобальность проблемы	Мониторинг океана Мониторинг озоносферы
Методы наблюдения	Мониторинг по физическим, химическим и биологическим показателям Спутниковый мониторинг (дистанционные методы)
Системный подход	Медико-биологический (состояния здоровья) мониторинг Экологический мониторинг Климатический мониторинг Вариант: биоэкологический, геоэкологический, биосферный мониторинг

- планирование измерений;
- оценку состояния объекта наблюдения и идентификацию его информационной модели;
- прогнозирование изменения состояния объекта наблюдения;
- представление информации в удобной для использования форме и доведение ее до потребителя.

Основные цели комплексного экологического мониторинга состоят в том, чтобы на основании полученной информации:

- 1) оценить показатели состояния и функциональной целостности экосистем и среды обитания человека (т. е. провести оценку соблюдения экологических нормативов);
- 2) выявить причины изменения этих показателей и оценить последствия таких изменений, а также определить корректирующие меры в тех случаях, когда целевые показатели экологических условий не достигаются (т. е. провести диагностику состояния экосистем и среды обитания);
- 3) создать предпосылки для определения мер по исправлению возникающих негативных ситуаций до того, как будет нанесен ущерб, т. е. обеспечить заблаговременное предупреждение негативных ситуаций).

В Российской Федерации функционирует несколько ведомственных систем мониторинга, например, служба наблюдения за загрязнением окружающей среды Росгидромета, служба мониторинга водных ресурсов Роскомвода, служба агрохимических наблюдений и мониторинга загрязнений сельскохозяйственных земель Роскомзема и др.

2.3. Критерии оценки качества окружающей среды

Государственная экологическая экспертиза представляет собой систему государственных природоохранных мероприятий, направленных на проверку соответствия проектов, планов и мероприятий в области народного хозяйства и природных ресурсов требованиям защиты окружающей среды от вредных воздействий.

Токсикологическая характеристика технологических процессов требует обоснования рекомендаций по такому изменению

производства, чтобы уменьшить количество вредных полупродуктов или побочных соединений или исключить их, и медико-технических требований к планированию производственных помещений, аппаратуре, санитарно-техническому оборудованию, в том числе очистному или рассеивающему, и — в случае необходимости — к индивидуальным средствам защиты. В основе этого лежит установление *предельно допустимых концентраций* (ПДК) *вредных веществ в различных средах*.

В воздушной среде:

- ПДК_{р. з} — *предельно допустимая концентрация вещества в воздухе рабочей зоны*, мг/м³. Эта концентрация при ежедневной (кроме выходных дней) работе в пределах 8 ч или другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не должна вызывать в состоянии здоровья настоящего и последующего поколений заболеваний или отклонений, обнаруживаемых современными методами исследования в процессе работы. Рабочей зоной считается пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которой находятся места постоянного или временного пребывания работающих;

- ПДК_{м. р} — *предельно допустимая максимальная разовая концентрация вещества в воздухе населенных мест*, мг/м³. Эта концентрация при вдыхании в течение 20 мин не должна вызывать рефлекторных (в том числе субсенсорных) реакций в организме человека;

- ПДК_{с. с} — *предельно допустимая среднесуточная концентрация токсичного вещества в воздухе населенных мест*, мг/м³. Эта концентрация не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неограниченно продолжительном вдыхании.

В водной среде:

- ПДК_в — *предельно допустимая концентрация вещества в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования*, мг/л. Эта концентрация не должна оказывать прямого или косвенного влияния на органы человека в течение всей его жизни, а также на здоровье последующих поколений и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования;

- ПДК_{в. р} — *предельно допустимая концентрация вещества в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей*, мг/л;

- Интегральные показатели для воды:

БПК — *биологическая потребность в кислороде* — количество кислорода, использованного при биохимических процессах окисления органических веществ (исключая процессы нитрификации) за определенное время инкубации пробы (2, 5, 20, 120 суток), мг O_2 /л воды (БПК_п — за 20 суток, БПК₅ — за 5 суток);

ХПК — *химическая потребность в кислороде*, определенная бихроматным методом, т. е. количество кислорода, эквивалентное количеству расходуемого окислителя, необходимого для окисления всех восстановителей, содержащихся в воде, мг O_2 /л воды.

По отношению БПК_п/ХПК судят об эффективности биохимического окисления веществ.

В почве:

- ПДК_п — *предельно допустимая концентрация вещества в пахотном слое почвы*, мг/кг. Эта концентрация не должна вызывать прямого и косвенного отрицательного влияния на здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы;

- ПДК_{пр} (ДОК) — *предельно допустимая концентрация (допустимое остаточное количество) вещества в продуктах питания*, мг/кг.

Если величина ПДК в различных средах не установлена, действует временный гигиенический норматив ВДК (ОБУВ) — временно допустимая концентрация (ориентировочно безопасный уровень воздействия) вещества. Временный норматив устанавливается на определенный срок (2—3 года).

Различные вещества могут оказывать сходное неблагоприятное воздействие на организм. Например, существует эффект суммации для диоксида азота и формальдегида, фенола и ацетона, этанола и целой группы органических веществ. Для токсичных веществ безопасная концентрация определяется соотношением $C/ПДК \leq 1$, где C — фактическая концентрация вещества в среде.

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

$$C_1/ПДК_1 < 1; \quad C_2/ПДК_2 < 1.$$

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

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} = 0,986 + 0,9 = 0,986 + 0,9 = 1,886 > 1.$$

Таким образом, сумма отношений концентраций к ПДК веществ, обладающих эффектом суммации, не должна превышать единицы.

Для более полной оценки качества среды сравнительно недавно стали использовать другой критерий — ПДЭН — *предельно допустимую экологическую нагрузку*: для воды — это ПДС — предельно допустимый сброс, г/с; для воздуха — ПДВ — предельно допустимый выброс, 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.

Недостатком изложенной выше схемы критериев оценки качества среды является разрозненность природоохранных функций различных министерств и ведомств, а также часто очень различающиеся значения ПДК в разных странах.

Контрольные вопросы



1. Какие основные задачи решают системы мониторинга окружающей среды?
2. Что означает термин «мониторинг»? Приведите формулировку определения мониторинга, данную программой ЮНЕП в 1974 г.
3. Какие типы классификации экологического мониторинга вы знаете?
4. Какие два основных критерия оценки качества окружающей среды вы знаете? В чем их различие?
5. Какие основные виды ПДК (предельно допустимой концентрации) для воздушной среды вы знаете? Укажите единицы измерения.

6. Приведите два различных вида ПДК для водной среды. В чем их различие? Каковы единицы измерения?
7. Какие существуют интегральные показатели качества воды? Каковы их единицы измерения?
8. Что такое эффект суммации? Приведите примеры.
9. Что означают аббревиатуры ВДК, ОБУВ, ПДЭН? В каких случаях эти показатели применяются для оценки качества среды? Каковы их единицы измерения?



Экотоксикология



3.1. Загрязнение окружающей среды токсикантами и количественные критерии оценки его фактического уровня

Активизация хозяйственно-производственной деятельности человека в современных условиях природопользования и глобальные масштабы ее антропогенного воздействия на главные составляющие биосферы создают ситуацию острого экологического кризиса, обусловленную деградацией объектов окружающей среды. В связи с этим для оптимизации условий взаимодействия человека с природой важной представляется роль всестороннего анализа окружающей природной среды [16], главными задачами которого является комплексная оценка экологического резерва биосферы и ее потенциальных возможностей к самовосстановлению и самоочищению, анализ широкого спектра различных типов воздействий (как приоритетных, так и не приоритетных) на природные экосистемы и изучение специфических особенностей этих воздействий [15].

В последние годы особую значимость и актуальность приобретают токсикологические аспекты всестороннего анализа окружающей среды [43, 9, 53]. Серьезной проблемой является установление пороговости эффекта токсикологического воздействия в системах «токсикант – окружающая среда» и «токсикант – живой организм» и определение зависимости «доза – ответная реакция», которая послужила активным импульсом для развития нового направления в экологии, базирующегося на фундамен-

тальных основах токсикологической, бионеорганической и экологической химии, называемого *экотоксикологией*. Научная значимость экотоксикологии состоит в изучении современных представлений токсичности и канцерогенности элементов и их соединений, исследовании специфических биогеохимических особенностей поведения токсикантов в окружающей среде, механизма их распространения и метаболизма; установлении взаимосвязи между необходимостью и токсичностью элементов; определении локализации канцерогенных ионов; оценке порогового эффекта токсикологического воздействия.

Подобный целостный комплекс достаточно сложных научно-прикладных задач, решение которых предусматривается в рамках экотоксикологии, в большинстве случаев позволяет произвести количественную оценку порогового эффекта токсикологического воздействия, имеющего место в системах «токсикант – окружающая среда» и «токсикант – живой организм» согласно уравнению [34]:

$$D_r = D_o - (D_e + D_m)$$

- где D_r — доза вредного вещества, достигая рецептора;
 D_o — доза вредного вещества, введенная в организм;
 D_e и D_m — дозы вредного вещества, соответственно выделенные из организма и обезвреженные в процессе продвижения яда к рецептору.

Концепция пороговости предполагает высокое качество среды и полную безопасность для человека и любых популяций при условии загрязнения этой среды ниже определенного уровня, воздействие которого на любые организмы меньше некоторого порогового значения.

Загрязнение окружающей среды — это процесс привнесения в среду или возникновение в ней новых, обычно не характерных для нее физических, химических, биологических агентов, оказывающих негативное воздействие. Существуют три этапа загрязнения: физическое (солнечная радиация, электромагнитное излучение и т.д.), химическое (аэрозоли, тяжелые металлы и т.д.), биологическое (бактериологическое, микробиологическое). Каждый тип загрязнения имеет характерный и специфичный для него источник загрязнения — природный или хозяйственный объект, являющийся началом поступления вещества-загрязнителя в окружающую среду. Различают природные и антропогенные источники загрязнения.

Основные природные источники поступления токсикантов в окружающую среду — ветровая пыль, лесные пожары, вулканический материал, растительность, морские соли.

Антропогенные источники — это первичное и вторичное производство цветных металлов, стали, чугуна, железа; добыча полезных ископаемых; автомобильный транспорт; химическая промышленность; производство меди, фосфатных удобрений; процессы сжигания угля, нефти, газа, древесины, отходов и др. Антропогенный поток поступления токсикантов в окружающую среду превалирует над естественным (50—80%) и лишь в некоторых случаях сопоставим с ним.

В качестве критериев количественной оценки уровня загрязнения окружающей среды могут быть использованы индекс загрязнения, предельно допустимая, фоновая и токсическая концентрации.

Индекс загрязнения (ИЗ) — показатель, качественно и количественно отражающий присутствие в окружающей среде вещества-загрязнителя и степень его воздействия на живые организмы.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) — количество вредного вещества в окружающей среде, которое при постоянном контакте или при воздействии за определенный промежуток времени практически не влияет на здоровье человека. Предельно допустимые концентрации веществ, загрязняющих биосферу, вводились как нормирующие показатели во многих странах, в том числе и в нашей стране. Они устанавливались в приземной атмосфере, водах, почвах, растениях, продуктах питания (табл. 3.1—3.4).

Существующая система ПДК недостаточно достоверно информативна, поскольку предусматривает определение индивидуального токсиканта, дистанцируясь от вопроса о комплексном воздействии различных загрязнителей. Между тем совместное действие, например, органокомплексов тяжелых металлов кардинально меняет ПДК, экспериментально полученные для отдельного тяжелого металла.

Фоновая концентрация — содержание вещества в объекте окружающей среды, определяемое суммой глобальных и региональных естественных и антропогенных вкладов в результате дальнего или трансграничного переноса.

Под *токсической концентрацией* понимают либо концентрацию вредного вещества, которое способно при различной дли-

тельности воздействия вызывать гибель живых организмов, либо концентрацию вредного начала, вызывающую гибель живых организмов в течение 30 суток в результате воздействия на них вредных веществ [11].

Говоря о токсической концентрации как о своеобразном индикаторе токсичности природно-антропогенных экосистем, нельзя не коснуться и таких важных понятий в экотоксикологии, как вредное вещество или токсикант — загрязнитель, метаболизм, канцерогенез, токсичность как результат избытка необходимых веществ и соединений, биогеохимические свойства токсикантов и их химически активные миграционные формы в окружающей природной среде.

Т а б л и ц а 3.1. Предельно допустимые концентрации приоритетных токсикантов в объектах окружающей природной среды [35, 28, 29]

Элемент	ПДК				
	В па- хотном слое почвы, мг/кг	Разовая в воздухе насе- ленных мест, мг/м ³	Среднесуточная, мг/м ³	В воде для хо- зяйственно- питьевого и культурно- бытового во- доснабжения, мг/л	В воде для рыбохозяй- ственных целей, мг/л
Hg	0,1	0,01; 0,05 (HgO)	0,0003	0,005 (HgO) 0,0005 (Hg ²⁺)	
Pb	20,0	0,01	0,0003; 0,0017 (PbSO ₄)	0,03—0,1	0,03—0,1
Zn		0,5	0,05	1,0—50	0,01
Ni		0,05	0,001 (NiO) 0,0002 (NiSO ₄)	0,1	
Cu	0,001	0,1	0,002	0,1—0,5	0,001— 0,01
Cd		0,2	0,001	0,01	0,005
Co		0,5	0,001	1,0	0,01
Fe			0,04 (Fe ₂ O ₃); 0,07(FeO ₄)	0,5 (Fe ²⁺)	0,5

Т а б л и ц а 3.2. Предельно допустимые концентрации веществ, загрязняющих поверхностные воды [11]

<i>Вещество</i>	<i>ПДК в воде по санитарно-токсико-логическому признаку вредности</i>	<i>Класс опасности</i>
Акриламид	0,01	2
Алюминий	0,5	2
Анилин	0,1	2
Ацетонциангидин	0,001	2
Барий	0,1	2
Бензол	0,5	2
Бенз(а)пирен	0,000005	1
Бериллий	0,0002	1
Бор	0,5	2
Бром	0,2	2
Висмут	0,1	2
Вольфрам	0,05	2
Гексаметилендиамин	0,01	2
ДДТ	0,1	2
Диметиламин	0,1	2
Диметилдиоксан	0,005	2
2,5-дихлорнитробензол	0,1	2
Дихлорэтан	0,02	2
Дихлорэтилен	0,0006	1
Диэтилртуть	0,0001	1
Кадмий	0,001	2
Кобальт	1,0	2
Литий	0,003	2
Нитраты	10,0	2
Пентахлорбифенил	0,01	1
Пиридин	0,2	2
Ртуть	0,0005	1
Свинец	0,03	2
Стронций	7,0	2
Сурьма	0,05	2
Таллий	0,0001	1
Тетрахлорбензол	0,02	2
Тетрахлорэтилен	0,02	2
Тетраэтилсвинец	отсутствует	1
Трирезинфосфат	0,005	2
Трихлорбифенил	0,001	1
Фтор	1,5	2
Хлороформ	0,06	2
Четыреххлористый углерод	0,006	2
Этилмеркурхлорид	0,0001	1

Т а б л и ц а 3.3. Санитарные нормы допустимых концентраций некоторых химических ингредиентов в почвах [11]

<i>Химический ингредиент</i>	<i>ПДК, мг/кг почвы с учетом фона</i>
<i>Подвижная форма</i>	
Кобальт	5,0
Фтор	2,8
Хром	6,0
<i>Водорастворимая форма</i>	
Фтор	10,0
<i>Валовое содержание</i>	
Бенз(а)пирен	0,02
Кислоты (орто-, мета-, пара-)	0,3
Мышьяк	2,0
Ртуть	2,1
Свинец	32,0
Свинец + ртуть	20 + 1,0
Сернистые соединения:	
элементарная сера	160,0
сероводород	0,4
серная кислота	160,0
Стирол	0,1
Формальдегид	7,0
Хлористый калий	560
Хром (Cr ⁶⁺)	0,05
Ацетальдегид	10,0
Суперфосфат (P ₂ O ₅)	200

Т а б л и ц а 3.4. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в пищевых продуктах [11]

<i>Металлы</i>	<i>ПДК, мг/кг</i>
1	2
<i>Зерно, мука продовольственные крупы</i>	
Ртуть	0,001
Свинец	0,08
<i>Мясо, птица, мясопродукты</i>	
Свинец	0,5
Ртуть	0,03

Продолжение табл. 3.4

1	2
<i>Рыба и рыбопродукты</i>	
Свинец	1,0
Мышьяк	1,0
Ртуть	0,2–0,7
<i>Молоко и молочные продукты</i>	
Ртуть	0,005
Свинец	0,05
Кадмий	0,01
<i>Фрукты, цитрусовые, овощи свежие, замороженные, сухие</i>	
Свинец	0,4–0,5
Мышьяк	0,2
<i>Фруктовые соки и компоты</i>	
Свинец	0,4
Мышьяк	0,2
Медь	5,0
Кадмий	0,02
<i>Жиры и масла</i>	
Свинец	1,0
Кадмий	0,05
Медь	0,5 (живот. жир) 0,4 (масло растит.) 0,1 (масло растит. раф., маргарин)
Цинк	0,5 (живот. жир) 10,0 (масло растит., маргарин)
<i>Безалкогольные напитки</i>	
Свинец	0,4
<i>Алкольные напитки</i>	
Свинец	0,3–1,0
Кадмий	0,05
Мышьяк	1,0
<i>Соусы</i>	
Свинец	3,0 (кетчуп)
<i>Соевые белки</i>	
Ртуть	0,03
Кадмий	0,2
Свинец	2,0
Цинк	60,0
Мышьяк	1,0
Медь	30,0

Окончание табл. 3.4

1	2
<i>Продукты, законсервированные в жестяную тару</i>	
Олово	100 – 200
<i>Продукты детского и диетического питания</i>	
Ртуть	0,005
Свинец	0,1
Кадмий	0,01
Медь	2,0
Цинк	5,0
<i>Продукты детского питания на фруктовой и овощной основах</i>	
Ртуть	0,01
Кадмий	0,03 – 0,05
Мышьяк	0,1
Медь	5,0
Цинк	30
<i>Зерно для детского и диетического питания (пшеница, рис, овес, кукуруза, гречиха)</i>	
Ртуть	0,01
Свинец	0,2
Кадмий	0,02
Медь	5,0
Цинк	10,0 (гречиха), 25,0
<i>Молотые продукты для детского и диетического питания (крупа, мука, молоко)</i>	
Ртуть	0,01
Свинец	0,2
Кадмий	0,02
Медь	4,0, 10,0 (гречневая крупа)
Цинк	20,0

3.2. Токсиканты и их специфические биогеохимические особенности

Понятия «вредное вещество» и «токсикант» — ключевые в экотоксикологии.

Вредное вещество — это инородный нехарактерный для природных экосистем ингредиент, оказывающий отрицательное влияние на них и живые организмы, обитающие в этих экосистемах.

Токсиканты – вещества или соединения, способные оказывать ядовитое действие на живые организмы. В зависимости от характера воздействия и степени проявления токсичности, т. е. способности этих веществ оказывать вредное воздействие на живые организмы, они классифицируются на две большие группы: токсичные и потенциально токсичные. По химической природе вредные вещества, или токсиканты, бывают неорганического происхождения (кадмий, ртуть, свинец, мышьяк, никель, бор, марганец, селен, хром, цинк и др.) и органического (нитразосоединения, фенолы, амины, нефтепродукты, поверхностно-активные вещества, пестициды, формальдегид, бенз(а)пирен и др.). Существует классификация опасности различных химических веществ, попадающих в окружающую среду. В зависимости от степени токсикологического воздействия химические вещества подразделяют на три класса (табл. 3.5).

Т а б л и ц а 3.5. Классы опасности различных химических веществ, попадающих в почву из выбросов, сбросов и отходов

<i>Класс опасности</i>	<i>Химическое вещество</i>
I	Мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор, бенз(а)пирен
II	Бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром
III	Барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетофенон

Наиболее приоритетными для химико-токсикологического анализа являются тяжелые металлы (свинец, ртуть, кадмий, медь, никель, кобальт, цинк), обладающие высокой токсичностью и миграционной способностью.

Поведение этих токсикантов в различных природных средах обусловлено специфичностью их основных биогеохимических свойств: комплексообразующей способностью, подвижностью, биохимической активностью, минеральной и органической формами распространения, склонностью к гидролизу, растворимостью, эффективностью накопления [33]. По характеру взаимодействия с различными лигандами тяжелые металлы счи-

таются промежуточными акцепторами между жесткими и мягкими кислотами [23]. В первом случае для них характерны низкие поляризуемость и электроотрицательность, высокая степень окисления и образование ионных связей, во втором — образование преимущественно ковалентных связей.

Определенная аналогия биогеохимических свойств некоторых тяжелых металлов позволила сгруппировать эти элементы и выявить общие закономерности их токсикологического воздействия на окружающую среду (табл. 3.6).

Т а б л и ц а 3.6. Основные биогеохимические свойства тяжелых металлов

<i>Свойства</i>	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
Биохимическая активность	—	В	В	В	В	В	В
Токсичность	У	У	У	У	В	В	В
Канцерогенность	В	В	—	—	—	—	—
Обогащение глобальных аэрозолей	Н	Н	В	В	В	В	В
Минеральная форма распространения	В	Н	Н	Н	В	В	В
Органическая форма распространения	Н	Н	У	У	В	В	В
Подвижность	Н	Н	У	У	В	В	В
Тенденция к биоконцентрированию	В	В	У	У	В	В	В
Эффективность накопления	У	У	В	В	В	В	В
Комплексообразующая способность	Н	Н	В	В	У	У	Н
Склонность к гидролизу	Н	У	В	В	У	У	У
Растворимость	Н	Н	В	В	В	В	В
Время жизни	В	В	В	В	Н	Н	Н

П р и м е ч а н и я: В — высокая, У — умеренная, Н — низкая.

Так, например, медь и цинк характеризуются как наибольшей химической активностью, позволяющей считать их хорошими индикаторами терригенного стока, седиментации, так и высокой эффективностью накопления в водорослях и планктоне, что определяет их особую значимость для биоты [38]. Они являются главными составляющими многих металлоферментов, участвующих в природной селекции аэробных клеток, в окислительно-восстановительных процессах тканей, иммунной реакции, стабилизации рибосом и мембран клеток [43].

Никель и кобальт — биологически активные и канцерогенные. Сравнительно малая подвижность этих элементов обуславливает их достаточно равномерное распределение в природных средах.

Геохимические особенности свинца — малая подвижность и непродолжительное время жизни в атмосфере и фазе раствора природных вод. В поверхностных водах оно составляет несколько лет, а в глубинных — до 100 лет [7].

По химическим свойствам и специфике поведения в различных природных средах кадмий имеет определенную аналогию с цинком. Высокая токсичность и растворимость этого элемента обусловлены большим сродством к SH-группам [4]. В отличие от ртути сродство кадмия к кислороду выражено менее ярко, что объясняет образование его достаточно неустойчивых металлорганических соединений и определенную инертность в окислительно-восстановительных реакциях. Кадмий склонен к активному биоконцентрированию, что приводит в довольно короткое время к его накоплению в избыточных биодоступных концентрациях. Поэтому кадмий по сравнению с другими тяжелыми металлами является наиболее сильным токсикантом почв ($Cd > Ni > Cu > Zn$) [24].

Ртуть — самый токсичный элемент в природных экосистемах. По токсикологическим свойствам соединения ртути классифицируются на следующие группы: элементная ртуть, неорганические соединения, алкилртутные (метил- и этил-) соединения с короткой цепью и другие ртутьорганические соединения, а также комплексные соединения ртути с гумусовыми кислотами [5]. Из этих соединений ртути наиболее токсичны для человека и биоты ртутьорганические соединения. Их доля в речных водах составляет 46% от общего содержания, в донных отложениях — до 6%, в рыбах — до 80—95%. Как неорганические, так и органические соединения ртути высокорастворимы.

Степень загрязнения окружающей среды токсикантами во многом определяется их химически активными миграционными формами и механизмом миграции.

Миграция элементов — это перенос и перераспределение химических элементов в земной коре и на поверхности Земли.

Сложность биогеохимических процессов, происходящих в атмосферном воздухе, атмосферных осадках, природных водах, донных отложениях, почвах, не позволяет высказать достаточно

однозначной точки зрения на соединения тяжелых металлов, определяющих их подвижные формы, и преобладание одной из них в естественных и техногенных процессах. Тем не менее анализ фундаментальных работ позволил сделать следующее заключение: в атмосферном воздухе и атмосферных осадках тяжелые металлы находятся и мигрируют в газообразной и аэрозольной формах, а также в форме органических и неорганических комплексных соединений; в природных водах — в форме свободных ионов, мономерных гидроксокомплексов, неорганических (сульфатные, хлоридные, карбонатные) и органических (фульватные, гуматные) соединений, взвешенных и коллоидных формах; в донных отложениях — преимущественно во взвешенных формах органического происхождения; в почвах — в водорастворимых ионообменных и непрочно адсорбированных формах.

3.3. Понятие токсичности и канцерогенности элементов и соединений

Показателями негативного воздействия элементов и соединений на живые организмы являются их токсичность и канцерогенность.

Токсичность и канцерогенность — это свойства элементов и соединений, отрицательно влияющие на живые организмы и приводящие к уменьшению продолжительности их жизни.

Количество, при котором химические ингредиенты становятся действительно опасными для окружающей среды, зависит не только от степени загрязнения ими гидросферы или атмосферы, но также от химических особенностей этих ингредиентов и от деталей их биохимического цикла. Для сравнения степени токсикологического воздействия химических ингредиентов на различные организмы пользуются понятием *молярной токсичности*, на которой основан ряд токсичности, отражающий увеличение молярного количества металла, необходимого для проявления эффекта токсичности при минимальной молярной величине, относящейся к металлу с наибольшей токсичностью [37] (табл. 3.7).

Т а б л и ц а 3.7. Молярная токсичность металлов

Организмы	Ряды токсичности
Водоросли	Hg > Cu > Cd > Fe > Cr > Zn > Co > Mn
Грибки	Ag > Hg > Cu > Cd > Cr > Ni > Pb > Co > Zn > Fe
Цветущие растения	Hg > Pb > Cu > Cd > Cr > Ni > Zn
Кольчатые черви	Hg > Cu > Zn > Pb > Cd
Рыбы	Ag > Hg > Cu > Pb > Cd > Al > Zn > Ni > Cr > Co > Mn >> Sr
Млекопитающие	Ag, Hg, Cd > Cu, Pb, Co, Sn, Be >> Mn, Zn, Ni, Fe, Cr >> >> Sr > Cs, Li, Al

Глобальный перенос токсикантов происходит через атмосферу и большие реки, несущие воды в океаны. Земля, ложа рек, океаны служат как бы резервуаром для скопления токсикантов (табл. 3.8). Тот или иной предел, до которого атмосфера привносит токсикант (T) либо в землю, либо на поверхность океана сверх природного циклического уровня, может быть выражен с помощью фактора обогащения EF_A :

$$EF_A = \frac{J_T}{J_{IT}} \cdot \frac{\text{Поверхностная концентрация } IT}{\text{Поверхностная концентрация } T},$$

где J_T — средний поток (осадки) E на землю или поверхность океана;
 J_{IT} — средний поток (осадки) индексного T (index toxicant IT) при условии его пренебрежимо малых антропогенных «отложений» в атмосфере. Обычно в качестве IT выбирают алюминий, кремний, титан и железо.

Таблица 3.8. Концентрации некоторых потенциально опасных металлов в пресной и морской воде (мг/м^3) [по данным Боуэна]

Металл	Пресная вода	Морская вода	Металл	Пресная вода	Морская вода
Li	2	180	Sr	70	8000
Be	0,3	0,006	Mo	0,5	10
Al	300	2	Ag	0,3	0,04
V	0,5	2,5	Cd	0,1	0,01
Cr	1	0,3	Sn	0,009	0,004
Mn	8	0,2	Sb	0,2	0,2
Co	0,2	0,02	Cs	0,02	0,3
Ni	0,5	0,6	Hg	0,1	0,03
Cu	3	0,3	Pb	3	0,03
Zn	15	5	U	0,4	3

Антропогенный перенос токсикантов посредством рек может быть оценен по фактору обогащения EF_w :

$$EF_w = (T_{FW}/A_{FW}) (A_S/T_S),$$

где T_{FW} — средняя концентрация токсиканта в пресной воде;

T_S — средняя концентрация токсиканта на поверхности почвы.

Факторами окружающей среды, влияющими на токсичность, являются температура, растворенный кислород, рН, жесткость и щелочность воды, присутствие хелатообразующих агентов и других загрязнителей в воде [46]. Уменьшение парциального давления кислорода и увеличение рН и жесткости воды приводят к понижению токсикологического воздействия веществ-загрязнителей на окружающую среду и живые организмы, обитающие в ней. Устойчивость живого организма по отношению к токсикантам может быть достигнута при: 1) уменьшении поступления токсиканта; 2) увеличении коэффициента выделения токсиканта; 3) переводе токсиканта в неактивную форму в результате его изоляции или осаждения. Например, синтез металлохелатионов обуславливается несколькими металлами, включая ртуть, кадмий, цинк, медь, серебро. Поэтому наличие одного из этих металлов может вызвать устойчивость к другому металлу из-за неспецифичности лигандов.

Факторы, влияющие на доступность токсикантов, усвоение, их воздействие на организм, могут быть совершенно разной природы:

- химические (химические свойства, окислительно-восстановительные потенциалы, частота воздействия);
- физические (освещенность, температура, турбулентность в растворах);
- биологические (размеры, стадии развития, упитанность, состояние здоровья, акклиматизация).

Канцерогенез — это способность металла проникать в клетку и реагировать с молекулой ДНК, приводя к хромосомным нарушениям клетки. Канцерогенными веществами являются никель, кобальт, хром, мышьяк, бериллий, кадмий. Различие в канцерогенной активности определяется биодоступностью металлопроизводных: наиболее потенциально активные соединения содержат канцерогенные ионы металла, способные легко внедряться в клетки и реагировать с молекулой ДНК [20]. Например, соли шестивалентного хрома CrO_4^{2-} потенциально более канцерогенны, чем соли трехвалентного хрома $CrCl_3$, поскольку первые легче проникают в клетки, а вторые — лишь ограниченно.

Канцерогенез зависит как от механизма поступления канцерогенных веществ в клетку, так и от их количества внутри клетки. Важным фактором в этом аспекте является общая цитотоксическая активность конкретного иона металла. Так, например, если ион металла также активен и цитотоксичен, как Hg^{2+} , то гибель клетки будет предшествовать канцерогенному ответу.

Канцерогенные вещества могут быть разделены на три категории: 1) металлсодержащие частицы; 2) водорастворимые соединения металлов; 3) жирорастворимые соединения. Наибольшей проникающей способностью в клетку обладают водорастворимые соединения. Например, такой водорастворимый ион металла, как хромат-ион CrO_4^{2-} , способен легко проникать в клетки с использованием SO_4^{2-} -транспортной системы. А никель в ионной форме не внедряется в клетки с легкостью и поэтому многие водорастворимые соли никеля не рассматриваются как потенциально канцерогенно опасные. Жирорастворимые соединения металлов, такие, например, как карбонил никеля $\text{Ni}(\text{CO})_4$, легко входят в клетку и поэтому очень токсичны.

На механизм канцерогенеза сильно влияет рН среды, температура, наличие в клетке аминокислот. При более кислых значениях рН наблюдается наибольшая растворимость канцерогенов в клетках. Присутствие в клетке аминокислот, хорошо связывающих металлы (таких, как цистеин, гистидин), сильно понижает способность канцерогенов, например, никеля, проникать в клетки. Температура среды является ярким индикатором канцерогенеза. Повышение ее приводит к ускорению процесса канцерогенеза.

Локализация канцерогенных ионов металлов в клетках приводит к хромосомным нарушениям, которые являются результатом сшивания молекул ДНК с белком и трансформации клетки. Такие канцерогенные металлы, как никель и хром, образуют очень стабильные тройные комплексы, состоящие из ДНК, металла и белка. Образовавшись, эти комплексы чрезвычайно устойчивы, они вовлекают в канцерогенез никель и хром, и перераспределение ионов металлов по мере образования этих комплексов становится менее вероятным.

Объекты экотоксикологических исследований чрезвычайно разнообразны. Это воды, почвы, фармацевтические препараты, биологические объекты животного происхождения, пищевые продукты и напитки, пестициды, средства бытовой химии, растительность, отходы и т.д. Поэтому комплекс прикладных задач,

решаемых экотоксикологией, далеко не прост и весьма специфичен. Наиболее приоритетные из них:

- 1) создание современной методологии экотоксикологических исследований, позволяющей проводить достоверную оценку качества окружающей среды в условиях природопользования и комплексного влияния основных ее экологических составляющих на живые организмы;
- 2) осуществление ранней диагностики изменений в организме, выявляемых до наступления морфологических, генетических, популяционных и других изменений;
- 3) разработка прикладных основ химико-токсикологического анализа приоритетных загрязнителей, включающего разнообразные способы их обнаружения, изолирования и количественного определения в объектах окружающей среды;
- 4) создание целенаправленного мониторинга токсикантов, вызывающих те или иные отклонения в живых организмах, который позволит по-новому подойти к идентификации наиболее активно действующего фактора, так как специфичность биохимического ответа организма даст возможность проследить путь от следствия к причине, т. е. выйти на соответствующего токсического агента или на узкую группу агентов, выделяя их из общего массива веществ-загрязнителей.

Основная задача химико-токсикологического анализа — установление характера объекта, его консистенции и морфологического состава [45].

Чрезвычайно большое разнообразие объектов химико-токсикологического анализа обуславливает специфические его особенности, заключающиеся в изолировании (или извлечении из достаточно большого количества исследуемого образца ничтожно малых количеств токсиканта) и необходимости анализа в большинстве случаев не индивидуальных веществ, а многокомпонентных смесей, в которых каждый определяемый компонент может влиять на последующий. Стандартная схема выполнения химико-токсикологического анализа (рис. 3.1) включает методы выделения (или изолирования) и очистки токсикантов, а также методы их качественного обнаружения и количественного определения. Среди этих методов особое внимание, как правило, уделяется методам выделения и очистки, поскольку анализируемые системы представляют собой достаточно сложные неодно-

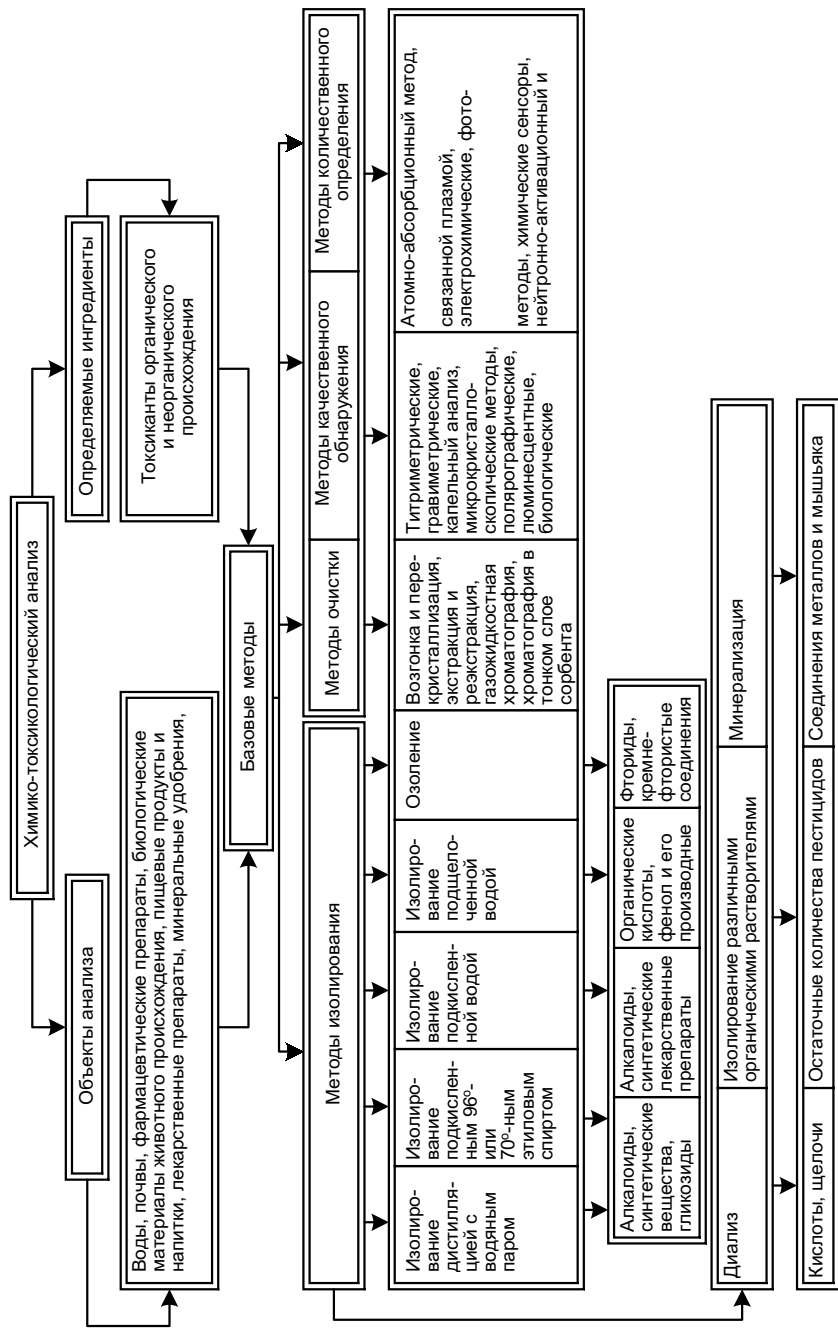


Рис. 3.1. Схема химико-токсикологического анализа

родные и многокомпонентные смеси, анализ которых сопряжен с рядом трудностей, обусловленных селективностью определения, достоверностью и воспроизводимостью получаемых аналитических данных.

В зависимости от свойств и природы токсикантов для выделения веществ органического происхождения применяют различные способы изолирования: дистилляцией с водяным паром; подкисленным 96°- или 70°-ным этиловым спиртом (алкалоиды, ряд синтетических веществ, гликозиды); подкисленной водой (алкалоиды, синтетические лекарственные препараты и др.); подщелоченной водой (некоторые органические кислоты, фенол и его производные); различными органическими растворителями (остаточные количества пестицидов и др.).

Для изолирования веществ неорганической природы используются минерализация (соединения металлов и мышьяка), диализ (кислоты, щелочи, соли некоторых ядовитых кислот), озонирование (фториды, кремнефтористые соединения).

Основными методами, применяемыми для очистки выделенных токсикантов, являются возгонка и перекристаллизация; экстракция и реэкстракция; различные виды хроматографии (газожидкостная, хроматография в тонком слое сорбента). Наиболее широко применяются последние из описанных вследствие дуализма характерных для них аналитических возможностей. Так, они позволяют не только определить и отделить исследуемые соединения от сопутствующих компонентов, но и качественно определить их структуры и количественное содержание. Например, газожидкостная хроматография широко применяется для анализа спиртов (этилового, метилового и др.), ацетальдегида, некоторых галогенопроизводных, а хроматография в тонком слое сорбента — для анализа барбитуратов, алкалоидов, различных лекарственных веществ, гликозидов, элементо-органических соединений.

Основные требования к методам качественного обнаружения — достаточно высокая чувствительность, характеризующаяся низким пределом обнаружения, и специфичность. В ряде случаев на практике применяют весьма традиционные аналитические методы (гравиметрические и титриметрические), однако они не распространены широко из-за недостаточной чувствительности (диапазон определяемых содержаний токсикантов 0,1—1 г) при необходимости работы с достаточно большими объемами растворов (до 100 мл). Более чувствительными и экс-

прессными являются микрохимические методы, например, капельный анализ и микрокристаллоскопический анализ с элементами кристаллооптики, широко применяющиеся для анализа как органических, так и неорганических соединений, позволяющие определять токсиканты в диапазоне концентраций 0,001—0,01 г при анализе очень малых объемов анализируемых систем (от 0,01 до 0,1 мл).

Для обнаружения отдельных токсических соединений (хинина, стрихнина, никоглина, атропина и др.) применяются хроматографические, полярографические, люминесцентные и биологические методы.

Методы количественного определения токсикантов представлены арсеналом различных физических (нейтронно-активационный, рентгенофлуоресцентный, масс-спектрометрический) и физико-химических методов (атомно-абсорбционный анализ, атомно-эмиссионный метод с индуктивно связанной плазмой, хроматографические, электрохимические и спектрофотометрические методы с использованием органических реагентов различных классов). В последнее время активно применяются тест-методы на основе классических цветных реакций, позволяющие определять токсиканты на уровне экспресс-анализа с достаточно высокой точностью и селективностью. Перспективны в экотоксикологии комбинированные аналитические методы, сочетающие эффективные приемы концентрирования с разнообразными способами детектирования и химическими сенсорами.

Контрольные вопросы



1. Что такое экотоксикология?
2. Каковы задачи экотоксикологии?
3. Как определяется пороговый эффект токсикологического воздействия в системах «токсикант—окружающая среда» и «токсикант—живой организм»?
4. Что показывает индекс загрязнения?
5. Что такое ПДК?
6. Что такое фоновая концентрация и токсическая концентрация?
7. Дайте определение канцерогенеза.

Раздел 2

Охрана окружающей среды



Не обвиняйте природу, она сделала
свое дело, делайте теперь свое.

Д. Мильтон

**Глава 4. Защита биосферы
от загрязнений**

**Глава 5. Основы рационального
природопользования**

Глава 6. Экологический менеджмент

Глава 7. Экологический маркетинг

Глава 8. Экологическое право

4

Защита биосферы от загрязнений



4.1. Основные виды загрязнений природной среды

Чтобы обеспечить свое существование, человечество должно иметь пищу, воду, кров, одежду и т.д. Все это с неизбежностью предполагает образование различного рода отходов, которые поступают в окружающую среду. Во избежание ненужного, а порой и непоправимого ущерба, наносимого природной среде, такое воздействие на среду должно тщательно планироваться. При этом следует сочетать удовлетворение потребностей человека за счет природы с активной защитой природной среды от последствий человеческой деятельности. Как правило, эти цели не исключают друг друга, хотя в некоторых случаях приходится принимать компромиссные решения. Например, количество отходов, приходящихся на типичный американский город с населением 1 млн человек, является поразительным (рис. 4.1). Ежедневно в городскую канализацию поступает 80% количества воды, которое приходится на одного жителя (0,6 т); образуется 150 т сажи, зольной пыли и других загрязнителей воздуха и 2000 т твердых отходов.

Теоретически в условиях города возможно избежать загрязнения окружающей среды: получать чистую воду из сточных вод, а на иле сточных вод выращивать сельскохозяйственную продукцию. Даже CO_2 и H_2O , выделяемые при дыхании, можно было бы превратить с помощью растений и водорослей в углеводы и кислород. Однако согласно законам термодинамики такое изолированное существование веществ не может продолжаться бесконечно долго.

Город с населением в 1 млн человек	
ВОДА 625 000 т/сутки ПИЩА 2000 т/сутки УГОЛЬ 4000 т/сутки НЕФТЬ 2800 т/сутки ПРИРОДНЫЙ ГАЗ 2700 т/сутки ТОПЛИВО ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ 100 т/сутки	СТОЧНЫЕ ВОДЫ 500 000 т/сутки ТВЕРДЫЕ ОТХОДЫ 2000 т/сутки ЧАСТИЦЫ 150 т/сутки ДИОКСИД СЕРЫ 150 т/сутки ОКСИД АЗОТА 150 т/сутки УГЛЕВОДОРОДЫ 1000 т/сутки ОКСИД УГЛЕРОДА 450 т/сутки
{ Топливо { Загрязнители воздуха	{ {

Рис. 4.1. Основные входные (вода, пища, топливо) и выходные (сточные воды, твердые отходы, загрязнители воздуха) потоки города

Любая деятельность человека оказывает воздействие на суммарные ресурсы Земли. Казалось бы, в результате такой деятельности ресурсы Земли должны иссякнуть. Однако не следует забывать, что Земля постоянно получает приток новой энергии, источником которой является Солнце.

Таким образом, деятельность человека причиняет ущерб окружающей среде независимо от его добрых намерений и задача состоит в том, чтобы сделать последствия этой деятельности наименее пагубными.

Загрязнения окружающей среды (ОС) можно классифицировать (рис. 4.2) на физические (шум, вибрации, различные виды излучений) и химические (различные вещества: в воздухе — это токсичные газы и пары, в воде и почве — ионы тяжелых металлов).

4.2. Защита атмосферы

Характеристика атмосферы и виды загрязнений. Огромное число вредных веществ находится в воздухе, которым мы дышим.

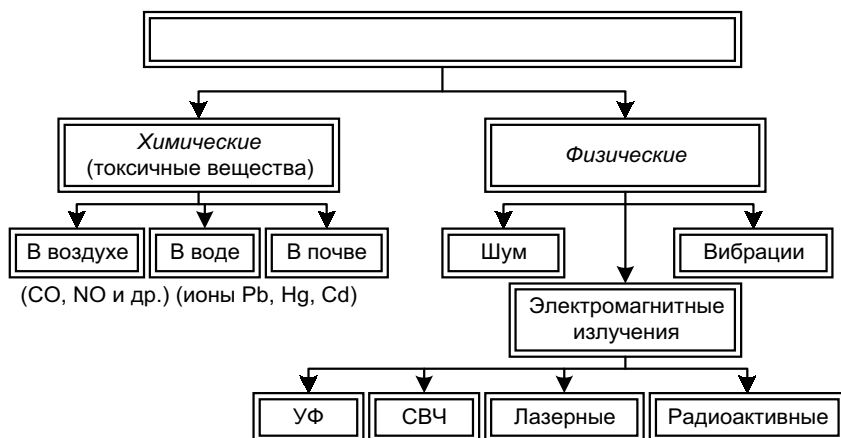


Рис. 4.2. Антропогенные загрязнения ОС

Это и твердые частицы, например частицы сажи, асбеста, свинца, и взвешенные жидкие капельки углеводородов и серной кислоты, и газы, такие, как оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы. Все эти загрязнения, находящиеся в воздухе, оказывают биологическое воздействие на организм человека: затрудняется дыхание, осложняется и может принять опасный характер течение сердечно-сосудистых заболеваний. Под действием одних содержащихся в воздухе загрязнителей (например, диоксида серы и углерода) подвергаются коррозии различные строительные материалы, в том числе известняк и металлы. Кроме того, может измениться облик местности, поскольку растения также чувствительны к загрязнению воздуха.

Смог (от англ. *smoke* — дым и *fog* — туман), нарушающий нормальное состояние воздуха многих городов, возникает в результате реакции между содержащимися в воздухе углеводородами и оксидами азота, находящимися в выхлопных газах автомобилей.

Таблица 4.1 и рис. 4.3 позволят вспомнить нормальный состав и строение атмосферы Земли.

Земная атмосфера подразделяется на слои в соответствии с их температурой. На рис. 4.3 высота слоев указана приблизительно, поскольку она меняется в зависимости от точки отсчета.

Т а б л и ц а 4.1. Компоненты чистого сухого воздуха

Компонент	Содержание по объему, %
Азот (N ₂)	78,08
Кислород (O ₂)	20,94
Аргон (Ar)	0,93
Диоксид углерода (CO ₂)	0,03
Озон (O ₃)	Менее 0,00005
Присутствуют также небольшие количества гелия, метана, криптона и водорода	Менее 0,002 неона

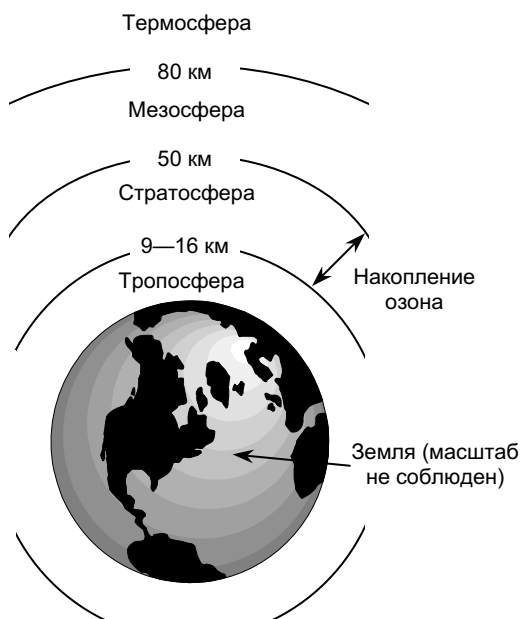


Рис. 4.3. Строение атмосферы

К основным загрязнителям атмосферы, которых, по данным ЮНЕП¹, ежегодно выделяется до 25 млрд т, относят:

- диоксид серы и частицы пыли — 200 млн т/год;
- оксиды азота (N_xO_y) — 60 млн т/год;

¹ ЮНЕП — Программа ООН по окружающей среде.

- оксиды углерода (CO и CO₂) — 8000 млн т/год;
- углеводороды (C_xH_y) — 80 млн т/год.

Оксид серы IV SO₂. При растворении в воде образует кислотные дожди: $H_2O + SO_2 = H_2SO_3$. Выделяется в атмосферу в основном в результате работы тепловых электростанций (ТЭС) при сжигании бурого угля и мазута, а также серосодержащих нефтепродуктов и при получении многих металлов из серосодержащих руд — PbS, ZnS, CuS, NiS, MnS и т.д.

При сжигании угля или нефти содержащаяся в них сера окисляется, при этом образуются два соединения — диоксид серы и триоксид серы. В процессе первоначального горения топлива до триоксида серы окисляется менее 3% серы. Кислотные дожди губят растения, закисляют почву, увеличивают кислотность озер. В Норвегии, например, в 80-е годы из-за кислотных дождей погибло много рыбы, в этом была и большая доля вины российских предприятий (в основном комбината «Североникель», расположенного на Кольском полуострове). Большую озабоченность вызывает в России огромный трансграничный перенос серы с Запада, составляющий примерно 2 млн т оксидов серы — 10 млн т сульфатов в год, так как воздушные массы с Запада в нашу страну в связи с розой ветров в 7—10 раз превышают наши воздушные массы в Европу. Это в основном страны Восточной Европы и Украина, энергетика которых базируется на бурых углях.

Россия входит в Конвенцию по SO₂ и участвует во всех процессах, способствующих снижению выбросов окислов серы в атмосферу. В основном это строительство заводов по производству серной кислоты по схеме: диоксид серы — триоксид серы — серная кислота. Используя оксиды серы как вторичное сырье, человечество для производства такого необходимого ему во многих отраслях промышленности продукта, как серная кислота, перестанет извлекать из недр ограниченные запасы серы.

Подсчитано, что в 80-е годы человечеству было необходимо получать около 25 млн т серной кислоты в год (например, для получения синтетических моющих средств и других продуктов), а выброс оксидов серы в то же время составил 15,6 млн т в год, больше, чем необходимо для производства указанного выше количества серной кислоты.

Даже при среднем содержании оксидов серы в воздухе порядка 100 мкг на кубометр, что нередко имеет место в городах,

растения приобретают желтоватый оттенок. Отмечено, что заболевания дыхательных путей, например, бронхиты, учащаются при повышении уровня оксидов серы в воздухе.

Разработано большое число методов для улавливания двуокиси серы из отходящих дымовых газов. Весьма привлекательными оказались скрубберные установки, дающие отходы в виде продуктов, имеющих спрос на рынке: один из таких скрубберов производит серу высокой чистоты, другой — разбавленную серную кислоту. Последнюю невыгодно перевозить на большие расстояния, но высокочистая сера, которая находит применение при производстве лекарственных препаратов, промышленных реагентов, удобрений в развитых странах привлекает и потребителей из-за рубежа.

В России пока удалось решить эту проблему на большей части европейской территории. В азиатской части, где трудно решить вопросы с транспортировкой серной кислоты, например, огромные массы SO_2 комбината «Норильский никель», которые выбрасывают высокие (до 100 м) трубы, достигают Канады через Северный полюс. Эта проблема в разных регионах России требует срочного решения. В Москве, например, на единственном нефтеперерабатывающем заводе в Капотне с 1997 г. запрещено использовать серосодержащие нефтепродукты.

Оксиды азота (N_xO_y). В природе оксиды азота образуются при лесных пожарах. Высокие концентрации оксидов азота в городах и окрестностях промышленных предприятий связаны с деятельностью человека. В значительном количестве оксиды азота выделяют ТЭС и двигатели внутреннего сгорания. Выделяются оксиды азота и при травлении металлов азотной кислотой. Производство взрывчатых веществ и азотной кислоты — еще два источника выбросов оксидов азота в атмосферу.

Загрязняют атмосферу:

- N_2O — оксид азота I (веселящий газ), обладает наркотическими свойствами, используется при хирургических операциях;
- NO — оксид азота II, действует на нервную систему человека, вызывает паралич и судороги, связывает гемоглобин крови и вызывает кислородное голодание;
- NO_2 , N_2O_4 — оксиды азота V ($\text{N}_2\text{O}_4 = 2\text{NO}_2$), при взаимодействии с водой образуют азотную кислоту $4\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

+ + $O_2 = 4HNO_3$. Вызывают поражение дыхательных путей и отек легких.

Оксиды азота принимают участие в образовании фотохимического смога. К фотохимическим процессам относятся процессы образования пероксиацетилнитратов (ПАН). При концентрациях ПАН 0,1—0,5 мг/м³ они могут вызывать раздражение слизистой оболочки глаз и гибель растений, что характерно для южных солнечных городов.

Уровни фотохимического загрязнения воздуха тесно связаны с режимом движения автотранспорта. В период высокой интенсивности движения утром и вечером отмечается пик выбросов в атмосферу оксидов азота и углеводородов. Именно эти соединения, вступая в реакции друг с другом, обуславливают фотохимическое загрязнение воздуха.

Наблюдается большое количество заболеваний верхних дыхательных путей у населения, подвергавшегося воздействию высоких уровней оксидов азота, по сравнению с группой людей, которые находились в условиях меньшей концентрации N_xO_y , а концентрации других загрязнителей были такими же.

Люди с хроническими заболеваниями дыхательных путей (эмфизема легких, астма), а также страдающие сердечно-сосудистыми заболеваниями, более чувствительны к прямым воздействиям оксидов азота.

Оксид углерода II (CO). Концентрация оксида углерода II в городском воздухе больше, чем любого другого загрязнителя. Однако поскольку этот газ не имеет ни цвета, ни запаха, ни вкуса, наши органы чувств не в состоянии обнаружить его.

Самый крупный источник оксида углерода в городах — автотранспорт. В большинстве городов свыше 90% CO попадает в воздух вследствие неполного сгорания углерода в моторном топливе по реакции: $2C + O_2 = 2CO$. Полное сгорание дает в качестве конечного продукта диоксид углерода: $C + O_2 = CO_2$.

Другой источник оксида углерода — табачный дым, с которым сталкиваются не только курильщики, но и их ближайшее окружение. Доказано, что курильщик поглощает вдвое больше оксида углерода по сравнению с некурящим.

Оксид углерода вдыхается вместе с воздухом или табачным дымом и поступает в кровь, где конкурирует с кислородом за молекулы гемоглобина. Оксид углерода соединяется с молеку-

лами гемоглобина прочнее, чем кислород. Чем больше оксида углерода содержится в воздухе, тем больше гемоглобина связывается с ним и тем меньше кислорода достигает клеток. По этой причине оксид углерода при повышенных концентрациях представляет собой смертельно опасный яд.

Типичный автомобильный двигатель середины 60-х годов выбрасывал с выхлопными газами в среднем 73 г оксида углерода на каждые 1,5 км пробега. К 1981 г. выброс оксида углерода новыми автомобилями достиг уровня всего 3,4 г на 1,5 км (данные США).

Для достижения установленного стандарта выхлопные газы смешиваются с воздухом в присутствии катализатора. Дальнейшее окисление оставшегося оксида углерода происходит в каталитическом преобразователе (Pt/Pd — платина-палладий). Именно такая система в настоящее время повсеместно выбрана для уменьшения выбросов СО в атмосферу. В Москве, например, по решению мэрии не оформляют покупку автомобилей иностранных марок до 1985 г. выпуска, т. е. без установленных каталитических дожигателей на выхлопные газы. В США годовые выбросы оксида углерода постепенно уменьшались начиная с 1976 г., по мере того как новые модели автомобилей с каталитическими преобразователями выхлопных газов сменяли старые, менее эффективные модели; общий выброс СО автотранспортом США сократился с 64,3 млн т в 1976 г. до 47,7 млн т в 1983 г., т.е. на 25%. Одна из причин столь небольшого снижения связана с общей длиной пробега автомобилей, которая ежегодно возрастает из-за постоянного роста числа автомобилей на дорогах и улицах. Эффективность каталитических преобразователей со временем уменьшается и необходимо регулярно осуществлять повторные проверки выхлопных газов автомобилей на содержание СО. Борьба за качество воздуха во всех странах продолжается, поскольку пробег автомобилей непрерывно растет. Этот неограниченный рост можно было бы сократить за счет создания новых систем общественного транспорта, привлекательных для населения и способных широко развиваться, или перехода на электромобили.

Оксид углерода IV (CO₂). Влияние углекислого газа (CO₂) связано с его способностью поглощать инфракрасное излучение (ИК) в диапазоне длин волн от 700 до 1400 нм. Земля, как из-

вестно, получает практически всю свою энергию от Солнца в лучах видимого участка спектра (от 400 до 700 нм), а отражает в виде длинноволнового ИК-излучения.

С 1850 г. содержание CO_2 в атмосфере возросло с 0,027 до 0,033% в связи с техногенной деятельностью. Человечество сожгло в XX в. ископаемых видов топлива столько, сколько за весь период своего существования до XX в. Поглощая ИК-излучение, CO_2 действует как парниковая пленка.

Подсчитано, что если к 2000 г. среднегодовая температура возрастет на 1°C , то в результате таяния ледников уровень Мирового океана поднимется на 1,5 м. К счастью, накопление углекислого газа в атмосфере идет в 2—3 раза медленнее, чем это подсчитано теоретически.

Механизмом вывода углекислого газа из атмосферы является поглощение его в результате фотосинтеза растений, а также связывание его в океанских водах по реакции: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Ca}^{2+} = \text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+$.

Пыль. Причины основных выбросов пыли в атмосферу — это пыльные бури, эрозия почв, вулканы, морские брызги. Около 15—20% общего количества пыли и аэрозолей в атмосфере — дело рук человека: производство стройматериалов, дробление пород в горнодобывающей промышленности, производство цемента, строительство. Например, во Франции приблизительно 3% общего объема производимого цемента выбрасывается в атмосферу (около 100 т в год). Пыль, осевшая в индустриальных городах, содержит 20% оксидов железа (Fe_2O_3), 15% оксида кремния (SiO_2) и 5% сажи (С). Промышленная пыль часто включает также оксиды различных металлов и неметаллов, многие из которых токсичны (оксиды марганца, свинца, молибдена, ванадия, сурьмы, теллура).

Американский эколог О. Бартон так охарактеризовал проблему, связанную с запыленностью атмосферы: «Одно из двух: либо люди сделают так, что в воздухе станет меньше дыма, либо дым сделает так, что на Земле станет меньше людей».

Пыль и аэрозоли не только затрудняют дыхание, но и приводят к климатическим изменениям, поскольку отражают солнечное излучение и затрудняют отвод тепла от Земли. Например, так называемые смоги в очень населенных южных городах (Мехико — 22 млн жителей и др.) снижают прозрачность атмосферы в 2—5 раз.

Кислород (O_2). Кислород на Земле создан самой жизнью. Рис. 4.4 иллюстрирует историю происхождения кислорода на планете Земля. Примерно 2 млрд лет назад содержание свободного кислорода в земной атмосфере начало возрастать. После того как из части атмосферного кислорода сформировался защитный озоновый слой, начали развиваться наземные растения и животные. С течением времени содержание кислорода в атмосфере значительно менялось, поскольку менялись уровни его образования и использования [30].

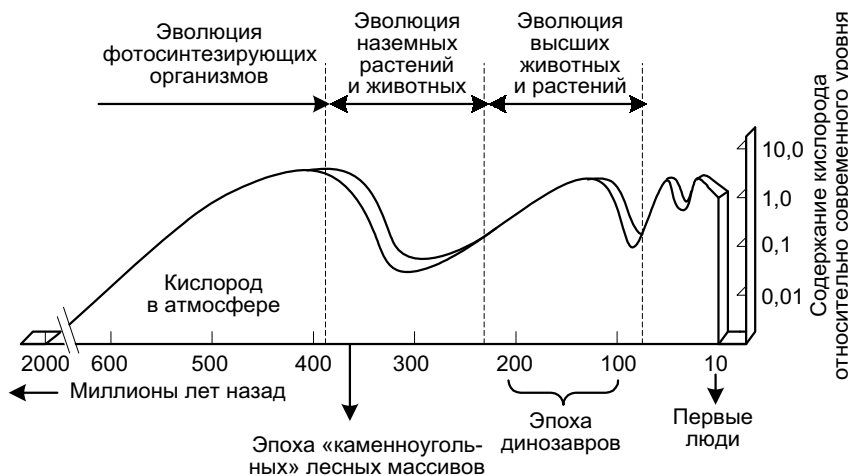
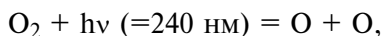


Рис. 4.4. Происхождение кислорода в атмосфере

Главным продуцентом кислорода на Земле служат зеленые водоросли поверхности океана (60%) и тропические леса суши (30%). Тропические леса Амазонки называют легкими планеты Земля. Ранее в литературе высказывались опасения, что возможно уменьшение количества кислорода на Земле вследствие увеличения объема сжигаемого ископаемого топлива. Но расчеты показывают, что использование всех доступных человеку залежей угля, нефти и природного газа уменьшит содержание кислорода в воздухе не более чем на 0,15% (с 20,95 до 20,80%). Другая проблема — вырубка лесов, приводящая к возникновению кислородных «паразитов» — стран, которые живут за счет

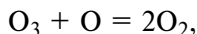
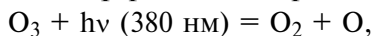
чужого кислорода. Например, США за счет своих растений имеет только 45% кислорода, Швейцария — 25%.

Озон (O₃). Озон образуется в верхних слоях стратосферы и в нижних слоях мезосферы в результате протекания следующих реакций:



где M — различные составляющие атмосферы, например, кислород или азот.

Озон и атомарный кислород могут реагировать в кислородной атмосфере согласно реакциям:



Эти реакции образуют так называемый цикл Чепмена. Общее содержание озона иногда выражают как число молекул, получаемое в результате суммирования по всем широтам, долготам и высотам. На сегодняшний день это количество приблизительно равно $4 \cdot 10^{37}$ молекул озона. Наиболее распространенной количественной оценкой состояния озона в атмосфере является толщина озонного слоя X — это толщина слоя озона, приведенного к нормальным условиям, которая в зависимости от сезона, широты и долготы колеблется от 2,5 до 5 относительных мм. Области с уменьшенным содержанием на 40—50% озона в атмосфере называют «озоновыми дырами».

Около 90% озона находится в стратосфере. Долгое время считалось, что основной причиной истощения озонного слоя являются полеты космических кораблей и сверхзвуковых самолетов, а также извержения вулканов и другие природные явления.

Разрушительное действие хлорфторуглеродных соединений (ХФУ) на стратосферный озон было открыто в 1974 г. американскими учеными — специалистами в области химии атмосферы Ш. Роулэндом и М. Молина (в 1996 г. за открытия в этой области им присуждена Нобелевская премия). С тех пор не раз предпринимались попытки ограничить выброс ХФУ в атмосферу, и тем не менее сейчас во всем мире ежегодно производится около миллиона тонн газообразных веществ, способных разрушить озонный слой.

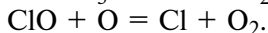
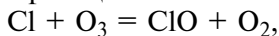
ХФУ, часто встречающиеся в быту и в промышленном производстве, — это пропелленты в аэрозольных упаковках, хладагенты (фреоны) в холодильниках и кондиционерах. Они применяются и при производстве вспененного полиуретана, и при чистке электронной техники.

Постепенно ХФУ поднимаются в верхний слой атмосферы и разрушают озонный слой — щит атмосферы, спасающий от УФ-излучения. Время жизни двух самых опасных фреонов — Ф-11 и Ф-12 — от 70 до 100 лет. Этого вполне достаточно, чтобы в ближайшее время ощутить на себе последствия сегодняшней экологической неграмотности. Если сохранятся современные темпы выброса ХФУ в атмосферу, то в ближайшие 70 лет количество стратосферного озона уменьшится на 90%. При этом весьма вероятно, что:

- рак кожи примет эпидемический характер;
- резко сократится количество планктона в океане;
- исчезнут многие виды животных, например, ракообразные;
- УФ-излучение неблагоприятно скажется на сельскохозяйственных культурах.

Все это нарушает равновесие во многих экосистемах Земли, из-за фотохимического смога ухудшится общее состояние атмосферы, усилится «парниковый эффект».

ХФУ — высокостабильные соединения и поскольку они не поглощают солнечное излучение с большой длиной волны, они не могут подвергнуться его воздействию в нижних слоях атмосферы, но, преодолев защитный слой, поднимаются вверх по атмосфере и коротковолновое излучение высвобождает из них атомы свободного хлора. Свободные атомы хлора затем вступают в реакцию с озоном:



Таким образом, разложение ХФУ солнечным излучением создает каталитическую цепную реакцию, согласно которой один атом хлора способен разрушить до 100 000 молекул озона. Канцерогенным является УФ-излучение с длиной волны короче 320 нм. Ожидается, что каждый процент сокращения озонного слоя повлечет за собой увеличение числа случаев заболевания рака кожи на 5—6%.

Основные санитарные требования к качеству атмосферного воздуха. Основным критерием контроля качества атмосферного

воздуха является ПДК токсичных веществ. При санитарной оценке качества атмосферного воздуха принято выражать содержание загрязняющих веществ в мг на м³ воздуха. Это выражение концентрации применимо для любого агрегатного состояния примесей. За рубежом, например в США, часто пользуются другой концентрацией:

$$\text{млн}^{-1} = \frac{\text{объем загрязнений}}{10^6 \text{ объемов загрязненного воздуха}} = 10^{-4}\% \text{ (объемных)},$$

$$\text{мг/м}^3 = \frac{\text{млн}^{-1} \cdot M}{22,4},$$

где M — молекулярная масса загрязнителя;

22,4 — объем в литрах 1 моля газа при 25°C и 760 мм рт. ст.

Критерием оценки влияния выбросов предприятий на окружающую среду является уровень практических концентраций примесей в атмосфере, полученных в результате рассеивания выбросов, по сравнению с предельно допустимыми.

Для атмосферного воздуха установлены соответствующие значения ПДК.

Концентрация вредных веществ в воздухе производственных помещений не должна превышать ПДК_{р.з.}, в воздухе для вентиляции производственных помещений — 0,3 ПДК_{р.з.}; в атмосферном воздухе населенных пунктов — ПДК_{м.р.}; в зоне отдыха и курортов — 0,8 ПДК_{м.р.}.

Нормы ПДК служат исходной базой для проектирования и экспертизы новых машин и механизмов, технологических линий, промышленных сооружений и предприятий, а также для расчета вентиляционных, газопылеулавливающих и кондиционирующих систем, контролирующих приборов и систем сигнализации.

Основные организации, контролирующие выбросы предприятий в атмосферный воздух, — санитарно-эпидемиологические станции (СЭС); территориальные управления Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды; Государственная инспекция по контролю за работой газоочистных и пылеулавливающих установок.

Для предотвращения загрязнения атмосферы введены нормативы на выбросы вредных веществ непосредственно из каждого источника (труба, шахта и т.д.). Государственным стандартом (1990 г.) установлены величины предельно допустимых выбросов (ПДВ) вредных веществ в атмосферу:

ПДВ — количество вредных веществ, выбрасываемых в единицу времени (г/с), которое в сумме с выбросами из других источников загрязнения не создает приземной концентрации примеси, превышающей значение ПДК. Это научно-технический норматив для конкретного источника загрязнения, обязательный для данного предприятия.

Если в воздухе населенных мест концентрация превышает ПДК, а величина ПДВ по объективным причинам не может быть достигнута, то фактический выброс называется *временно согласованным выбросом* (ВСВ).

Нормативные выбросы вредных веществ устанавливают для каждого источника загрязнения в г/с и для всего предприятия в целом (т/год). При установлении ПДВ или ВСВ необходимо учитывать фоновые концентрации, значения которых определяются для предприятия территориальными организациями Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Для городов с населением меньше 250 тыс. человек приняты следующие нормы фоновых концентраций основных токсикантов:

$$\begin{array}{ll} \text{SO}_2 — 0,1 \text{ мг/м}^3 & \text{CO} — 1,5 \text{ мг/м} \\ \text{NO}_2 — 0,03 \text{ мг/м}^3 & \text{пыль} — 0,2 \text{ мг/м}^3 \end{array}$$

Методика для расчета ПДВ основана на применении модели, которая учитывает индивидуальные свойства загрязнителя (ПДК_{м.р.}); фоновую концентрацию C_f ; геометрические размеры источника загрязнения (h — высота, м; D — диаметр устья, м); условия выхода газового потока из источника (T — разность температур выбрасываемой смеси и окружающего воздуха, V — средняя скорость выхода смеси из устья источника, м/с); W , f — условия вертикального и горизонтального рассеивания вредного вещества в атмосферном воздухе; A_i — показатель относительной агрессивности; F — коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в воздухе; n — коэффициент, учитывающий рельеф местности.

Физико-химические методы очистки атмосферы от газообразных загрязнителей. Основное направление защиты воздушного бассейна от загрязнений вредными веществами — создание новой безотходной технологии с замкнутыми циклами производства и комплексным использованием сырья.

Многие действующие предприятия используют технологические процессы с открытыми циклами производства. В этом слу-

чае отходящие газы перед выбросом в атмосферу подвергаются очистке с помощью скрубберов, фильтров и т.д. Это дорогая технология, и только в редких случаях стоимость извлекаемых из отходящих газов веществ может покрыть расходы на строительство и эксплуатацию очистных сооружений.

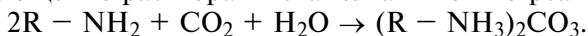
Наиболее распространены при очистке газов адсорбционные, абсорбционные и каталитические методы.

Санитарная очистка промышленных газов включает в себя очистку от CO_2 , CO , оксидов азота, SO_2 , от взвешенных частиц.

- *Очистка газов от CO_2 .*

а) Абсорбция водой. Простой и дешевый способ, однако эффективность очистки мала, так как максимальная поглощательная способность воды — 8 кг CO_2 на 100 кг воды.

б) Поглощение растворами этанол-аминов по реакции:



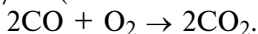
В качестве поглотителя обычно применяется моноэтаноламин.

в) Холодный метанол CH_3OH является хорошим поглотителем CO_2 при -35°C .

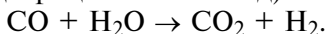
г) Очистка цеолитами типа СаА. Молекулы CO_2 очень малы ($d = 3,1 \text{ \AA}$). Для извлечения CO_2 из природного газа и удаления продуктов жизнедеятельности (влаги и CO_2) в современных экологически изолированных системах (космические корабли, подводные лодки и т.д.) используются молекулярные сита типа СаО.

- *Очистка газов от CO .*

а) Дожигание на Pt/Pd (платино-палладиевом) катализаторе:



б) Конверсия (адсорбционный метод):

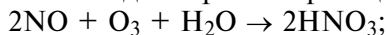


- *Очистка газов от оксидов азота.*

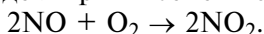
В химической промышленности очистка от оксидов азота на 80% и более осуществляется в основном в результате превращений на катализаторах.

а) Окислительные методы основаны на реакции окисления оксидов азота с последующим поглощением водой и образованием HNO_3 :

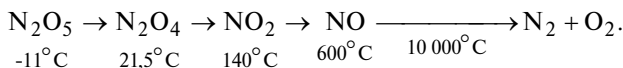
окисление озоном в жидкой фазе по реакции:



окисление кислородом при высокой температуре:

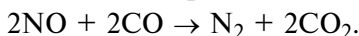


б) Восстановительные каталитические методы основаны на восстановлении оксидов азота до нейтральных продуктов в присутствии катализаторов или под действием высоких температур в присутствии восстановителей. Процесс восстановления можно представить в виде следующей схемы:



Разложение оксидов азота до нейтральных соединений ($2\text{NO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2$) происходит в потоке низкотемпературной плазмы ($10\,000^\circ\text{C}$). Этот процесс при более низких температурах в присутствии катализатора протекает в двигателях внутреннего сгорания. Присутствие восстановителей в зоне реакции (угля, графита, кокса) также понижает температуру реакции восстановления. При температуре 1000°C степень разложения NO в реакции $\text{C} + 2\text{NO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{N}_2$ составляет 100%.

При температуре выхлопных газов автомобиля в двигателе внутреннего сгорания возможна реакция:



в) Сорбционные методы.

Это адсорбция оксидов азота водными растворами щелочей и известью CaCO_3 и адсорбция оксидов азота твердыми сорбентами (угли, торф, силикагели, цеолиты).

- *Очистка газов от SO_2 .*

ТЭС мощностью 1 млн кВт при работе на каменном угле выбрасывает в атмосферу 11 тыс. т SO_2 , на газе — 20% этого количества.

Очистка дымовых газов электростанций обходится сейчас приблизительно в 300—400 тыс. руб. за 1 кВт в год. Снижение доли серы в нефтепродуктах на 0,5% обходится при этом в 30 тыс. руб. на 1 т. Методы улавливания SO_2 требуют больших затрат, их можно разделить на аммиачные, нейтрализации и каталитические.

Эффективность очистки зависит от множества факторов: парциальных давлений SO_2 и O_2 в очищаемой газовой смеси; температуры отходящих газов; наличия и свойств твердых и газообразных компонентов; объема очищаемых газов; наличия и доступности хемосорбентов; потребности в продуктах утилизации SO_2 ; требуемой степени очистки газа.

- *Очистка газов от взвешенных частиц, например пыли.*

Можно выделить несколько методов улавливания частиц пыли:

- гравитационное оседание;
- центрифугирование;
- электростатическое оседание;
- инерционное соударение;
- прямой захват;
- диффузия.

Все процессы очистки осуществляются с помощью специальных фильтров, скрубберов и т.д.

4.3. Защита гидросферы

Характеристика гидроресурсов и сточных вод. Гидросферой называют водную оболочку Земли. Это совокупность океанов, морей, озер, прудов, болот и подземных вод. Гидросфера — самая тонкая оболочка нашей планеты, она составляет лишь 10⁻³% общей массы планеты.

Роль воды во всех жизненных процессах общепризнана. Без воды человек может жить не более 8 суток, за год он потребляет около 1 т воды. Растения содержат 90% воды. Сельское хозяйство является основным потребителем пресной воды. Вода идет на мелиорацию, обслуживание животноводческих комплексов. Так, необходимо воды для выращивания

1 т пшеницы	— 1500 т
1 т риса	— 7000 т
1 т хлопка	— 10 000 т

Вода необходима практически всем отраслям промышленности. Так, требуется воды на производство

1 т чугуна	— 50—150 т
1 т пластмасс	— 500—1000 т
1 т цемента	— 4500 т
1 т бумаги	— 100 000 т

На электростанциях мощностью 300 тыс. кВт расход воды составляет 300 млн т/год.

Указанные производства требуют только пресную воду. Расчеты показывают, что количество пресной воды составляет всего 2,5% всей воды на планете; 85% — морская вода, содержащая до 35 г/л солей. Запасы пресной воды распределены крайне не-

равномерно: 72,2% — льды; 22,4% — грунтовые воды; 0,35% — атмосфера; 5,05% — устойчивый сток рек и вода озер. На долю воды, которую мы можем использовать, приходится всего 10⁻²% всей пресной воды на Земле.

Хозяйственная деятельность человека привела к заметному сокращению количества воды в водоемах суши: мелеют водоемы, исчезают малые реки, высыхают колодцы, снижается уровень грунтовых вод. Сокращение уровня грунтовых вод уменьшает урожайность окрестных хозяйств.

Проблема Каспия — хищническое истребление ценнейших пород осетровых рыб при том, что разведение молоди осетровых, т. е. восстановление их популяции, ведется только рыбохозяйствами России и в небольшом объеме — Азербайджаном, а остальные страны только потребляют.

Проблема Азовского моря — увеличение концентрации солей. За послевоенные годы его засоленность увеличилась с 9 до 15,6 пром. ‰. Организмы, питающие рыбу, погибают. Результат — снижение возможности рыболовства на Азовском море.

Проблема Байкала — воду этого ценнейшего озера используют для получения целлюлозы по финской технологии, т. е. используют воду минимальной минерализации, содержащую меньше 100 мг/л солей. Обычно в пресной воде содержание солей составляет 300—450 мг/л, в питьевой — 380 мг/л. Байкал после строительства целлюлозно-бумажного комбината в городе Байкальске стал загрязняться (60-е годы). В озере Байкал находится несколько сот эндаминореликтов — редких видов биоты, которых нет в других водоемах. С запозданием разработаны уникальные очистные сооружения, стоимость которых составила 30% стоимости основных фондов производства. Однако принимаемые меры недостаточны для защиты Байкала.

По количеству солей вода делится на: пресную (< 1 г/л солей), засоленную (до 25 г/л солей) и соленую (> 25). В океане, например, — 35 г/л; Балтийском море — 8—16 г/л; Каспийском — 11—13 г/л; Черном — 17—22 г/л.

Деградация природных вод связана в первую очередь с увеличением солесодержания. Количество минеральных солей в водах постоянно растет, даже в такой большой водной системе, как бассейн реки Волги с ее притоками Камой и Окой. В ряде небольших рек, например, в Северном Донце, вода уже не пресная, а соленая. Средняя минерализация рек Украины составляет 2—3 г/л. В настоящее время многие реки Урала не могут быть использованы как источники водоснабжения. Так, в Каму попадают промышленные стоки с минерализацией 1,5—5,0 г/л.

Основная причина засоленности вод — истребление лесов, распашка степей, выпас скота. Вода при этом не задерживается в почве, не увлажняет ее, не пополняет почвенные источники, а скатывается через реки в море. В качестве мер, принятых в последнее время для снижения засоленности рек, используется посадка лесов, предпринимаемая, например, в Саратовской области.

Громаден объем сброса *дренажных вод*. К 2000 г. он составит 25—35 км³. Системы орошения потребляют обычно 1—2 тыс. м³/га, их минерализация составляет до 20 г/л. Огромен вклад в минерализацию воды сброса промышленных стоков. По данным за 1996 г. в России объем промстоков был равен стоку такой большой реки, как Кубань.

Наблюдается постоянный рост водопотребления как на производственные, так и на бытовые нужды. В среднем в городах с населением 1 млн человек, по данным США, потребляется 200 л/сутки воды на человека, по другим городам, л/с. (литр/сутки):

Москва	— 400	Лондон	— 170
С.-Петербург	— 500	Париж	— 130
Берлин	— 250	Брюссель	— 85

Водоемы (в частности, пруды) представляют собой сложную экологическую систему, которая создавалась в течение длительного времени. В них непрерывно протекает процесс изменения состава примесей, приближающийся к состоянию равновесия. Значительные отклонения от состояния равновесия могут привести к гибели популяций водных организмов, т. е. к невозможности возврата к состоянию равновесия, а это приводит к гибели экосистемы. Процессы, связанные с возвращением экосистемы к первоначальному состоянию, называются процессами самоочищения. К важнейшим из них относятся:

- осаждение грубодисперсных и коагуляция коллоидных примесей;
- окисление (минерализация) органических примесей;
- окисление минеральных примесей кислородом;
- нейтрализация кислот и оснований за счет буферной емкости воды водоема;
- гидролиз солей тяжелых металлов, приводящий к образованию малорастворимых гидроксидов и выделению их из раствора и др.

Основные характеристики *сточных вод*, влияющие на состояние водоемов: температура, минералогический состав при-

месей, содержание кислорода, мл, рН (водородный показатель), концентрация вредных примесей. Особенно большое значение для самоочищения водоемов имеет кислородный режим. Условия спуска сточных вод в водоемы регламентируются «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами». Сточные воды характеризуются следующими признаками:

- мутность воды — определяется с помощью мутномера: исследуемую воду сравнивают с эталонным раствором, который приготовлен из каолина (или из инфузорной земли) на дистиллированной воде, выражается в мг/л;
- цветность воды — определяется сравнением интенсивности окраски испытуемой воды со стандартной шкалой. Выражается в градусах цветности. В качестве стандартного раствора применяют раствор солей кобальта;
- сухой остаток — масса солей и веществ, которые остаются после выпаривания воды (мг/л);
- кислотность — измеряется в единицах рН. Природная вода обычно имеет щелочную реакцию ($\text{pH} > 7$);
- жесткость — зависит от содержания солей Ca^{2+} и Mg^{2+} . Различают три вида жесткости воды: общая, обусловленная содержанием солей кальция и магния независимо от содержания анионов; постоянная, обусловленная содержанием ионов Cl^- и SO_4^{2-} после кипячения в течение 1 ч (она не удаляется); устранимая (временная) — устраняется кипячением: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Жесткость измеряется в мг-экв/л солей магния и кальция (1 мг-экв соответствует 28 мг СаО) и в градусах (1° — количество солей кальция и магния, соответствующее 10 мг СаО в 1 л воды). 1° жесткости = 10 мг-экв = $2,8^\circ$ жесткости;
- растворимый кислород — зависит от температуры воды и барометрического давления, измеряется в мг/л;
- биологическая потребность в кислороде (БПК) — количество кислорода, поглощаемое микроорганизмами в сточных водах. За критерий оценки БПК принята величина уменьшения количества растворенного кислорода в воде в течение 5 или 20 суток при температуре 20°C .

В зависимости от условий образования сточные воды делятся на три группы:

- бытовые сточные воды — стоки душевых, прачечных, бань, столовых, туалетов, от мытья полов и т.д. Их количество в среднем составляет 0,5—2 л/с. с 1 га жилой застройки города, они содержат примерно 58% органических и 42% минеральных веществ;
- атмосферные сточные воды, или ливневые, их сток неравномерен: 1 раз в год — 100—150 л/с. с 1 га; 1 раз в 10 лет — 200—300 л/с. с 1 га. Особенно опасны ливневые стоки на промышленных предприятиях. Из-за их неравномерности затруднены сбор и очистка этих стоков;
- промышленные сточные воды — жидкие отходы, которые возникают при добыче и переработке сырья. Расход воды при этом исчисляют из удельного водопотребления на единицу продукции.

Самым важным условием, необходимым для того, чтобы биохимические процессы в водоеме протекали правильно и обеспечивали самоочищение воды, является наличие в ней растворенного кислорода. Если кислорода недостаточно, то высшие организмы погибают. Органические соединения вместо окисления подвергаются анаэробному разложению с выделением сероводорода, углекислого газа, метана и водорода, создающих вторичные загрязнения водоема.

По санитарным нормам (СНИП) значение БПК в зависимости от типа природных водоемов не должно превышать 3—6 мг O_2 /л H_2O . В сточных водах БПК составляет от 200 до 3000 мг/л, поэтому при сбросе в водоемы промстоков необходимо их чистить или сильно разбавлять.

Главным критерием качества воды и атмосферы в нашей стране являются ПДК. Но они установлены далеко не для всех веществ. Спуск в водоемы новых веществ, ПДК которых не определены, в нашей стране запрещен. Кроме того, часто используют значения ПДК не для сточных вод, а для водоема. Таким образом, появляется возможность достичь установленного ПДК простым разбавлением сточных вод, чем часто пользуются. Около половины сточных вод на Земле не подвергается специальной очистке перед сбросом в водоемы. Их обезвреживание заключается лишь в разбавлении чистой водой и самоочищении водоемов. Например, сточные воды заводов по производству полиэтилена и полистирола надо разбавлять в 30 раз; сточные воды от производства синтетического каучука — в 185 раз.

В России ежегодно образуется около 21 км³ сточных вод, из них 16 км³ сливаются в Волгу или ее притоки. Выбросы Cu, Zn, Cr превышают ПДК. Поэтому принято специальное постановление по защите окружающей среды в бассейнах Волги и Урала.

Сбросы сточных вод регламентируются также величиной ПДС (предельно-допустимого сброса) предприятия. В 90-х годах в мире использовали 2000—3000 км³ пресных вод, т. е. примерно 30% устойчивого мирового стока рек. Чтобы не погибнуть, очистить воду придется всем странам. Кроме того, пресная вода, удобная для использования, распределена крайне неравномерно. В Европе и Азии, где проживает 70% населения Земли, мировых запасов речных вод очень мало. Гидроресурсы нашей страны велики, однако более 80% речного стока приходится на малонаселенные районы Севера и Востока. На Европейской части России проживает около 80% населения и на них приходится всего 20% гидроресурсов.

Таким образом, влияние хозяйственной деятельности человека на кругооборот воды в природе привело к:

- сокращению количества воды в водоемах суши;
- росту водопотребления;
- истощению самоочищающей способности водоемов;
- деградации природных вод.

Выход из положения — создание *замкнутых водооборотных систем*. Помимо перечисленных выше факторов это связано с экономическими соображениями. Стоимость очистки сточных вод даже после значительного разбавления очень велика. Так, если принять стоимость 90% очистки за 1 условную единицу (у. е.), то очистка на 99% дороже в 10 раз (10 у. е.), а очистка на 99,9%, которая требуется чаще всего, будет дороже уже в 100 раз, т. е. составит 100 у. е. В результате локальная очистка сточных вод только от характерных для данного вида стоков загрязнений для их повторного использования в том же производстве оказывается существенно дешевле их полной очистки в соответствии с требованиями санитарных органов.

Для характеристики замкнутых водооборотных систем используется критерий кратности использования воды в обороте:

$$n = \frac{Q_{\text{исп}}}{Q_3},$$

где $Q_{\text{исп}}$ — общий объем воды, потребляемый предприятием (м³/ч; м³/т сырья или продукции);

Q_3 — забор потребления свежей воды.

Чем больше кратность использования, тем совершеннее схема водоснабжения. В США в 1995 г. среднее значение кратности равнялось 7,5. В России в 1995 г. критерий кратности использования воды по отраслям составлял:

Нефтехимия	— 7,00
Черная и цветная металлургия	— 5,25
Пищевая промышленность	— 3,00
Теплоэнергетика	— 2,25
Производство стройматериалов	— 1,60
Легкая промышленность	— 1,30

В нашей стране планировалось довести этот показатель в ближайшие годы до 7,00 в среднем по предприятиям, а в США — до 27.

Создание экономически радикальных замкнутых систем водного хозяйства — весьма трудная задача. Сложный химический состав сточных вод, разнообразие содержащихся в них соединений делают невозможной разработку универсальной бессточной технологической схемы. Можно говорить лишь об общих принципах создания и проектирования бессточных схем.

Основные положения создания водооборотных систем:

1. Разработка научно обоснованных требований к качеству воды, используемой во всех технологических процессах и операциях. В подавляющем большинстве случаев нет необходимости в использовании воды питьевого качества.

2. Максимальное внедрение систем воздушного охлаждения вместо водного. Здесь большую роль сыграло бы внедрение агрегатов большой единичной мощности. При этом высокоэнергетическое тепло используется для технологических целей, а низкоэнергетическое — для обогрева. Так, например, в результате внедрения установок воздушного охлаждения на предприятиях нефтепереработки потребление воды в среднем сократилось на 110—160 млн м³/год (Омский нефтеперерабатывающий завод и др.).

3. Размещение на промышленных площадях комплекса производств (так называемых территориально-производственных комплексов — ТПК) должно обеспечить возможность многократного (каскадного) использования воды в технологических процессах и операциях.

4. Последовательное многократное использование воды в технологических операциях должно по возможности обеспечить

получение небольшого объема максимально загрязненных сточных вод.

5. Использование воды для очистки газов от водорастворимых соединений целесообразно только тогда, когда из газов извлекают, а затем утилизируют ценные компоненты.

6. Применение воды для очистки газов от твердых частиц допустимо только в замкнутом цикле.

Методы очистки воды. *Чистые сточные воды* — это воды, которые в процессе участия в технологии производства практически не загрязняются и сброс которых без очистки не вызывает нарушений нормативов качества воды водного объекта. Нормативы едины и утверждены Правилами охраны вод от загрязнения сточными водами, принятыми Минводхозом, Минздравом и Минрыбхозом в 1974 г. В 1996 г. на базе Роскомвода и Роскомнедр было создано Министерство природных ресурсов РФ. Принят ряд новых законов Российской Федерации, которые значительно меняют сложившуюся нормативно-правовую базу и систему управления и контроля в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

Загрязненные сточные воды — это воды, которые в процессе использования загрязняются различными компонентами и сбрасываются без очистки, а также сточные воды, проходящие очистку, степень которой ниже норм, установленных местными органами Государственного комитета РФ по охране окружающей среды. Сброс этих вод вызывает нарушение нормативов качества воды в водном объекте.

Практически всегда очистка промышленных стоков — это комплекс методов. Наиболее широко используется комбинация механической очистки, нейтрализации промышленных стоков, или реагентной очистки, и биохимической очистки. Эти операции осуществляются практически во всех комплексах очистных сооружений, в том числе и на станциях аэрации при очистке бытовых (канализационных) стоков. Рассмотрим их подробнее.

1. Механическая очистка стоков

Сюда относятся отстой сточных вод в специальных отстойниках, в которых происходит оседание взвешенных частиц на дно отстойников; сбор нефтепродуктов и других нерастворимых в воде жидкостей с поверхности стоков устройствами типа механических рук и, на-

конец, ф и л ь т р а ц и я в о д через слой песка примерно 1,5-метровой толщины.

2. Химическая, или реагентная, очистка

а) Один из видов обработки сточных вод — р е а к ц и и н е й т р а л и з а ц и и. Нейтрализация — химическая реакция, ведущая к уничтожению кислотных свойств раствора с помощью щелочей, а щелочных свойств раствора — с помощью кислот. Поскольку химическая природа отходов может быть различной, то для нейтрализации одного вида отходов необходимо уменьшить кислотные свойства, а для другого вида отходов — щелочные свойства. О степени кислотности или щелочности раствора судят по величине водородного показателя рН. Значение величины рН растворов различных веществ колеблется от 0 до 14. Небольшие значения рН свидетельствуют о наличии кислотной среды.

Чтобы контролировать реакцию нейтрализации, надо знать, какое количество кислоты или щелочи надо добавить в раствор для получения необходимого значения рН. Для этого используют метод титрования, по объему израсходованного титранта вычисляя количество определяемого вещества.

Самую простую систему очистки на основе реакции нейтрализации можно представить в виде измельченного известняка, на который вылили раствор кислоты, а осадок собрали в отстойник.

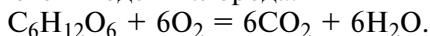
б) Р е а к ц и и о к и с л е н и я - в о с с т а н о в л е н и я. Любая реакция окисления-восстановления есть одновременное окисление одних компонентов и восстановление других. Наиболее распространенные окислители и восстановители:

<i>Окислители</i>	<i>Восстановители</i>
Кислород или воздух	Хлорит
Озон	Сульфат Fe^{2+}
Хлор, гипохлорит	Гидросульфит
Перекись водорода	Диоксид серы
Перманганат калия	Сероводород

Одним из важнейших окисляющих агентов является хлор, поэтому большинство химических операций со сточными водами начинается с хлорирования, чтобы высокотоксичный хлор к концу реагентной обработки полностью удалялся из воды. Окислительно-восстановительные реакции используются для превращения токсичных веществ в безвредные.

3. Биохимическая очистка

а) **Аэробная биохимическая очистка** — минерализация органического вещества промышленных или бытовых стоков, происходящая в результате его окисления при действии аэробных микроорганизмов (минерализаторов) в процессе использования ими этого вещества в качестве источника питания в условиях интенсивного потребления микроорганизмами растворенного в воде кислорода:



Было установлено, что органические вещества омертвевших организмов разрушаются под действием бактерий, если для последних созданы соответствующие условия, т. е. своевременно подается кислород и среда-носитель оказывается благоприятной для развития микроорганизмов. В качестве среды-носителя был выбран песчаный слой толщиной 1,5 м. Доступ кислорода обеспечивается с помощью вентиляции или путем естественной тяги. Сточные воды сливаются на грунт только в течение 6 часов, а остальные 18 часов отводятся на биохимические процессы. Культура микробов развивается в верхних слоях песка.

Этот метод очистки, названный методом **капельной фильтрации**, впервые использован в прошлом веке (1866 г.) в Лондоне. Метод позволяет при использовании 1 га песчаной почвы очистить $1,038 \cdot 10^6$ л/с. сточных вод, следовательно, Лондону в 1866 г. для очистки $1,57 \cdot 10^9$ л/с. сточных вод необходимо было иметь 810 га подходящих земель. Это слишком большая площадь.

Усовершенствование метода капельного фильтра — **перполяционный фильтр** — разбрызгивание сточных вод на пласт щебня. Наиболее широко система с перполяционным фильтром стала применяться, когда были достигнуты успехи в области получения пластмасс с заданными свойствами. В современных системах очистки накопление бактериального материала осуществляется на пластмассовых дисках, смонтированных на вращающейся оси. Диски наполовину погружены в сточные воды, по мере их вращения бактерии периодически снабжаются питательной средой и кислородом. Сейчас метод капельного фильтра используют только при условии дешевой земли и мягкого климата.

Наиболее универсальным способом обработки сточных вод является **обработка активным илом**. Сточные воды смешивают с илом, образовавшимся в результате предварительного окисления вод, поэтому способ и получил такое название.

Как известно, ил представляет собой огромную популяцию различных бактерий, грибов и другой флоры, добавление которой к сточным водам приводит к быстрому установлению равновесия, способствующего разложению органических веществ, в результате которого образуются CO_2 и H_2O . По существу авторы нового способа обработки изменили естественный биологический цикл таким образом, что скорость потребления питательного вещества (т. е. скорость разложения органического вещества) увеличилась на несколько порядков. Дальнейшее усовершенствование этого способа связано с разработкой методов надлежащего ухода и питания используемой популяции микроорганизмов.

Активный ил представляет собой аморфный коллоид с поверхностью $100 \text{ м}^2/\text{г}$ сухого вещества, имеет вид буро-желтых мелких хлопьев размером 3—150 мкм, взвешенных в воде. В 1 г сухого ила содержится от 10^8 до 10^{12} штук бактерий. При этом определенный вид бактерий способен окислять определенные вещества.

Бактерии, входящие в состав активного ила, способны перерабатывать только те сточные воды, из которых сформировался этот активный ил. Поэтому, если в состав очищаемых промышленных стоков будут введены новые вещества, например при изменении технологии производства, то потребуется время, чтобы бактерии, способные окислить именно эти вещества, размножились в достаточном количестве и смогли обеспечить наилучшую очистку.

Иногда даже приходится завозить на вновь создаваемое предприятие активный ил с другого предприятия, где очищаются аналогичные по составу воды и где в активном иле распространены нужные виды бактерий.

Обычно концентрацию активного ила поддерживают равной 2—4 г/л. В ходе очистки активный ил время от времени выводят из очистных сооружений, так как его количество растет. Часть его при этом используется в качестве ценного удобрения, если нет тяжелых металлов, часть стабилизируют, т. е. обрабатывают избытком кислорода для удаления всевозможной органики, предотвращая таким образом гниение. Часть поступает на анаэробное разложение. Аппаратура для аэробной биохимической очистки представляет собой так называемый аэротенк, или окситенк (рис. 4.5).

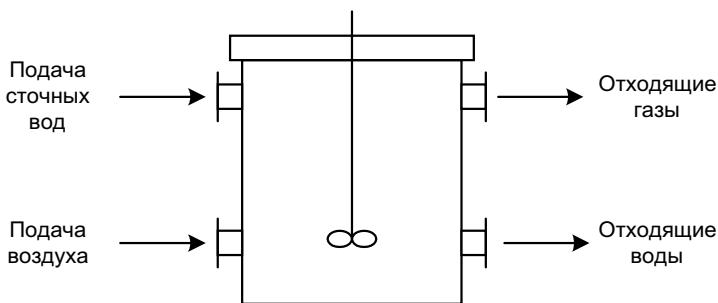
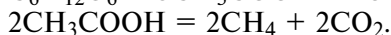
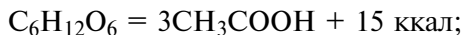


Рис. 4.5. Принципиальная схема окситенки

б) Анаэробная биохимическая очистка. В случае, если БПК намного выше нормы, а также для удаления избытка активного ила и отходов сельскохозяйственных продуктов применяют анаэробную биохимическую очистку в метантенках (реактор с мешалкой и теплообменником). При этом источником кислорода в воде служат группы кислородосодержащих анионов: NO_3^- ; SO_4^{2-} ; CO_3^{2-} .

В основе метанового брожения лежит способность сообществ определенных микроорганизмов в ходе жизнедеятельности сначала в фазе кислого водородного брожения с помощью бактерий гидролизовать сложные органические соединения до более простых, а затем с помощью метанообразующих бактерий превращать их в метан и в угольную кислоту.

Процесс окисления—восстановления — это переход электронов от субстрата-донора к конечному акцептору. Для аэробной реакции конечным акцептором является кислород, а при ферментации (анаэробной очистке) — органическое соединение, образующееся в результате «простого перемещения» водорода из одной органической молекулы в другую:



Образующийся газ состоит из метана (65%) и CO_2 (33%) и может быть использован для нагрева до 45—55°C в самой метантенке, где происходит анаэробное брожение. Сброженный осадок имеет высокую влажность (95—98%), его уплотняют, сушат, затем используют в качестве удобрения или, если есть токсичные примеси, сжигают.

Однако не всякие сточные и природные воды могут быть очищены биохимическими методами. Нормы на содержание вредных веществ в сточных и природных водах, поступающих на биологические очистные сооружения, по некоторым металлам следующие: Al^{3+} — 5 мг/л; Fe^{3+} — 5 мг/л; Cr^{6+} — 0,1 мг/л; Mg^{2+} — 1000 мг/л.

Не все органические вещества разлагаются на станциях биохимической очистки. Так, практически не разрушается бензин, красители, мазут и др. Эффективность биохимической очистки на самых современных установках составляет 90% по органическим веществам и лишь 20—40% — по неорганическим, т. е. практически не снижается солесодержание. Не могут быть очищены воды, содержащие более 1000 мг/л фенолов, 300—500 мг/л спиртов, 25 мг/л нефтепродуктов, т. е. для многих случаев эти методы не эффективны. В среднем эффективность анаэробного метода составляет около 40%. Сравнительная оценка очистки сточных вод различными методами представлена в табл. 4.2.

Т а б л и ц а 4.2. Оценка очистки сточных вод разными методами

Метод очистки	Процент удаления			Объем полученного ила (% объема сточных вод)
	Взвешенное твердое вещество	БПК типа КП	Бактерии	
<i>Первичная очистка</i>				
Отстой	40—95	30—35	40—75	0,1—0,5
Химическое осаждение	75—95	60—80	80—90	0,5—1,0
Слив очищенных сточных вод	35—80	25—65	40—75	0,025—0,05
<i>Вторичная очистка</i>				
Капельная фильтрация	20—80	60—90	70—85	0,1—0,5
Обработка активным илом	70—97	70—96	95—99	1,0—3,0

Процессы анаэробной очистки проводят в специальных метантенках при температуре 30—55°C, выделяющийся метан CH_4 может быть использован для нагрева метантенка.

Например, в США при анаэробной очистке сточных вод животноводческого комплекса (500 голов свиней) за счет сжигания метана после анаэробной очистки комплекс не только обеспечивает себя электроэнергией, но иногда в летнее время может даже продавать ее. Образующиеся после анаэробной очистки сточные воды могут быть использованы для выращивания специальных одноклеточных водорослей типа хлореллы, которые в дальнейшем могут быть использованы на корм скоту. Цикл оказывается замкнутым.

Необходимо искать такие способы ликвидации отходов, которые дают возможность получать полезные продукты, например, дрожжи для выпечки хлебо-булочных изделий и для производства этилового спирта или для превращения отходов, образующихся при переработке древесной пульпы, в полезный продукт.

4. Обеззараживание воды

Последней стадией подготовки воды для питьевых и других нужд является ее обеззараживание, т. е. избавление от болезнетворных микроорганизмов, так как хорошо известно, что через воду могут распространяться такие страшные заболевания, как холера, брюшной тиф, инфекционный гепатит и др. Многие годы обеззараживание воды осуществляли с помощью обработки ее хлором. Однако стало известно, что полихлорированные бифенилы являются ядами, их находят в основном в жирах. Окисляясь, они образуют абсолютные яды — диоксины. Летальная доза диоксинов в организме для свиней, которые являются тест-объектами, — 10 мкг/кг их веса. Но эту дозу можно набрать и постепенно. Это привело ученых к выводу, что хлорирование может быть вредным. Во многих странах в 80-е годы перешли к обработке воды фторированием, но оказалось, что оно тоже вредно. Поэтому во всем мире и в России тоже отдают предпочтение обработке воды озонированием.

Биологическая очистка не может обеспечить обессоливания сточных вод. Как известно, вода питьевого качества должна содержать не более 1000 мг/л солей, из них: хлоридов — 350 мг/л, сульфатов — 500 мг/л. Необходимую в технических целях пресную воду получают методами выделения солей из сточных и природных вод.

5. Специальные методы очистки воды

Существует много специальных методов выделения солей из природных и сточных вод.

а) **Д и с т и л л я ц и я** (выпаривание) — хорошо освоенный и широко применяемый метод. Мощность выпарных установок составляет 15—30 тыс. м³ в сутки. Одни из самых мощных выпарных установок располагаются на предприятиях атомной энергетики, где необходимо опреснение морской воды, например, в г. Шевченко (реактор на быстрых нейтронах). Основным недостатком этого способа является большой расход энергии — 0,020 Гкал/т. Геоопреснительные установки невелики по мощности (< 20 м³/с.), а стоимость опреснения велика.

б) **В ы м о р а ж и в а н и е**. При медленном охлаждении соленой воды из нее в первую очередь выделяются кристаллики льда, практически не содержащие солей. По сравнению с дистилляцией вымораживание имеет энергетические, технологические, конструкционные преимущества.

в) **М е м б р а н н ы й м е т о д**. Это электродиализ и гиперфильтрация, или обратный осмос. Электродиализ — современный метод деминерализации и концентрирования растворов. Основан на направленном переносе ионов диссоциированных солей в поле постоянного тока через ионселективную мембрану из естественного или синтетического материала. Схема электродиализа представлена на рис. 4.6. За рубежом этот метод получил широкое распространение для обессоливания морской воды. Например, установка в Ливии на 20 тыс. м³/с., в США — на 400 тыс. м³.

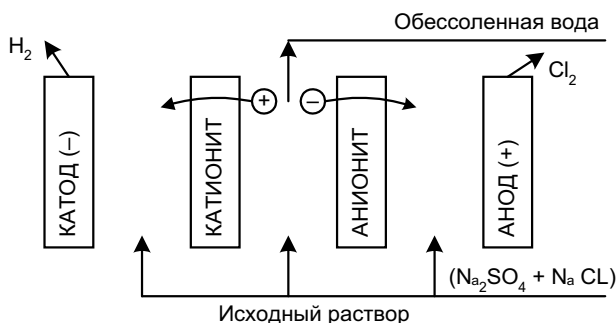


Рис. 4.6. Схема электродиализа

Метод обратного осмоса — это процесс разделения водных растворов путем их фильтрования через полупроницаемую мембрану под действием давления выше осмотического (до 6—8 МПа).

Процесс характеризуется небольшими энергозатратами. За рубежом освоено производство установок производительностью до 1 тыс. м³/с. У нас работают установки меньшей мощности, но есть разработки и проекты на большие мощности. Основные трудности этих методов — в создании полупроницаемых мембран и давления.

г) **И о н н ы й о б м е н**. Метод широко применяется во всех странах мира. До настоящего времени этот метод является основным для приготовления глубоко обессоленной воды для АЭС и ТЭС с котлами сверхвысокого и критического давления. Кроме того, метод ионного обмена широко используется в водооборотных циклах на предприятиях для концентрирования и извлечения из сточных вод ценных компонентов (например, тяжелых металлов).

Основной недостаток общепринятых технологических схем ионного обмена — избыток растворов солей после регенерации ионообменных фильтров. Велик расход воды на собственные нужды (20—60% от производительности). Существует необходимость удаления органических веществ, чтобы избежать отравления ионитами. Поэтому ионный обмен с большим допущением можно назвать методом обессоливания сточных вод, скорее это технологический прием получения воды высокой степени очистки.

Очень широкое применение этот метод нашел в практике умягчения воды, т. е. избавления ее от солей постоянной жесткости.

6. Удаление остаточных органических веществ

После биохимической очистки могут остаться органические вещества, плохо усваиваемые микроорганизмами. Лучший способ их удаления — **а д с о р б ц и я а к т и в и р о в а н н ы м у г л е м**, который затем регенерируется при нагревании.

Обычно сточные воды пропускают через колонки с активированным углем, где обеспечен контакт с ним в течение 20—40 мин. Это весьма эффективный метод, позволяющий очистить сточные воды до БПК < 1 мгО₂/л (меньше нормы по ГОСТ). Аппаратура для применения этого метода довольно простая.

Адсорбция активированным углем эффективна для большинства органических соединений и используется для очистки бытовых стоков, жидких отходов перегонки нефти, фенолов и других ароматических соединений.

С целью перехода на более рациональное потребление воды и сокращения сброса загрязнений в водные объекты разработаны оптимальные нормы и укрупнены удельные показатели водопо-

требления и водоотвода для различных отраслей народного хозяйства с учетом совершенствования технологических процессов.

Введены в эксплуатацию замкнутые системы водного хозяйства на Краснодарском витаминном заводе, Липецком металлургическом комбинате.

В 1996 г. в г. Москве была проверена водоохранная деятельность на территории города. Установлено, что к основным нарушениям относятся неудовлетворительная эксплуатация и состояние водоочистного оборудования, отсутствие разрешений на спецводопользование, сброс сточных вод с превышением нормативных показателей. Участились случаи аварийных и залповых выбросов загрязняющих сточных вод на рельеф местности и в водоемы. В 1996 г. в водоемы города было сброшено 1305 тыс. т загрязняющих веществ (нефтепродуктов, тяжелых металлов, нитратов, хлоридов, взвешенных веществ и др.), но это почти в 2 раза меньше, чем в 1995 г. Количество загрязняющих веществ, сброшенных в 1996 г., составляет 22 наименования (табл. 4.3). Количество воды, используемой в оборотно-повторном водоснабжении, растет недостаточно: лишь на 16 предприятиях строятся очистные сооружения, а также системы оборотного водоснабжения.

Т а б л и ц а 4.3. Количество загрязняющих веществ, сброшенных в водоемы г. Москвы в 1992—1996 гг.

№ п/п	Показатели загрязнения, тыс. т	Масса сброса загрязнения				
		1992	1993	1994	1995	1996
1	2	3	4	5	6	7
1	Нефтепродукты	2,335	2,119	1,675	1,56	0,66
2	СПАВ (синтетические моющие средства)	0,200	0,421	0,338	0,39	0,428
3	Железо	0,658	0,554	0,557	0,57	0,758
4	Медь	0,095	0,059	0,054	0,059	0,046
5	Цинк	0,608	0,154	0,217	0,160	0,206
6	Никель	0,084	0,062	0,037	0,036	0,043
7	Хром	0,230	0,224	0,124	0,072	0,020
8	Нитраты	10,745	24,206	20,850	51,503	63,609
9	Алюминий	0,0004	0,083	0,220	0,16	0,094
10	Нитриты	0,735	2,04	2,12	2,56	5,212
11	БПК	17,58	23,66	23,40	22,66	22,14

Окончание табл. 4.3

1	2	3	4	5	6	7
12	Взвешенные вещества	27,670	24,010	24,612	24,03	23,13
13	Сульфаты	128,2	116,1	110,5	108,28	111,42
14	Азот аммонийный	28,88	17,99	17,72	14,172	13,552
15	Хлориды	232,00	185,70	164,49	146,89	144,58
16	Сухой осадок	1101,00	991,00	958,17	942,31	915,37
17	Фенол	—	—	—	—	0,004
18	Фосфор общий	—	—	—	—	2,626
19	Сероводород	—	—	—	—	0,460
20	Фтор	—	—	—	—	0,00029
21	Свинец	—	—	—	—	0,099
22	Марганец	—	—	—	—	0,212
Итого		3102,04	2776,56	2649,17	2541,71	1304,881

4.4. Охрана литосферы

Твердые бытовые отходы и их утилизация. Общая площадь суши Земли составляет 149,1 млн км², из них пригодны для обитания людей 133 млн км².

Основные виды загрязнения литосферы — твердые бытовые и промышленные отходы. На одного жителя в городе в среднем приходится в год примерно по 1 т твердых отходов, причем эта цифра ежегодно увеличивается.

В городах под складирование бытовых отходов отводятся большие территории. Удалять отходы следует в короткие сроки, чтобы не допускать размножения насекомых, грызунов, предотвращения загрязнения воздуха. Во многих городах действуют заводы по переработке бытовых отходов, причем полная переработка мусора позволяет городу с населением в 1 млн человек получать в год до 1500 т металла и почти 45 тыс. т компоста — смеси, используемой в качестве удобрения. В результате утилизации отходов город становится чище, кроме того, за счет осваиваемых площадей, занятых свалками, город получает дополнительные территории. Например, в Москве к 1990 г. было зарегистрировано 150 свалок, из них только 3 — действующие. Часть новых кварталов Москвы размещена на территории бывших свалок, и поскольку во время строительства еще не было правильно организованных технологий свалок, то в этих рай-

онах города необходим особенно тщательный контроль воздуха на присутствие токсичных веществ.

Правильно организованная технологическая свалка — это такое складирование твердых бытовых отходов, которое предусматривает постоянную, хотя и очень долговременную, переработку отходов при участии кислорода воздуха и микроорганизмов. На рис. 4.7 дана схема безопасного захоронения отходов, которая может послужить иллюстрацией к вышесказанному, хотя она относится к промышленным отходам, но принцип складирования отходов, представленный на этой схеме, надежно обеспечивает охрану территории ОС.

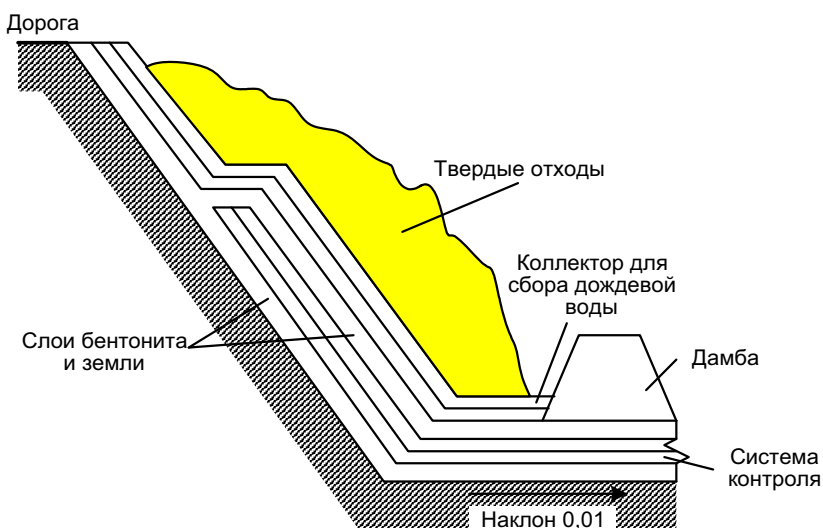


Рис. 4.7. Схема безопасного захоронения отходов

На рисунке представлен разрез безопасного хранилища, построенного фирмой «Olin Chemical» для размещения отходов производства хлора и щелочи со своего завода в Чарлстоне (США). Дно камеры выстлано слоем земли и натриевой бентонитовой глины. В этом же слое предусмотрена система контроля любых утечек различных веществ из сбрасываемых отходов. Выше этого слоя уложен еще один слой бентонита и земли. Поверх второго слоя размещена система сбора ливневых стоков с насосом. Попавшая в отходы дождевая вода собирается, откачи-

вается и направляется в очистные установки. Для хранилищ, предназначенных для размещения жидких органических отходов, требуется изоляция из синтетических материалов, а не из глины, поскольку через глину в конце концов происходит утечка органических жидкостей.

На заводе по сжиганию бытовых отходов наряду с обезвреживанием происходит максимальное уменьшение их объема (до 90% исходного). Однако необходимо учитывать, что сами мусоросжигающие заводы могут загрязнять окружающую среду, поэтому при их проектировании обязательно предусматривается очистка выбросов в ОС. Производительность таких заводов по сжигаемым отходам приблизительно 720 т/с. при круглогодичном и круглосуточном режимах работы.

В сельскохозяйственных районах строятся заводы по переработке старой полиэтиленовой пленки. Например, из собранной за год (более 1500 т), очищенной от грязи пленки получают 1300 т труб, которые используют в мелиорации и в крупнопанельных домах.

В Японии, стране высокой бытовой культуры, налажен сбор в специальные контейнеры отходов полиэтилена, которые затем прессуются и из них создаются острова в Тихом океане для захоронения не утилизируемых в настоящее время отходов (например, ядерных отходов).

Во многих странах Европы вблизи больших магазинов установлены контейнеры для банок и бутылок разного цвета. Специалисты подсчитали, что на собранном таким образом сырье в городе с населением 0,5—1,0 млн человек может в течение года работать стекольный завод.

Твердые промышленные отходы и их переработка. В результате промышленной деятельности человека происходит загрязнение почвы, что приводит к выводу из строя земель, пригодных для сельского хозяйства. Основные виды промышленных отходов — шлаки тепловых электростанций и металлургических заводов, породные отвалы горнодобывающих предприятий и горнообогачительных комбинатов, строительный мусор и т.д. В особую группу выделяют загрязнение почвы нефтепродуктами и другими химическими веществами (в авиационной и других технологиях — это твердые осадки гальванованн и продукты травления металлов), которые пагубно воздействуют на почвенные микроорганизмы и корневую систему растений.

Объем извлекаемой из недр горной массы в нашей стране составляет свыше 15 млрд т/год. В хозяйственный оборот вовлекается около трети всего минерального сырья, а на производство готовой продукции расходуется менее 7% добытых полезных ископаемых. Очевидно, что нельзя без конца наращивать и без того колоссальные потоки отходов и попутных продуктов.

В железосодержащих шлаках аглофабрик черной металлургии, например, содержится больше железа, чем в добываемой руде. Вместе с тем промышленность стройматериалов и стройиндустрия добывают и потребляют ежегодно 3,5 млрд т нерудного сырья, большая часть которого может быть заменена отходами. Хозяйство нашей страны несет также огромные потери, связанные со складированием отходов. В результате только на транспортировку 1 т отходов и содержание отвалов расходуются огромные средства (приблизительно от 15 до 80 тыс. руб.).

Строительство комбинированных производств и отдельных технологических установок по переработке отходов особенно целесообразно в промышленных районах с большой потребностью в строительных материалах, изделиях, конструкциях. Например, методом катализируемой кристаллизации стекла на основе доменных шлаков у нас в стране получают шлакоситаллы. Высокие физико-механические и физико-химические свойства шлакоситаллов, в первую очередь их износостойкость и химическая устойчивость, в сочетании с декоративностью делают их ценнейшим строительным материалом. Только в Москве шлакоситалл нашел применение при строительстве таких известных объектов, как павильон «Металлургия» на ВВЦ (Всероссийский выставочный комплекс), аэропорт Шереметьево, универмаг «Москва», Центральный городской аэровокзал и др.

Груды старых шин от автомобилей различных марок на территории Чеховского регенераторного завода под Москвой — уже не свалка, а склад исходного сырья для производства резиновой крошки и регенерата — пластичного материала, частично заменяющего каучук в различных резиновых изделиях, в том числе и в новых шинах. Одна тонна регенерата — продукта переработки старых покрышек, позволяет сэкономить 400 кг синтетического каучука.

Все развитые страны имеют планы по созданию чистых (так называемых безотходных) технологий. Например, программа по экологии правительства Нидерландов до 2000 г. предусматрива-

ла уменьшить количество отходов, поступающих на сжигание, с 60 до 35%, на захоронение — с 55 до 10%.

В 1987 г. Конгресс США принял поправку к закону по опасным и твердым отходам, запрещающую захоронение отходов без их предварительной обработки по самым современным технологиям.

В качестве примера промышленной переработки твердых бытовых отходов на рис. 4.8 приведена схема технологии итальянской компании «Сорайн Чеккини».

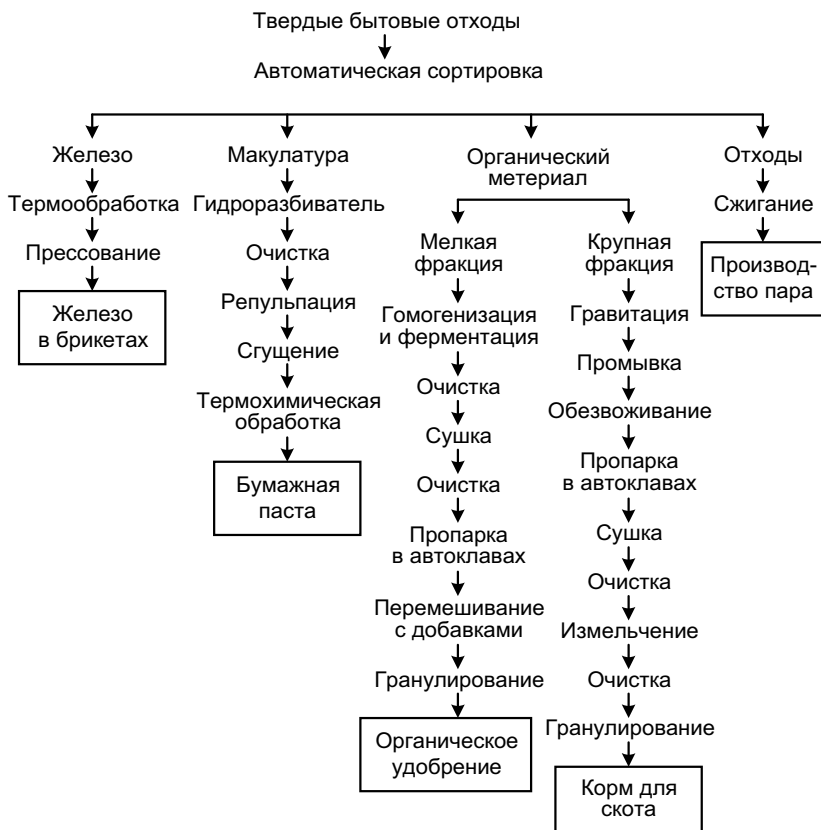


Рис. 4.8. Принципиальная схема промышленной переработки твердых бытовых отходов

В России в 1991 г. была разработана программа, в которой предусматривался в целях комплексной переработки природных

ресурсов и сырья переход на безотходные и малоотходные производства. При этом обеспечивались независимость экологической экспертизы и создание кадастра вторичных ресурсов для учета вторичного сырья. Однако этот процесс в связи с коренной перестройкой самой системы хозяйствования сильно затягивается, что усугубляет положение с охраной литосферы на территории России и стран СНГ.

Контрольные вопросы



1. Какие основные вещества являются загрязнителями окружающей среды в современном городе?
2. Как можно классифицировать антропогенные загрязнения окружающей среды? Приведите примеры.
3. Какие токсичные выбросы являются приоритетными загрязнителями атмосферы?
4. Что такое «кислотные дожди»? Какие методы их утилизации вы знаете?
5. Какие токсичные вещества содержат выхлопные газы автомобилей? Как их обезвреживают?
6. Что такое смог? Какие способы удаления частиц пыли из воздуха вы знаете?
7. Что такое «парниковый эффект»?
8. Какие изменения гидросферы связаны с хозяйственной деятельностью человека?
9. Какие методы очистки воды вы знаете? Какова их последовательность? Какова роль каждого из этих методов?
10. Что такое реагентный метод очистки воды? Приведите примеры.
11. Какие два типа биохимической очистки воды вы знаете? В чем их отличие?
12. Как можно классифицировать твердые отходы?
13. Как решаются проблемы со все возрастающими твердыми бытовыми отходами на Земле? Приведите примеры.
14. Какие примеры утилизации твердых промышленных отходов вы можете привести?
15. Какие вопросы следует решить человечеству для сохранения биосферы Земли? Приведите примеры успешного решения этих проблем.

5

Основы рационального природопользования



5.1. Основные понятия

Природопользование — непосредственное и косвенное воздействие человека на окружающую среду в результате всей его деятельности. *Рациональное природопользование* — планомерное, научно обоснованное преобразование окружающей среды по мере совершенствования материального производства на основе комплексного использования невозобновляемых ресурсов в цикле: производство — потребление — вторичные ресурсы при условии сохранения и воспроизводства возобновляемых природных ресурсов [31, 32].

Изучение процессов, протекающих в биосфере, и влияния на них хозяйственной деятельности человека показывает, что только создание экологически безотходных и малоотходных производств может предотвратить оскудение природных ресурсов и деградацию природной среды. Хозяйственная деятельность людей должна строиться по принципу природных экосистем, которые экономно расходуют вещество и энергию и в которых отходы одних организмов служат средой обитания для других, т. е. осуществляется замкнутый кругооборот.

В XX в. человечество в результате научно-технической революции пришло к следующему техногенному кругообороту веществ (рис. 5.1).

Казалось бы, сегодня всем ясно, что время «покорения природы» безвозвратно прошло и начался период глубокого, заинтересованного познания ее законов. Однако на практике объемы отходов в стране растут в два-три раза быстрее, чем объемы производства и численность населения. Лавина отходов загрязняет природу, их вредные токсичные компоненты засоряют землю, воздух, реки, моря и озера. Причина кроется в сиюминутной выгоде для производства. Но разумный человек не дол-

жен считать выгодой уничтожение всего живого, «безумное прожигание» ресурсов, не только своих, но и принадлежащих будущим поколениям. Следовательно, пришло время коренным образом изменить сам подход к понятию выгоды, когда речь идет о природопользовании.

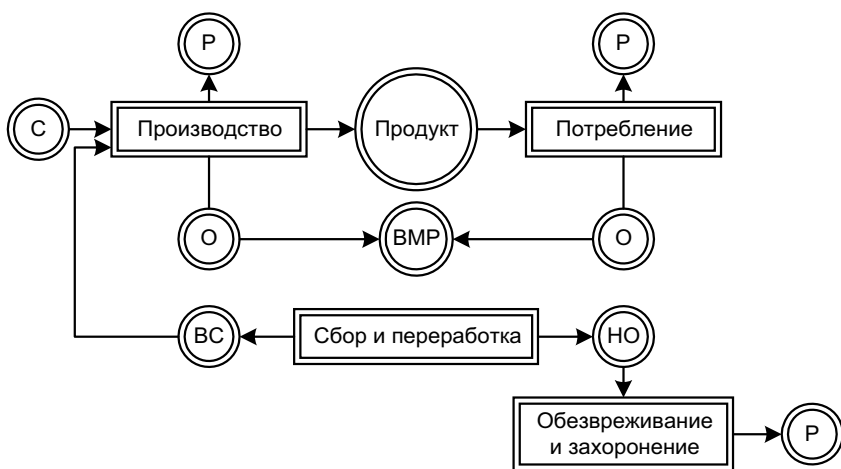


Рис. 5.1. Техногенный кругооборот веществ:

С — первичное сырье; Р — рассеивание в окружающей среде; О — отходы; ВМР — вторичные материальные ресурсы; ВС — вторичное сырье; НО — не утилизируемые ресурсы

Исходя из сказанного можно сформулировать наиболее общее определение **рационального природопользования** — это система взаимодействия общества и природы, построенная на основе научных законов природы и в наибольшей степени отвечающая задачам как развития производства, так и сохранения биосферы.

Из схемы техногенного кругооборота веществ (рис. 5.1) видно, что в отличие от природных кругооборотов он незамкнут во многих частях.

5.2. Безотходные и малоотходные производства

Термин «безотходная технология» впервые предложен российскими учеными Н.Н. Семеновым и И.В. Петряновым-Соко-

ловым в 1972 г. В ряде стран Западной Европы вместо «мало- и безотходная технология» применяется термин «чистая или более чистая технология» («pure or more pure technology»).

В соответствии с решением ЕЭК ООН и с Декларацией о малоотходной и безотходной технологиях и использовании отходов принята такая формулировка безотходной технологии (БОТ): «Безотходная технология есть практическое применение знаний, методов и средств с тем, чтобы в рамках потребностей человека обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов и энергии и защитить окружающую среду» [21].

В литературе встречаются и другие термины, например, «безотходная технологическая система» (БТС). Под БТС понимается такое отдельное производство или совокупность производств, в результате практической деятельности которых не происходит отрицательного воздействия на окружающую среду. В определении безотходной технологии подразумевается не только производственный процесс. Это понятие затрагивает и конечную продукцию, которая должна характеризоваться:

- долгим сроком службы изделий,
- возможностью многократного использования,
- простотой ремонта,
- легкостью возвращения в производственный цикл или перевода в экологически безвредную форму после выхода из строя.

Теория безотходных технологических процессов в рамках основных законов природопользования базируется на двух предпосылках:

- исходные природные ресурсы должны добываться один раз для всех возможных продуктов, а не каждый раз для отдельных;
- создаваемые продукты после использования по прямому назначению должны относительно легко превращаться в исходные элементы нового производства.

Схема такого процесса — «спрос — готовый продукт — сырье». Но каждый этап этой схемы требует затрат энергии, производство которой связано с потреблением природных ресурсов вне замкнутой системы. Вторым препятствием полной замкнутости процесса является износ материалов, их рассеивание в окружающей среде. Например, долгое, на протяжении многих столетий, использование таких металлов, как серебро, свинец, цинк,

медь и др., и их рассеивание в процессе этого использования в ОС привели к тому, что сроки их исчерпания из земных недр составляют, согласно своду международных прогнозов «Мир в 2000 году», всего один-два десятка лет.

Понятие безотходной технологии условно. Под ним понимается теоретический предел или предельная модель производства, которая в большинстве случаев может быть реализована не в полной мере, а лишь частично (отсюда — *м а л о о т х о д н а я* технология — МОТ). Но с развитием современных наукоемких технологий БОТ должна быть реализована все с большим приближением к идеальной модели.

Критики концепции безотходного производства утверждают, ссылаясь на второй закон термодинамики, что как энергию нельзя полностью перевести в работу, так и сырье невозможно полностью переработать в продукты производства и потребления. С этим нельзя согласиться, поскольку речь идет прежде всего о материи и о Земле как открытой системе, а материю — продукцию в соответствии с законом сохранения вещества и энергии всегда можно преобразовать снова в соответствующую продукцию. Примерами служат безотходно функционирующие природные экосистемы.

Имеется и другая крайность, когда все работы, связанные с охраной ОС от промышленных загрязнений, относят к БОТ и МОТ. Необходимо помнить, что оценка степени безотходности производства — очень сложная задача и единых критериев для всех отраслей промышленности нет.

В целом комплексный подход к оценке степени безотходности производства должен базироваться на:

- учете не столько безотходности, сколько степени использования природных ресурсов;
- оценке производства на основе самого обычного материального баланса, т. е. на отношении выхода конечной продукции к массе поступившего сырья и полуфабрикатов;
- определении степени безотходности по количеству отходов, образующихся на единицу продукции.

Для точного определения степени безотходности необходимо введение поправки на токсичность отходов. Невозможно сопоставлять только по массе, например, отходы содового производства и отработанные растворы гальванических цехов. Для сравнительного анализа различных технологических схем одноп-

ных производств, выпускающих продукцию одного и того же вида, на стадии их проектирования вполне может быть использован поправочный коэффициент на токсичность отходов.

Для расчета энергетических затрат следует рассматривать энергоемкость продукции с учетом коэффициентов безотходности. Только в этом случае можно получить объективный показатель безотходности рассматриваемого производства. Масштабы загрязнения ОС при производстве электроэнергии на ТЭС часто таковы, что могут свести к минимуму те экологические преимущества, которые удастся достичь при совершенствовании основного производства. Например, в цветной металлургии о степени безотходности судят по коэффициенту комплексности использования сырья (во многих случаях он превышает 80%). В угледобывающей промышленности предприятие считается безотходным (малоотходным), если этот коэффициент не превышает 75%.

5.3. Основные принципы создания безотходных производств

Основные принципы создания безотходных производств заключаются в комплексном использовании сырья, создании принципиально новых и совершенствовании действующих технологий, создании замкнутых водо- и газооборотных циклов, кооперировании предприятий и создании территориально-производственных комплексов.

1. Комплексное использование сырья. Отходы производства — это неиспользованная или недоиспользованная по тем или иным причинам часть сырья. Поэтому проблема комплексного использования сырья имеет большое значение как с точки зрения экологии, так и с точки зрения экономики.

Необходимость комплексного использования природных ресурсов диктуется, с одной стороны, все увеличивающимися темпами роста объемов промышленных производств, загрязняющих окружающую среду, а с другой — необходимостью экономного их расходования, поскольку запасы основного минерального сырья ограничены, а цены на него непрерывно возрастают. С 1992 по 1996 гг. цены почти на все сырьевые материалы выросли более чем в 2 раза. В свою очередь рост цен ускоряет внедрение и разработку малоотходных и безотходных

производств, поскольку расширяются пределы их экономической рентабельности.

Источниками отходов являются:

- примеси в сырье, т. е. компоненты, которые не используются в данном процессе для получения готового продукта;
- неполнота протекания процесса, остаток полезного продукта в сырье;
- побочные химические реакции, приводящие к образованию неиспользуемых веществ.

Рациональное комплексное использование сырья позволяет уменьшить количество недоиспользованных веществ, увеличить ассортимент готовых продуктов, выпускать новые продукты из той части сырья, которая раньше уходила в отходы.

Характерен пример цветной металлургии, где постоянно растет количество элементов, извлекаемых из минерального сырья. Из 90 элементов, обнаруженных в биосфере Земли, предприятиями цветной металлургии извлекались:

<i>Год</i>	<i>Число элементов</i>
1913	15
1930	20
1940	24
1960	63
1970	74
1980	82
1990	88

Из медьсодержащих руд, в состав которых входят 25 элементов, извлекается 21 элемент. Из полиметаллического сырья извлекают 18 элементов и получают более 40 видов товарной продукции. Доля полезных элементов, извлекаемых из природного сырья в цветной металлургии, — одна из самых высоких и достигает 80%. Повышение выхода продукта на каждой стадии процесса приводит к уменьшению количества отходов и увеличению комплексного использования сырья. Радикальное средство против протекания побочных реакций — изменение технологии.

2. *Создание принципиально новых и совершенствование действующих технологий (схем)*. Это очень важный этап в технологии. Например, в основу создания атомной промышленности положены принципы, исключающие загрязнение окружающей среды или значительно снижающие его. На предприятии Атоммаша

«Родон» высока надежность всех технологических схем и новых методов захоронения отходов. В черной металлургии создана новая технологическая схема, позволяющая сократить загрязнение среды — прямое восстановление железа.

3. *Создание замкнутых водо- и газооборотных циклов.* С позиций экологической безопасности и надежности не менее важной представляется задача по созданию замкнутых водо- и газооборотных циклов. Например, на ПО «Тулачермет» организован замкнутый газооборотный цикл, разработанный для производства суперфосфатных и других фосфорных удобрений, что позволяет избежать загрязнения окружающей среды фторидами.

4. *Кооперирование предприятий, создание территориально-производственных комплексов.* В большинстве случаев отходы одного производства являются сырьем для других производств. В связи с этим предлагается сам термин «отходы» заменить на «продукты незавершенного производства». При этом основная задача состоит в изыскании возможностей для применения продуктов незавершенного производства в других производствах или отраслях народного хозяйства, которые могли бы строить свою деятельность на них как на вторичных материальных ресурсах. Например, в Бразилии из отходов производства сахарного тростника получают спирт, используемый в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания.

Большая работа проводится в различных странах по созданию так называемых «банков отходов», т. е. по систематизации отходов различных отраслей промышленности, например, химической, нефтехимической отраслей, металлургии.

Наиболее благоприятные возможности для межотраслевого кооперирования складываются в условиях территориально-производственных комплексов (ТПК). Самый эффективный тип организации производства — сочетание межрайонной специализации с внутрирайонной кооперацией.

5.4. Безотходное потребление

Обычно проблемы экологии и ресурсосбережения связывают с деятельностью предприятий, упуская из виду, что различные ресурсы потребляются в быту. Объемы потребляемых населением материальных благ и ресурсов весьма значительны. Напри-

мер, соотношение между потреблением и накоплением в национальном доходе составляет примерно $3/4 : 1/4$. Следует также отметить тенденцию опережающего роста объемов отходов потребления по сравнению с отходами промышленности.

Пути перехода к «безотходному типу потребления» имеют свои особенности. Одна из них заключается в том, что отрасли, обслуживающие население, наименее «технологичны» в отношении безотходности. Помимо того, что материальные ценности в этих отраслях рассредоточены в соответствии со сложившейся системой расселения по территории всей страны, объемы образующихся отходов у конкретных потребителей весьма незначительны, а сами отходы очень разнородны и многокомпонентны. Положение осложняется тем, что сфера потребления в гораздо меньшей степени, чем сфера производства, поддается экономическому регулированию. Сфера потребления всегда ориентирована на конкретных людей, живущих в соответствии с многочисленными национальными традициями, особенностями регионов, уровнем культуры и т.д.

Таким образом, достижение рационального использования ресурсов в сфере потребления — сложная проблема и ее решение может быть достигнуто с помощью мер, условно разделяемых на две основные группы. Первая объединяет меры, предпринимаемые в отраслях общественного обслуживания (экономическое регулирование), вторая — меры воспитательного характера, направленные на выработку у каждого гражданина сознательного отношения к потребляемым ресурсам (регулирование воспитанием). На практике эти меры носят комплексный характер, взаимно дополняя друг друга. Внедрение новых технических решений, с помощью которых достигается экономия ресурсов, должно сопровождаться их пропагандой и созданием условий для широкого использования.

Например, одним из наиболее используемых ресурсов для бытовых нужд является питьевая вода. Жилищно-коммунальное хозяйство наряду с промышленностью и сельским хозяйством — крупнейший потребитель воды. Специалисты подсчитали, что водопотребление в расчете на одного жителя, пользующегося водопроводом, составляет 200—240 л/с., а пользующегося, образно говоря, «ведром» — только 20—40 л. Чаще всего потери воды вызваны техническими неполадками, нарушениями эксплуатации водопроводов и т.д. Речь идет, в частности, о неис-

правностях оборудования, утечках воды из труб. Кроме того, много питьевой воды расходуется не по назначению, например, на полив зеленых насаждений, и т.д.

Для решения вопроса рационального водопользования необходимо наладить тщательный учет всей расходуемой воды и оперативно устранять технические неполадки в системах водоснабжения. О том, что возможности для этого есть, свидетельствуют значительные различия в уровне потребления воды между различными городами и регионами страны, а также достигнутым уровнем потребления воды в ряде развитых государств. Например, в Москве начиная с 1997 г. ведется работа по установлению водосчетчиков в многоквартирных домах наряду с введением в строй в 1994 г. станции «Роса», осуществляющей контроль водопроводной воды по 70 показателям 30 раз в сутки. Таким образом, для обеспечения рационального потребления воды необходим комплекс мер, объединяющий прогресс в области экономики, организации и техники, дополненный продуманной эффективной воспитательной работой.

Все это в полной мере относится и к потреблению других видов ресурсов, в частности, топливно-энергетических. Например, потребление электроэнергии на бытовые нужды в последнее время ежегодно увеличивается на 10%, в то же время опыт показывает, что такое увеличение не всегда оправдано. Одним из направлений экономии электрической энергии является массовый выпуск бытовой техники, обеспечивающей рациональное потребление электроэнергии. Например, замена парка бытовых холодильников на более экономичные модели (с усовершенствованной теплоизоляцией, автоматическим оттаиванием) позволила снизить потребление электроэнергии. Переход на «зимнее» и «летнее» время, позволяющий лучше использовать «светлые» часы суток, в целом по народному хозяйству дает экономию около 3 млрд кВт·ч электроэнергии в год, на 3—4 млн кВт·ч снижает пиковые нагрузки энергосистем.

В принятой ООН «Всемирной стратегии охраны природы», в частности, записано: «Мы не унаследовали Землю наших отцов. Мы взяли ее в долг у наших детей». Поэтому именно принцип не брать «взаймы у потомков» должен стать определяющим при принятии всех без исключения решений по вопросам использования природных ресурсов.

Контрольные вопросы



1. В чем отличие техногенного круговорота веществ от биогеохимических круговоротов веществ в природе?
2. Отличается ли техногенный круговорот веществ в развитых и в развивающихся странах? Если да, то в чем это отличие?
3. Кем введены термины «безотходные технологии» и «малоотходные технологии»? Приведите аналоги этих терминов, принятые в англоязычных странах.
4. Какие основные принципы создания безотходных и малоотходных производств вам известны?

6

Экологический менеджмент



6.1. Понятие, предмет и функции экологического менеджмента

Экологическим менеджментом (ЭМ) называется безопасное управление природными процессами, которое определяется как биологическими особенностями объекта управления, так и социально-экономическими возможностями управляющего [13].

Предметом ЭМ является процесс управления современным производством, которое обеспечивает сочетание эффективности производства с охраной окружающей среды (ОС), в том числе среды обитания человека, и с рациональным использованием природных ресурсов.

В условиях современного экологического кризиса стратегией ЭМ является научно обоснованная направленность развития системы «человек—биосфера», ведущая к коэволюции природы и общества, на основе которой разрабатываются методологические и организационные основы управления.

Конкретные функции ЭМ:

- управление состоянием природных экосистем;
- управление состоянием социоприродных систем;
- управление состоянием и использованием природных ресурсов;
- управление восстановлением запасов природных ресурсов;
- управление процессами антропогенного давления на природу (регулирование процессов роста народонаселения, урбанизации, загрязнения ОС и использования отходов производства).

Инфраструктура ЭМ (см., например, [13]) включает основные факторы, определяющие благоприятную обстановку для его осуществления:

- формирование нового мировоззрения, в котором будут преобладать экологические приоритеты и ценности;
- развитие экологического образования в направлении овладения ЭМ;
- мониторинг экологических ситуаций;
- информационное и научно-методологическое обеспечение ЭМ;
- правовое обеспечение ЭМ;
- разработка общей стратегии развития общества;
- экономическое и финансовое обеспечение.

Основные принципы менеджмента:

- опора на экологическое сознание и экономическое мотивирование;
- предупредительность и своевременность решения проблем экологического развития;
- ответственность за экологические последствия всех управленческих решений;
- интеграция управления экологическими процессами;
- последовательность (непрерывность, поэтапность) решения проблем экологического развития.

6.2. Социоприродная экосистема как объект экологического контроля

За 3,5 млрд лет существования биосферы выработался механизм поддержания экологического равновесия естественных экосистем. *Экологическое равновесие* есть не что иное как сохранение природной, естественной экосистемы в определенном состоянии в течение характерного для нее времени (например, для биосферы — в рамках геологического периода). Это равновесие сохранялось до появления в истории жизни на Земле рода *Ното*. В его позднейшей форме — *Ното sapiens*, возникшей около 40 тыс. лет назад, был изобретен новый способ приспособления к среде — изменение среды. Способ, которого не знал ни один живой организм, существовавший до появления человека. Этим способом явилась культура.

Что меняется в этой форме по сравнению со старой? В естественных экосистемах идет непосредственный обмен между живыми организмами и неживой природой. Но по мере историче-

ского развития *Homo sapiens* между этими двумя частями экосистемы встраивается посредник, контролирующий естественный обмен. Этим посредником является человеческий разум.

По мере развития разум проникает в обменные процессы в экосистеме и преобразует их. При этом меняется характер обмена, он становится обусловленным, заданным, умышленным. Руководствуясь мировоззрением, человек действует целенаправленно. В результате человеческой деятельности естественные экосистемы трансформируются в социоприродные экосистемы, состоящие из неживой природы, живой природы и не природы — культуры. Человек использует законы и свойства природы против нее же самой, задавая природным процессам те направление, форму и темпы протекания, которые требуются ему. На основе познанных законов природы человек устанавливает свое господство над ней и обеспечивает его с помощью труда. Но труд — это не только великое благо для человека, освободившее его от рабской зависимости от природы. Труд как мощное средство воздействия на природные процессы таит в себе и другую сторону. Из фактора созидательного он при определенных условиях может превратиться в свою противоположность — разрушительный фактор, особенно в части разрушения ОС.

В условиях человеческой деятельности экологическое равновесие стало выступать как соотношение ресурсно-экологических возможностей природы и хозяйственных потребностей человека. И если в естественной системе происходит саморегуляция, самонастраивание всех подсистем экосистемы, то в социоприродной экосистеме общество берет на себя роль организатора жизни, роль управленца. Однако до недавнего времени это управление осуществлялось не в интересах сохранения и развития социоприродной экосистемы в целом, а в интересах сохранения и развития лишь одной ее части — самого человеческого общества. Пренебрежение «интересами» других подсистем — геосферы и биосферы, рассмотрение их в качестве средства увеличения комфорта социальной жизни оказывают дестабилизирующее воздействие на всю систему и нарушают экологическое равновесие.

Человеческое общество как подсистема биосферы всецело зависит от благополучия системы в целом. Другими словами, глобальное нарушение экологического равновесия, переход биосферы в иное качественное состояние означали бы для человечества катастрофу. Социальные механизмы могут ее отдалить

или приблизить, но не ликвидировать. Поэтому перед человечеством возникает настоятельная необходимость поддержать экологическое равновесие, которое, во-первых, жизненно необходимо человечеству и, во-вторых, представляет собою эколого-экономический фундамент развития общества.

Во второй половине XX столетия появляется понимание зависимости благополучия общества от благополучия каждой подсистемы общей системы биосферы, понимание неприемлемости управления системой в эгоистически понятых интересах людей за счет переэксплуатации природы. Отсюда необходимость выработки новой стратегии управления системой в целях ее оздоровления. Этим целям, в частности, служит экологический менеджмент.

На небольшом примере использования поверхности планеты Земля человеком можно убедиться, насколько актуальны проблемы экологического менеджмента в настоящее время. Площадь всей суши на планете составляет 149,1 млн км², из которых 40 млн км² занято ледниками и пустынями. Антропогенные ландшафты занимают площадь 54 млн км², из них 50 млн км² — территории сельскохозяйственного использования и только 4 млн км² — зоны урбанизации. В XXI в. в связи с ростом населения Земли ожидается, что площадь сельскохозяйственных угодий возрастет до 80 млн км², а зона урбанизации может возрасти до 20 млн км². Это значит, что около 100 млн км², т. е. вся пригодная для использования суша будет радикально преобразована человеком.

В настоящее время сохранение экологического равновесия трактуется как достижение устойчивого развития. Под *устойчивым развитием* понимают устойчивость темпов экономического роста (по некоторым оценкам, не более 2—3% в год), при котором уровень давления на ОС компенсировался бы темпами самовосстановления ее качеств [26, 41]. Уровень жизни человека напрямую связан с потреблением природных ресурсов до тех пор, пока среда самовосстанавливает свои качества. Но как только темпы использования природных ресурсов превышают темпы самовосстановления среды жизни, человек, чтобы выжить, должен тратить новые ресурсы и энергию на поддержание качества ОС. В эпоху товарно-денежных отношений экологическое равновесие выступает как своеобразный товар. Его стоимость включает прямые затраты на охрану ОС и косвенные, связанные с отказом от перспективных экономически, но пагубных экологически начинаний. Примером последних может служить отказ от строитель-

ства скоростной железнодорожной магистрали Москва — Санкт-Петербург, строительство которой нанесло бы непоправимый вред всему европейскому региону России.

В связи с поисками выхода из экологического кризиса активизировались попытки построить научную теорию взаимодействия природы и общества. Идет научный поиск основных законов оптимизации взаимодействия общества и природы, которые стали бы законами саморегуляции системы «общество—природа». Среди этих законов центральное место принадлежит закону оптимального соответствия характера общественного развития состоянию природной среды.

По поручению ООН группой ученых разработана Концепция устойчивого развития общества, одобренная на конференции по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро («Рио-92») и рекомендованная всем странам мира как общая стратегия преодоления глобального экологического кризиса [26, 41].

В России разработан и одобрен Государственной Думой и Правительством страны национальный вариант Концепции. Он рекомендован регионам страны для конкретизации и исполнения, хотя многие принципиальные моменты, связанные с механизмами и средствами реализации Концепции на местах, пока централизованно не определены.

Модель устойчивого развития Российской Федерации и ее регионов, предлагаемая Концепцией, предполагает

- снижение уровня давления на ОС;
- улучшение качества ОС по отслеживаемым параметрам чистоты атмосферы, гидросферы, почвы, снижение объемов отходов производства;
- сохранение биоразнообразия;
- повышение уровня жизни населения, в том числе увеличение средней продолжительности жизни.

Эти задачи и являются главными для экологического менеджмента.

6.3. Экологическая безопасность

Концепция устойчивого развития предполагает систему мер по обеспечению экологической безопасности. *Экологическая безопасность* — состояние защищенности биосферы и человеческо-

го общества, а на государственном уровне — государства от угроз, возникающих в результате антропогенных и природных воздействий на ОС. В понятие экологической безопасности входит система регулирования и управления, позволяющая прогнозировать, не допускать, а в случае возникновения — ликвидировать развитие чрезвычайных ситуаций [13].

Экологическая безопасность реализуется на глобальном, региональном и локальном уровнях.

Г л о б а л ь н ы й уровень управления экологической безопасностью предполагает прогнозирование и отслеживание процессов в состоянии биосферы в целом и составляющих ее сфер. Во второй половине XX в. эти процессы выражаются в глобальных изменениях климата, возникновении «парникового эффекта», разрушении озонового экрана, опустынивании планеты и загрязнении Мирового океана. Суть глобального контроля и управления — в сохранении и восстановлении естественного механизма воспроизводства ОС биосферой, который направляется совокупностью входящих в состав биосферы живых организмов.

Управление глобальной экологической безопасностью является прерогативой межгосударственных отношений на уровне ООН, ЮНЕСКО, ЮНЕП и других международных организаций. Методы управления на этом уровне включают принятие международных актов по защите ОС в масштабах биосферы, реализацию межгосударственных экологических программ, создание межправительственных сил по ликвидации экологических катастроф, имеющих природный или антропогенный характер.

На глобальном уровне был решен ряд экологических проблем международного масштаба. Большим успехом международного сообщества стало запрещение испытаний ядерного оружия во всех средах, кроме пока подземных испытаний. Достигнуты соглашения о мировом запрете китобойного промысла и правовом межгосударственном регулировании вылова рыбы и других морепродуктов. Заведены международные Красные книги с целью сохранения биоразнообразия. Силами мирового сообщества проводится изучение Арктики и Антарктики как естественных биосферных зон, не затронутых вмешательством человека, для сравнения с развитием зон, преобразованных человеческой деятельностью. Международным сообществом принята Декларация о запрещении производства хладагентов-фреонов, способствующих разрушению озонового слоя (Монреаль, 1972).

Региональный уровень включает крупные географические или экономические зоны, а иногда территории нескольких государств. Контроль и управление осуществляются на уровне правительства государства и на уровне межгосударственных связей (Объединенная Европа, СНГ, союз африканских государств и т.д.).

На этом уровне система управления экологической безопасностью включает:

- экологизацию экономики;
- новые экологически безопасные технологии;
- выдерживание темпов экономического развития, не препятствующих восстановлению качества ОС и способствующих рациональному использованию природных ресурсов.

Локальный уровень включает города, районы, предприятия металлургии, химической, нефтеперерабатывающей, горнодобывающей промышленности и оборонного комплекса, а также контроль выбросов, стоков и др. Управление экологической безопасностью осуществляется на уровне администрации отдельных городов, районов, предприятий с привлечением соответствующих служб, ответственных за санитарное состояние и природоохранную деятельность.

Решение конкретных локальных проблем определяет возможность достижения цели управления экологической безопасностью регионального и глобального уровней. Цель управления достигается при соблюдении принципа передачи информации о состоянии ОС от локального к региональному и глобальному уровням.

Независимо от уровня управления экологической безопасностью объектами управления обязательно являются окружающая природная среда, т. е. комплекс естественных экосистем, и социоприродные экосистемы. Именно поэтому в схеме управления экологической безопасностью любого уровня обязательно присутствует анализ экономики, финансов, ресурсов, правовых вопросов, административных мер, образования и культуры.

6.4. Формирование механизмов природопользования в рыночной экономике

Экономические соображения остаются главным препятствием для любого рода разумного планирования с целью долговре-

менного использования ОС. Известный американский эколог Ю. Одум считает, что эта проблема возникает из-за резкого несовпадения рыночных и нерыночных ценностей [27]. Независимо от политической системы в разных странах промышленные товары и услуги, такие, как автомобили или электроэнергия, оцениваются очень высоко, тогда как не менее важные для жизни блага и услуги природного происхождения вроде очистки воды и воздуха и их возобновления остаются обычно вне экономической системы и обладают очень низкой денежной стоимостью или не обладают ею вовсе (следовательно, соответствуют «нерыночным» ценностям). «Экономисты не приучены думать о роли биологических систем в экономике, еще меньше они думают о состоянии этих систем. Стол экономиста может быть завален ссылками на последние данные о состоянии здоровья экономики, но экономист на самом деле редко бывает озабочен состоянием здоровья главных биологических систем Земли. Отсутствие экологической осведомленности вносит свой вклад в недостатки экономического анализа и формирование политики» [27].

Большинство экономистов придерживаются мнения, что рынок начинает давать сбои, когда он сталкивается с распределением многих природных ресурсов. Несостоятельность рынка определяется как неспособность ценовой системы поддерживать желательную активность и приостанавливать нежелательную.

Проведенный через конгресс США Национальный акт об охране ОС стал первой попыткой подвести в национальном масштабе правовую основу под распространение системы ценностей на природную среду. Акт требует, чтобы при каждом планируемом антропогенном нарушении составлялся официальный отчет об ущербе. Это должно привести к улучшению процедуры установления общей оценки, включающей оценки затрат и прибылей для природных и общественных событий.

Очень важно классифицировать ценности на рыночные и нерыночные. К *рыночным ценностям* относятся в основном производимые товары и услуги. На рынке свободного предпринимательства они распределяются по законам спроса и предложения посредством неограниченной конкуренции. В теории рыночная стоимость отражает общественную оценку товара и услуг, что приводит к эффективному распределению ресурсов. На практике

это не всегда так, поэтому допускается необходимость некоторого регулирования со стороны государства.

Нерыночные ценности — это главным образом товары и услуги природы, их иногда называют «свободными» или «общими», или «общественными» товарами и услугами. Обычно эти «бесплатные» ценности существуют вне рыночной экономики. Нерыночные ценности поделены на две категории: характеризующиеся и нехарактеризующиеся.

По мнению большинства экономистов, *характеризуемым* нерыночным ценностям можно приписать денежную стоимость на языке рыночной экономики. Например, стоимость изъятия природной среды можно было бы определить исходя из того, что стоило бы обеспечение искусственной замены бесплатных благ и услуг (например, переработки отходов), предлагаемых природной экосистемой. Так можно было бы определить ценность реки для ассимиляции отходов.

Нехарактеризуемые ценности не могут быть включены в обычный в экономике расчет стоимости. Они представляют ценность для жизнеобеспечения природных систем. Леса, степи, реки, озера и океаны осуществляют, смягчают и стабилизируют атмосферные и гидрологические циклы и круговороты минеральных элементов. К этой же категории относится присущая биологическим видам ценность, ценность туземной культуры, красоты природы и множество эстетических ценностей, которые со временем получают признание людей. Нехарактеризуемые категории являются личными и общественными ценностями, а не частными рыночными, с которыми они очень часто приходят в конфликт.

Одним из первых экономистов, бросивших вызов свободному рынку как средству эффективного распределения ресурсов, был английский экономист А.С. Пигу [27]. Он заострил внимание на недостатках рынка, которые проявляют себя, если бизнес преследует только свои интересы, не заботясь об общественных. Он писал, что только государство может установить обязательные правила и использовать их для защиты воздуха и воды от опасности загрязнения.

Неокрепшие рыночные отношения в России создают новую угрозу для состояния ОС и рационального природопользования. Именно в этих условиях рационально внедрение системы экологического регулирования природопользования. Создание эконо-

мического механизма платного природопользования в переходный период формирования рыночных отношений предусматривает: плату за природные ресурсы, выдачу предприятиям лицензий на природопользование, плату за загрязнения, формирование экологических фондов за счет средств оплаты за выбросы, штрафных платежей и т.д. Формирование экономического механизма природопользования в условиях перехода к рынку будет происходить в том числе в направлении социально-экономической оценки ресурсного потенциала природы и экологического состояния территорий. Кроме того, большая роль отводится, в частности, кредитно-финансовому механизму природопользования.

Вопрос о разработке систем оценки стоимости элементарных единиц биосферы остается актуальным особенно для стран с переходной экономикой, к которым принадлежит и современная Россия.

Такие оценки должны отвечать на вопрос: какие затраты должно будет понести общество для того, чтобы восполнить потери в регуляторной функции биосферы, связанные с деградацией экосистем, обусловленной его деятельностью.

Существующие методики расчета стоимости территории и ущерба не позволяют подобным образом подойти к оценке стоимости. Более того, опыт группы под руководством отечественного эколога В.Н. Большакова по разработке оценок воздействия на ОС свидетельствует о том, что рассчитанные по этим методикам ущербы возобновимым ресурсам по своим размерам не сопоставимы с прибылью, которую можно получить при разработке нефтяных или газовых месторождений [3].

В работах экономистов при оценке возобновимых ресурсов используется так называемый *ресурсный подход*. Это означает, что живые компоненты экосистем получают стоимостную оценку только в том случае, если они вовлечены в процесс общественного производства, являются необходимыми для повседневной жизни общества [3]. Другими словами, они относятся к категории характеризующих нерыночных ценностей [27].

Основные принципы, используемые при разработке методик определения ущерба ОС, возникающего при строительстве и эксплуатации промышленных объектов, включают следующие положения:

- необходимость компенсации затрат на воспроизводство нарушенных или уничтоженных природных ресурсов;

- учет потребностей экономики и предотвращение возможных потерь природных ресурсов, вызванных деятельностью промышленных предприятий (средозащитная деятельность);
- необходимость выравнивания экономических условий и последствий деятельности хозяйственных субъектов, компенсация экономических потерь (упущенных выгод).

По данным Большакова и др. [3], наименее разработанными при оценке ущербов, наносимых разным видам ресурсов, следует считать как теоретические, так и методические вопросы определения ущерба лесным и другим возобновимым ресурсам (охотничье-промысловые, ресурсы побочного пользования лесом и др.). Например, попенная плата в настоящее время не зависит от затрат на воспроизводство, подготовку и вовлечение в оборот лесных ресурсов. Реальные затраты и ассигнования на лесовосстановительные, лесохозяйственные мероприятия в различных условиях значительно (в десятки раз) различаются.

В зависимости от различных подходов схема расчетов также может различаться. Так, например, охотничье хозяйство владело только собственно объектами охоты и не владело охотничьими угодьями. Леса относились к ведению лесного хозяйства, являясь одновременно охотничьими угодьями, сельскохозяйственные угодья — к ведению сельского хозяйства. Это порождало методики расчета ущербов только для охотничьих животных или для охотничьих животных вкупе с охотничьими угодьями.

При использовании ресурсного подхода к оценке стоимости возникают две основные проблемы:

- цены ресурса. В советское время не было выработано единого подхода к проблеме ценообразования [3]. В настоящее время это усложняется появлением инфляции;
- при ресурсном подходе к оценке при расчете ущерба исключается огромный класс объектов, не имеющих в настоящее время потребительской стоимости. Другими словами, эти объекты относятся к категории нехарактеризуемых нерыночных ценностей [27].

Абсурдность подобного рассмотрения заключается в том, что человек при таком подходе к расчету ущербов окружающей природной среде фактически рассчитывает ущерб одним видом хозяйственной человеческой деятельности (например, при освоении нефтяных или газовых месторождений) другому виду

хозяйственной человеческой деятельности (например, лесному, охотничьему, рыбному хозяйствам), но никак не природной среде [3].

Коренная перестройка системы общественных ценностей должна происходить по линии включения в их число стоимости ресурсов природы, выраженной в денежном эквиваленте.

6.5. Новый подход к оценке стоимости биотических компонентов экосистем

Разрабатываемый группой В.Н. Большакова подход к оценке стоимости ОС отличается тем, что оценивается стоимость ключевых видов, составляющих экосистему. Это позволяет более или менее корректно сопоставить работу по поддержанию постоянства ОС, осуществляемую живыми компонентами экосистем, с человеческой деятельностью. Любая хозяйственная или иная деятельность, наносящая ущерб экосистемам, должна оцениваться в неких единых и общих показателях для оценки того, чего же больше получит общество от данной хозяйственной деятельности — вреда или пользы.

Методика, разработанная специалистами упомянутой группы, дает основу для оценки воздействий человека на экосистемы и позволяет в сопоставимых единицах (ими могут быть единицы мощности или денежные) оценить средообразующую функцию биосферы [3]. Следуя этой идеологии, необходимо разделять ущерб, наносимый биосфере, и ущерб, наносимый отраслям хозяйства, эксплуатирующим возобновимые природные ресурсы, при строительстве и эксплуатации промышленных объектов в других отраслях.

Авторы нового подхода обосновывают возможность использования мощности в качестве первого приближения к реальной эколого-экономической оценке биологических ресурсов. Под мощностью понимается следующее. Все живые системы обладают определенной мощностью работы по сохранению упорядоченного состояния путем откачки неупорядоченности, т. е. уменьшения энтропии внутри этих систем. Эта мощность зависит от количества солнечной энергии, которую необходимо затратить в единицу времени для поддержания состояния живых

систем с низкой энтропией. Измерение этой мощности может служить одной из отправных точек для оценки стоимости живых систем. Выражение стоимости в единицах мощности легко перевести в эквивалент затрат на получение такого же количества энергии от Солнца техническими средствами.

Для иллюстрации возможности использования в качестве первого приближения к реальной эколого-экономической оценке биологических ресурсов рассмотрим схему потоков через стабильную экологическую систему, представленную четырьмя трофическими уровнями (рис. 6.1).

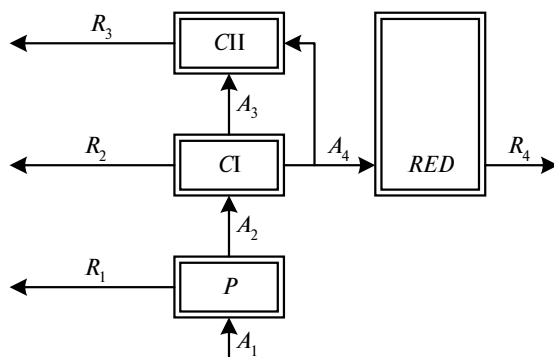


Рис. 6.1. Схема потоков энергии через четырехуровневую экосистему:

P — продуценты, CI — консументы I порядка, CI — консументы второго порядка, RED — редуценты, A_k и R_k — входящие и исходящие потоки энергии для k -го трофического уровня соответственно ($k = 1, 2, \dots$)

Каждый трофический уровень представлен совокупностью популяций различных видов. Эти популяции играют разную роль в общем круговороте вещества и энергии (основную или вспомогательную), при этом стационарное состояние экосистемы одновременно оказывается динамическим — расход свободной энергии при протекании необратимых процессов компенсируется ее притоком от Солнца.

Условие стационарности согласно первому началу термодинамики (закону сохранения энергии) соблюдается, если

$$A_1 = \sum_{k=1}^n R_k. \quad (6.1)$$

Поскольку R_k — затраты энергии на поддержание состояния в единицу времени (мощность), то интегральную оценку экосистемы можно получить сложением мощностей основных ее компонентов — их сумма является оценкой того количества энергии, которая потребляется в единицу времени.

Используя этот подход, можно оценить энергетическую стоимость различных биологических объектов. Максимально упрощенная оценка имеет вид:

$$C_k = Q_k \Theta_k + R_k / \prod_{j=1}^k p_j, \quad (6.2)$$

где C_k — стоимость k -го вида (кВт/г и Дж/г в год), Q_k — энергетическое содержание тканей (кДж), Θ_k — время оборота энергии тканей (биомассы), R_k — интенсивность дыхания поддерживания (кВт/г или Дж/г в год), p_j — коэффициент усвоения энергии при переходе с трофического уровня $j-1$ на уровень j .

Исходным материалом для оценки стоимости (6.2) должен служить список видов (объектов), komponующих данную экосистему с приписанными им значениями Q_k (энергетическое содержание тканей одной особи или единицы биомассы), Θ_k (скорость оборота биомассы), R_k (энергия самоподдержания) и p_k (коэффициент, отвечающий трофическому уровню данного вида).

Коротко остановимся на методике расчета параметров уравнения (6.2). При расчетах энергетической стоимости особей оценка Q_k получается в результате умножения теплоемкости единицы массы тканей на общую массу особи:

$$Q_k = q_k W_k, \quad (6.3)$$

где q_k — теплоемкость,
 W_k — масса тела особи.

В литературе накоплен большой материал по теплоемкостям (см., например, [27]).

Скорость оборота Θ_k обратно пропорциональна среднему времени регенерации, которую грубо можно считать равной одной трети максимального времени жизни.

Возможность поддержания R_k примерно вдвое превышает уровень основного обмена Y . В свою очередь основной обмен

теплокровных животных зависит от массы тела и эта зависимость хорошо описывается уравнениями вида

$$Y = aW^b, \quad (6.4)$$

где коэффициенты a и b найдены для большинства групп животных (например, для млекопитающих: $a = 1,855$ и $b = 0,74$).

Для растительных объектов, например для древесины, энергию поддержания на 1 м^3 запаса древесины можно оценить по формуле

$$R_k (\text{год}) = 0,0417 pq, \quad (6.5)$$

где p — условная плотность древесины,
 q — теплота сгорания на единицу массы.

Теплота сгорания q примерно одинакова для различных пород и колеблется от 19,6 до 21,4 кДж/г, составляя в среднем 20 кДж/г.

Таким образом, чтобы оценить стоимость биологических ресурсов по упрощенной методике (6.2), необходимо знать:

- энергетическое содержание одного грамма вещества;
- среднюю массу тела одной особи (для животных);
- дыхание поддержания (энергия существования);
- трофический уровень, пищевую специализацию и коэффициент утилизации энергии);
- плотность популяции или плотность биомассы (чистой первичной или вторичной продукции).

Для того чтобы оценить стоимость территории, необходимо располагать данными по плотности всех основных групп ресурсов.

Подход к назначению цены за единицу энергетического эквивалента стоимости строится на следующей основе. Способом, сопоставимым с утилизацией солнечной энергии автотрофными организмами, может быть наиболее экологически чистый способ производства энергии человеком — при помощи солнечных электроустановок. Этот способ сейчас весьма дорог. Так, в США цена фотоэлектрического модуля в 1986 г. составила 5,25 долл. за 1 Вт. Эту цену предлагается использовать в качестве первого приближения при расчетах стоимости производства биотических компонентов экосистем. Оценки величин ущербов будут снижаться со снижением стоимости производства энергии таким способом. По-видимому, это будет закономерным процессом, поскольку развитие экологически чистой энергетики, не эксплуатирующей ресурсы биосферы, должно стать од-

ним из главных критериев и свидетельств изменений взглядов общества в целом на взаимоотношения в системе «человек—окружающая среда».

Ущерб рассчитывается перемножением стоимости биотических компонентов на единицу территории как временной лаг. Критерием для установления лага может служить время, необходимое для восстановления нарушенной экосистемы до первоначального уровня. Так, для многих лесных и тундровых экосистем приемлемым будет лаг, равный 100 годам.

В качестве тестового примера рассчитана стоимость участка тундры на полуострове Ямал в районе Борваненковского газоконденсатного месторождения. Стоимость 1 га данной территории оказалась равной 45 930 долл. США. Соответственно ущерб, наносимый безвозвратным изъятием данной территории, с учетом временного лага, равного 100 годам, составит 4 593 000 долл. США на 1 га.

6.6. Управление естественными и социоприродными экосистемами

До недавнего времени управление социоприродной экосистемой осуществлялось в интересах только человеческого общества, что привело бы к глобальному нарушению экологического равновесия и обозначило катастрофу для человечества. Целям новой стратегии для оздоровления системы служит, в частности, экологический менеджмент.

Само управление состоит из оценки состояния ОС, контроля изменения ее параметров, прогноза, принятия решений, их реализации через производственные структуры с помощью структур управления [13].

Безопасное управление природными процессами предполагает контроль качества среды обитания. Уровень экологического контроля зависит от экономического и культурного развития общества. Чем более развито общество, тем эффективнее реализуются процессы социально-экологического управления средой обитания.

Социально-экологическому контролю подлежат все компоненты системы «природа—человек».

Особенность иерархических систем управления заключается в том, что информация о состоянии объекта контроля может быть получена лишь с нижних уровней управляемой системы. А это предопределяет особые (основанные на доверии) отношения между контролирующей и управляющей системами и системой производства. Отсюда концепция современных информационно-управляющих природоохранных систем основывается на знании законов саморегуляции природных систем, на знании возможного предела вмешательства человека в эти саморегулируемые системы, за которым — необратимые катастрофические последствия.

Основные требования к проведению экологического контроля:

- гарантия достижения природоохранной цели путем выявления отклонений от нормативных значений контролируемых величин: атмосферы, гидросферы, почвы, выбросов промышленных предприятий и т.д. Превентивная ориентация контроля;
- отражение в планах производства природоохранной деятельности предприятий;
- эффективность организационной структуры контроля защиты ОС;
- индивидуальный подход к контролю: методы контроля должны быть понятны руководителю предприятия, рядовому работнику и контролеру;
- прогноз изменения состояния среды обитания, выделение признаков приближения ее к опасному состоянию, контроль за критическими состояниями среды: залповыми выбросами, аварийными ситуациями по состоянию ОС и т.д.
- работа по выходу из аварийной или стихийной ситуации, ликвидация возможности развития чрезвычайной ситуации из-за накопленных радиоактивных веществ, химического оружия, устаревших технологий и т.д.

Среди способов контроля различают: **п р я м о й** непосредственный контроль за состоянием ОС с использованием технических средств по отслеживанию физических, химических, биологических параметров и факторов загрязнения атмосферы, гидросферы и почвы. Для оценки состояния ОС пользуются методом *биоиндикации*. При этом используется высокая чувствительность некоторых живых организмов к загрязнению, напри-

мер, хорошими индикаторами загрязнения являются мхи, лишайники и водоросли.

К о с в е н н ы й способ контроля заключается в использовании законодательных и административных рычагов управления.

Контроль может быть ручным, когда наблюдения за изменением ОС осуществляются вручную, или автоматическим, когда контроль за изменением ОС осуществляется в автоматическом режиме. Среди типовых автоматизированных систем контроля имеются системы контроля загрязнений атмосферы (АНКОС-АГ) и воды (АНКОС-ВГ).

П о с п о с о б у а н а л и з а контроль может быть прямым и дистанционным. В отличие от прямого дистанционный метод анализа состояния ОС предусматривает бесконтактный процесс получения информации с помощью аэрофотосъемки или космической съемки.

Поскольку экологическая оценка имеет много неопределенностей, то полезна *экспертная оценка* состояния ОС; она применяется в сложных и критических условиях. Это прерогатива специалистов-экспертов высокого класса, принимающих на себя ответственность в принятии решений в сложных экологических ситуациях.

Правовое обеспечение контроля состоит в выполнении законов по обеспечению сохранности ОС, а также норм правового регулирования использования воды, воздуха, почвы, недр и т.д. Сюда включается лицензионное право организаций на вылов рыбы, отстрел животных, вырубку леса, добычу полезных ископаемых и т.д.

Технологический контроль связан с соблюдением технологического режима производства, который регулируется нормами и требованиями по обеспечению экологической безопасности среды производства и продукции. Отвечают за технологическое обеспечение производства руководитель предприятия, главный инженер, технолог и эколог-менеджер. Нарушение технологического режима и регламента производства в погоне за прибылью — обычное явление при залповых выбросах и создании аварийной ситуации на вредных производствах.

Экономический контроль ОС заключается в предпочтении экологически чистого производства и продукта. Налоговый прессинг должен возрасти по отношению к вредному производству и вредному продукту.

Для снижения давления на ОС применяются информационные, предупредительные и карательные методы. *Информационные* включают мониторинг изменения параметров ОС, *предупредительные* — различные виды экологической экспертизы, административно-правовые — экостандарты, разрешения, лицензии и т.д., *административно-предупредительные* — проверку деятельности объектов возможного загрязнения, экологический аудит и т.д., *карательные* — различные формы пресечения (от закрытия предприятия до уголовного преследования виновных), экономические и финансовые меры воздействия.

К *информационному обеспечению экологических проблем* относятся сбор, обработка, анализ, синтез данных, построение моделей, создание баз данных для пользователей. **Первичная** экологическая информация собирается с помощью измерительных средств в процессе научно-практической деятельности. Эта информация обладает наивысшей прикладной ценностью. **Вторичная** информация — результат переработки первичной для дальнейшего использования в экологическом моделировании, мониторинге и экспертизе. **Третичная** информация является результатом переработки вторичной для предоставления потребителю для последующего принятия решений.

Экологическое моделирование занимается изучением экологических объектов и процессов на их моделях для расчета поведения человека в стационарно-изменяющихся условиях ОС, а также для выработки рекомендаций по координированию форм и масштабов хозяйственной деятельности с изменяющимися условиями среды.

Экологический мониторинг — система наблюдений, оценки и прогноза состояния окружающей природной среды и экологических систем, в том числе и находящихся в условиях антропогенных воздействий. Экологический мониторинг состоит из следующих ступеней: **биологический** мониторинг отслеживает связь в изменениях ОС с состоянием организмов биоты, в том числе и человека, особое значение придается учету канцерогенных и мутагенных факторов; **геоэкологический** (**природно-хозяйственный**) мониторинг обеспечивает наблюдение за природными экосистемами, агробиотой и промышленными системами; методы этой ступени мониторинга должны определять способность ОС к самовосстановлению, биопродуктивности экосистем и различные ПДК, контроль обеспе-

чивается сетью контрольных пунктов наблюдений и полигонов; биосферный мониторинг отслеживает изменения в биосфере, вызванные антропогенными воздействиями.

В России программа фонового экологического мониторинга осуществляется в ряде биосферных заповедников (Астраханский, Воронежский, Ильменский, Приокско-Тerrasный, Центрально-Черноземный, Сихоте-Алинский) и на кораблях Госкомгидромета.

Целью *экологической экспертизы* является превентивный контроль экологической безопасности, осуществление государственного контроля в области охраны ОС и рационального использования природных ресурсов. Эти функции делегированы государством Министерству природных ресурсов РФ, Государственному комитету РФ по охране окружающей среды и их территориальным органам соответствующими законами РФ.

Заключение экспертной комиссии обязательно для всех юридических лиц и граждан, деятельность которых связана с воздействием на окружающую природную среду, с природопользованием и т.д. Положительное заключение экспертной комиссии является одним из обязательных документов для открытия финансирования и кредитования реализации объекта.

Объектами государственной экологической экспертизы являются:

- предпроектные материалы по развитию и размещению производительных сил и отраслей народного хозяйства;
- проекты целевых федеральных социально-экономических и научно-технических программ, связанных с воздействием на ОС;
- проекты федеральных комплексных схем охраны и использования земельных, водных, лесных и других природных ресурсов;
- материалы экологического обследования территорий для придания им статуса особо охраняемого природного объекта;
- ТЭО и проекты на строительство, реконструкцию, развитие, ликвидацию объектов и предприятий федерального значения, осуществление которых может нанести вред ОС;
- проекты нормативно-технической и инструктивно-методической документации в части охраны ОС и рационального природопользования, регламентирующих хозяйственную деятельность.

6.7. Экологическое сопровождение хозяйственной деятельности

Экологическая ситуация в России настоятельно требует перехода от дискретного к непрерывному процессу учета экологического фактора в процессе жизнедеятельности общества в рамках сохранения качества ОС. При этом предусматривается оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) и подготовка экологических разделов в рамках ТЭО или проектов, экологическая экспертиза, послепроектный анализ, экологический аудит, экологическая сертификация и лицензирование использования природных ресурсов, экологическое страхование и др. [13].

Рассмотрим этапы экологического сопровождения хозяйственной деятельности (ЭСХД).

Этап А. Планирование и согласование планов реализации деятельности. Здесь разрабатывается и утверждается предпроектная и проектная документация на право осуществления планируемой деятельности. Этап предусматривает проведение ОВОС.

Этап Б. Создание материальных объектов планируемой деятельности, обеспечивающих ее реализацию (строительство зданий, машин и механизмов). Этап предусматривает мониторинг ОС.

Этап В. Осуществление планируемой деятельности, происходящее: в штатном режиме (этап В1); во внештатном режиме (аварии, технологические сбои и т.д.) — этап В2. Предусматриваются мероприятия по локализации экологического ущерба, экологический аудит для определения причин возникновения нештатной ситуации.

Этап Г. Прекращение деятельности. Ликвидация должна сопровождаться проведением экологического мониторинга и аудита.

Экологическое сопровождение хозяйственной деятельности включает в себя:

- ЭСХД в приватизации. В Государственной программе приватизации государственных и муниципальных предприятий в РФ указывается порядок учета экологического фактора, условий безопасного ведения работ на химически опасных, взрыво-, пожаро- и токсикоопасных объек-

тах. Предусматриваются экологический аудит, планы приватизации, требования по экологической санации предприятий;

- ЭСХД в инвестиционной деятельности. При оценке целесообразности инвестирования в тот или иной проект финансовые организации обязательно рассматривают экологическую составляющую данного проекта. С 1984 г. Всемирный банк требует проведения экологической оценки финансируемых им проектов. Европейский банк реконструкции и развития также имеет аналогичные процедуры. В процедуре обоих банков проведение экологической оценки инвестиционного проекта и подготовка соответствующей документации есть обязанность тех, кто предлагает данный проект для инвестирования.

Экологический менеджмент предполагает, что предприятие и его продукция определяют структурную связь между ними и ОС. Если предприятия не станут экологически безопасными, то проблема экологической безопасности не сможет быть решена.

Совокупность управленческих, технологических, финансово-экономических мероприятий, направленных на снижение давления предприятий на ОС (в рамках восстановления ее качеств) при сохранении целей производства, составляет *экологизацию экономики*.

6.8. Экологический менеджмент на предприятии

Экологический менеджмент на предприятии — это система управленческих рычагов, обеспечивающая эффект в области допустимых темпов экономического развития в рамках допустимого давления на ОС [13].

Выделим следующие три стадии экологического менеджмента.

- *Выбор*. На этой стадии при решении о строительстве нового предприятия, реконструкции или модернизации старого необходимо соблюдение принципа экологизации экономики производства. Здесь предусматривается разработка схемы безопасности продукции всего жизненного цикла.

- *Моментальный анализ* подразумевает моментальное тестирование выбираемой модели производства из многочисленных

вариантов уже имеющихся проектов. Моментальный анализ — это таблица или матрица с набором соответствующих параметров, анализ которых (в баллах) позволит сделать предварительный выбор направления дальнейшей деятельности по созданию, реконструкции или модернизации.

- На предпроектной стадии данные моментального анализа преобразуются в программу действий по формированию *экологического бизнес-плана*. Бизнес-план исследует сильные и слабые стороны предприятия, а также открывающиеся возможности и опасности.

Важнейшая задача экологического менеджмента состоит в предотвращении угрозы для ОС, в возможности роста предприятия. Принцип менеджера-эколога заключен в девизе: **затраты на ОС должны окупаться!**

Выгодность рационального и сбалансированного природопользования для предприятия реализуется через **экономические** выгоды: а) снижение издержек в результате экономии природных ресурсов, рециркуляции, переработки отходов, снижение платежей за штрафы; б) рост доходов за счет «зеленых» товаров, конкуренции, новых рынков сбыта; **стратегические** выгоды: имидж предприятия, рост производительности труда, выполнение экологических требований без излишнего напряжения.

6.9. Структурная перестройка и экологизация экономики

В условиях перехода России к рыночным отношениям менеджер-консультант по экологическим вопросам должен знать, что устаревшие технологии, являющиеся основным источником загрязнения ОС, обычно наиболее энергоемки, требуют использования дефицитных невозобновляемых ресурсов, характеризуются опасными отходами, поэтому их применение должно сдерживаться будущими расходами на охрану ОС [13].

В условиях рыночной экономики новые технологии, обеспечивающие значительно меньшее давление на ОС, более предпочтительны, конкурентоспособны, не вступают в конфликт с властями и быстро захватывают рынки.

Структурная перестройка экономики должна проводиться в условиях изменения законодательства в области экологизации

экономики, т.е. ужесточения госстандартов технологических процессов, во взаимодействии не только с ОС, но и с определением целей производства, обеспечивающих восстановление качества среды обитания, получение продукции, которая бы не наносила ущерба природным объектам в течение всего жизненного цикла.

Экологически ориентированное управление производством представляет собой систему планирования и контроля на разных этапах: 1) составление производственной программы. Если это новое предприятие, то программа предусматривает последовательность соблюдения стадий проектирования, экспертизы, получения разрешительной документации и т.д. Если модернизируется старое предприятие, речь идет о снятии с производства экологически вредной продукции, замене устаревшего оборудования и старой технологии на новую; 2) календарное планирование подготовки и проверки состояния работы оборудования; 3) производственный контроль; 4) Планирование и контроль качества.

При реализации менеджмента на уровне проектирования проектанты невысокой квалификации, идущие на поводу у недальновидного руководства, стремятся скрыть возможные последствия воздействия предприятия на ОС. Такие проекты обычно выглядят громоздкими, мероприятия по выполнению экологических требований, как правило, заимствуются из старых проектов. Это просматривается уже в отсутствии анализа действующих моделей производства. Проектанты невысокой квалификации обычно создают гармоничный документ, в котором проблемы охраны ОС выглядят обоснованно и реалистично. Решение этих проблем обосновывается неоднократным проигрыванием возможных сценариев обострения возникающих ситуаций с подбором для каждой оргтехмероприятий, подкрепленных финансово-экономическими расчетами.

На стадии проектирования важно не обещать и не принимать на себя обязательств, которые не могут быть выполнены; не строить благополучия за счет здоровья окружающих. При строительстве Ростовской АЭС не был учтен международный подход к строительству подобных объектов. Население недостаточно информировалось на стадиях принятия решения, предпроектных испытаний, проектирования и строительства АЭС. Оно было мало осведомлено о возможных вариантах улучшения

социально-экономической ситуации в случае строительства этого объекта. Чернобыльский синдром заслонил перед обывателем все, оставив его наедине с последствиями, о которых он хорошо осведомлен из СМИ. В то же время проектирование и строительство Северной ТЭЦ в Москве проходило в условиях широкой гласности, и успешная реализация проекта позволила существенно улучшить энергоснабжение огромной территории города.

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) проводится при возникновении угрозы значительного экологического ущерба и используется для прогноза таких последствий, а также нахождения способов снижения отрицательных воздействий предприятия на ОС.

Содержание экологического менеджмента на предприятии включает также экологическую экспертизу, сущность которой рассмотрена выше.

Экологические проблемы регионов не могут быть решены из центра. Но центр может финансово-экономической политикой стимулировать или давить на ОС, или бережное отношение к природе и ресурсам. Однако экологическая безопасность регионов осуществляется на предприятии, поэтому чрезвычайно важна оценка действующего проекта — *экологический аудит* (см. гл. 7).

Важнейшей мерой экологического контроля на предприятии является *экологическая ревизия*. Она предусматривает систематическую документально подтверждаемую оценку руководства предприятия с экологических позиций. Достигается это созданием системы экологического контроля на предприятии.

Крупные предприятия могут создать у себя экологическую службу высокого уровня, что требует больших расходов, которые чаще всего окупаются и приносят экономический эффект. Средние предприятия могут содержать специалиста в ранге менеджера-консультанта по экологическим вопросам. Крупные вопросы экологического аудирования решаются обращением к аудиторским, консультативным, инжиниринговым фирмам.

Мелкие предприятия вынуждены прибегать к услугам соответствующих фирм или решать экологические проблемы на свой страх и риск.

Главная задача аудита — не наказание, а поиск возможностей избежать последствий загрязнения ОС, которые могут при-

вести предприятие не только к потере части прибыли, но и к закрытию производства.

Аудиторская деятельность оплачивается предприятием, которое подвергается проверке.

Менеджер-консультант по экологическим вопросам должен действовать исходя из целей:

- 1) защитить и сохранить ОС;
- 2) обеспечить здоровье людей в рамках производства и ближайшего окружения;
- 3) экономно и сбалансированно расходовать природные ресурсы.

Менеджер-консультант, полностью отвечающий за экологическую безопасность на предприятии, подчинен непосредственно директору и не может быть включен в штат службы главного инженера в качестве инженера по технике безопасности.

6.10. Источники финансирования природоохранной деятельности

В условиях реструктуризации экономики изменяется и структура финансирования предприятий в части природоохранной деятельности — увеличивается использование средств самого предприятия на решение собственных экологических проблем при сокращении бюджетных ассигнований.

Естественно, в финансировании природоохранной деятельности большую роль играют бюджеты всех уровней. Главное в использовании средств бюджета — участие предприятий в реализации крупных экологических программ федерального, республиканского или муниципального уровней.

Внебюджетное финансирование производится из внебюджетных государственных экологических фондов, система которых создана в 1992 г. Фонды формируются из средств, поступающих от предприятий, учреждений, граждан в качестве платы за загрязнение ОС, штрафов по искам о возмещении вреда и т.д.

Средства экологического фонда распределяются следующим образом: 60% — на реализацию природоохранных мероприятий местного значения; 30% — областного и 10% — федерального. Формирование фондов напрямую зависит от уровня поступления средств за нарушение природоохранной деятельности.

5. Дайте определение рыночных и нерыночных ценностей.
6. Что нового вы видите в оценке стоимости биотических компонентов, предложенной В.Н. Большаковым?
7. Сформулируйте цель экологической экспертизы.
8. Назовите принципы экологического сопровождения хозяйственной деятельности.
9. В чем суть экологического менеджмента на предприятии?
10. Как вы понимаете задачи экологизации экономики в период структурной перестройки?
11. Каковы источники финансирования природоохранной деятельности?

7

Экологический маркетинг



7.1. Маркетинговый механизм

управления охраной окружающей среды

Аспекты экологически ориентированного маркетинга в мировом сообществе связаны с быстрым развитием технологий и процессов, снижающих воздействие на окружающую среду, а также с ускоренным формированием рынка экологических услуг, который, естественно, требует соответствующего развития маркетинговых средств управления. К основным *маркетинговым направлениям* в этой области следует отнести:

- формирование финансовых структур поддержки экологических действий;
- экологическую оценку (аудит) уровня воздействия на окружающую среду;
- экологическое страхование действий компаний;
- изменение форм отчетности деятельности производителей;
- новые формы рекламы;
- формирование новых принципов торговли (например, продажа экологически чистых продуктов).

Маркетинговый механизм управления охраной окружающей среды основан на типологии рыночных методов. В настоящее время известны следующие основные группы методов управления:

- административное регулирование — введение соответствующих нормативных стандартов и ограничений, которые должны соблюдать фирмы-производители, а также осуществление прямого контроля и лицензирования процессов природопользования;
- экономические стимулы, направленные на то, чтобы заинтересовать фирму-производителя в рациональном природопользовании;

- система платежей за загрязнение и экологических налогов;
- распределение прав на загрязнение и компенсационные платежи.

Данные методы необходимо использовать на различных стадиях маркетингового процесса, воздействующего на окружающую среду. Это воздействие зависит от состава первичных ресурсов, специфики производственного процесса и применяемых природоохранных технологий, формирующих выбросы в окружающую среду.

Особая роль здесь отводится *платежам и налогам за загрязнение*. Они представляют собой косвенные рычаги воздействия и выражаются в установлении платы за выбросы или сбросы, за использование первичных ресурсов, конечную продукцию или технологию. Плата должна соответствовать социально-экономическому ущербу от загрязнения или определяться по какому-либо другому показателю (например, экономической оценке ассимиляционного потенциала природной среды). Налоги на загрязнение и платежи предоставляют максимальную свободу загрязнителю в выборе стратегии сочетания степени очистки и платы за остаточный выброс. Если природоохранные издержки низки, то фирма значительно сократит выбросы, вместо того чтобы платить налог. Предполагается, что она может сократить их до оптимального уровня, когда прирастающие затраты на дополнительную очистку становятся равными ставке платежа.

Пользователь какого-либо ресурса платит за него так же, как за приобретаемое сырье, электроэнергию и т.д.

Платежи пользователей на покрытие административных расходов могут включать плату за получение разрешения или лицензии, а также другие номинальные платежи, соответствующие величине выбросов и покрывающие издержки на раздачу разрешений и лицензий. Эти платежи в целом меньше платежей за загрязнение и имеют ограниченное воздействие на уровень выбросов фирмы. Скорее всего их надо рассматривать как лицензионный сбор, который сопровождается выдачей лицензии.

Субсидии представляют собой специальные выплаты фирмам-загрязнителям за сокращение выбросов. Среди субсидий наиболее часто встречаются инвестиционные налоговые кредиты, займы с уменьшенной ставкой процента, гарантии займов, обеспечение ускоренной амортизации природоохранного оборудо-

дования, средства на регулирование цен первичных ресурсов и конечной продукции.

Если считать, что права собственности на окружающую среду принадлежат всему обществу в целом, то фирмы-загрязнители должны нести *обязательную ответственность* за причиненный ущерб. Если налог на загрязнение или плата за выбросы отражают предельный ущерб, определенный до акта выброса, то в системе обязательной ответственности за ущерб плата рассчитывается по факту выброса (после него) конкретно для каждого случая. Иначе говоря, нанеся ущерб фирма обязана либо каким-то образом его компенсировать, либо провести очистку нарушенного природного объекта, либо выплатить компенсации пострадавшим, либо сделать еще что-то. С этой целью оформляются специальные документы, закрепляющие обязательства на осуществление природоохранной деятельности под соответствующий залог.

Данный подход особенно эффективен, если число загрязнителей и их жертв ограничено, а размер загрязнения и его состав легко отследить. Необходимо различать аварийные выбросы и восстановление экосистемы после осуществления определенной деятельности (рекультивация земель).

В первом случае фирма может лишь прогнозировать будущий ущерб и принимать все меры, чтобы его не допустить. Но если такой ущерб будет нанесен, виновник полностью компенсирует его. В качестве гарантий здесь могут выступать активы фирмы, в том числе страховой полис и т.п.

Во втором случае примерные масштабы будущего ущерба известны, если речь идет, например, о добыче полезных ископаемых. В качестве гарантий здесь выступает денежный депозит, вносимый фирмой. Если она сама проведет рекультивацию земель, то получит свой депозит обратно, если нет, то суммы депозита должно хватить, чтобы рекультивацию провел кто-нибудь другой. Свою ответственность по компенсации ущерба загрязнитель может переложить на посредника, внося плату за загрязнение по ставкам, соответствующим экономической оценке ассимиляционного потенциала. Он, как сказано выше, оплачивает в том числе и ущерб, т.е. должен рассчитаться с жертвой загрязнения.

Система целевого резервирования средств на утилизацию отходов (залогов) используется для создания стимула у потребите-

лей на осуществление дополнительных издержек. В момент покупки товара, предопределяющей предстоящее загрязнение, осуществляется вклад, который возвращается с процентами после утилизации отходов (например, покупка батареек, напитков в жестяных банках и т.п.). Известны случаи применения данной системы для стимулирования восстановления и утилизации отработанных масел, рециклирования озоноразрушающих веществ.

Информационные системы, служащие для обеспечения полноты информации и свободы ознакомления с ней, играют роль, подобную экономическим стимулам. Если фирмы предоставляют *всю* информацию, то потребители или жители близлежащих территорий оповещаются о размерах загрязнения или вредных веществах в продукции. Информированность (антиреклама) ведет к изменению спроса на продукцию, обеспечивая сокращение загрязнения, использование соответствующих первичных ресурсов или типов технологии.

7.2. Основные маркетинговые подходы в области экологии

Комплексная система маркетинговых мер для решения экологических проблем включает в себя:

- 1) коммерческо-хозяйственный механизм;
- 2) общественно-правовой механизм;
- 3) маркетингово-управленческий механизм;
- 4) нормативно-технические условия при разработке товара на уровне НИОКР;
- 5) информационное обеспечение как составной элемент маркетинг-микса;
- 6) структурную перестройку маркетинговой цепочки, включающей производство, товародвижение и потребление;
- 7) экологическую экспертизу (государственную, научную, общественную, коммерческую).

Важно при этом использовать рыночные методы, которые в наибольшей мере способствуют эффективному решению экологических проблем. Эта плата за природные ресурсы (землю, недра, воду, лес и иную растительность, животный мир) и за загрязнение окружающей среды (выбросы, сбросы и т.п.), экологическое налогообложение, кредитный механизм в области

природопользования, система внебюджетных экологических фондов и банков, экологическое страхование.

В рамках маркетинговой системы формирования спроса и стимулирования сбыта (ФОССТИС) имеются возможности по применению таких методов, как экономическое стимулирование охраны окружающей среды, а также лицензирование и организация системы договоров в области природопользования.

Ценообразование на продукцию природоэксплуатирующих и природохозяйственных отраслей, особенно экологически чистые продукцию и технологию, необходимо предусмотреть так же четко, как и экологическое предпринимательство. С этой экономической категорией тесно связана система экологической сертификации. Ее внедрение позволит поставить вопрос о формировании рынка экологических работ, товаров и услуг (маркетинг, инжиниринг, лизинг, биржи и др.).

Необходимость активного внедрения рыночных механизмов при организации природопользования подсказывает опыт США, Японии, ФРГ, где применяется так называемый «бэбл-принцип» (принцип «пузыря»): в качестве источника загрязнения окружающей среды берутся не отдельные элементы, например дымовые трубы, а предприятие в целом. В пределах региона можно установить общие допустимые нормы сбросов и выбросов тех или иных загрязняющих веществ. Таким образом, предполагается, что предприятия находятся как бы в едином пространстве. При установлении стандарта качества среды конкретного региона (в рамках общих допустимых объемов сбросов и выбросов) предприятия будут сами определять величины сбросов и выбросов.

Рассмотрим далее маркетинговые подходы к управлению природоохранной деятельностью.

Первый маркетинговый подход позволяет отказаться от единых технических требований к источникам загрязнения и допускает возможность выбора фирмой различных способов достижения общих нормативов сбросов или выбросов. Он стимулирует внутрипроизводственное и межхозяйственное разделение труда с учетом необходимости снижения уровня загрязнения среды, благодаря чему создается возможность уменьшения совокупных издержек борьбы с загрязнением.

Предположим, что фирма решила использовать эффективные и недорогие методы борьбы с отходами и благодаря этому может поддерживать уровень сбросов и выбросов загрязняющих

веществ ниже установленного регионального стандарта. Другие же фирмы, которым борьба с отходами обходится дороже, могут продолжать загрязнять среду, но в пределах общих региональных лимитов. В итоге, как показывают маркетинговые расчеты, совокупные затраты на достижение региональных стандартов в будущем окажутся меньше, чем если бы фирмы достигали их своими силами.

Второй маркетинговый подход к регулированию в региональном масштабе предполагает *прямые сделки между фирмами*. Он удобен для новых фирм или для тех действующих, что подвергаются модернизации. Прежде чем ввести их в строй в промышленно освоенных регионах, необходимо, чтобы предприниматели в качестве компенсации экологического ущерба снизили уровень загрязнения на одном из действующих предприятий в объеме, эквивалентном вводимому новому источнику загрязнения. Данный принцип разрешения на новое строительство необходим, когда покупаются права на загрязнение у фирм, которым удалось достигнуть снижения сбросов или выбросов сверх установленных государством норм.

Если фирма купила эти излишки сокращений загрязнений у какого-то предприятия, то она получит право на сверхнормативный сброс или выброс того или иного загрязняющего вещества. Маркетинговый подход дает возможность перенести рыночные отношения на сферу природопользования, что отвечает общэкономической стратегии страны в целом и регионов.

Третий маркетинговый подход предполагает, что фирмы, которые уклоняются от установки собственного очистного оборудования, должны будут оплатить часть стоимости такого оборудования, уже имеющегося на других предприятиях и обеспечивающего уровень загрязнения среды данного региона в рамках общих нормативов. Расчеты показывают, что подобные сделки, охватывающие в основном предприятия одних и тех же объединений, компаний, позволяют применять *внутрифирменную передачу (трансферт) прав на загрязнение среды*, что значительно расширит маневренность крупных фирм в использовании инвестиционных средств.

Все это даст некоторым фирмам возможность накапливать излишки сокращений загрязнений, для того чтобы в их рамках сохранять и даже расширять некоторые грязные производства, не нарушая при этом региональных экологических требований,

поскольку не все предприятия способны обеспечить снижение уровня загрязнения до нормативов.

Предлагаемые меры дадут импульс идее возникновения в некоторых регионах своеобразных *экологических банков*. Прием вкладов в них будет происходить в виде излишков сокращений выбросов и сбросов загрязняющих веществ. Вклады как своеобразный капитал могут использовать не только сами вкладчики (для расширения необходимых грязных производств), но и другие фирмы и предприятия. Последние будут платить банку, чтобы таким образом сэкономить ресурсы на очистном оборудовании. Таким образом появятся как государственные, так и частные экологические банки вкладов излишков сокращений загрязнений. В результате, выполняя экологические требования, можно будет обеспечить экономическое и социальное развитие регионов, максимально используя имеющиеся ресурсы.

Маркетинговые подходы к экологическому регулированию в конечном итоге позволят предприятиям (фирмам) модернизировать собственные возможности природопользования. В этой сфере появятся передовые технологии, что невозможно при командно-контрольном методе, который основан на проверке соответствия государственным и местным нормативам каждого типа производственного оборудования. Маркетинговые методы также будут способствовать развитию новой эколого-экономической направленности обобществления регионального производства, позволят осуществить разделение труда и кооперацию внутри отдельных предприятий, фирм и между ними для достижения приемлемого уровня загрязнения среды конкретного региона, а также разделение труда и кооперацию при производстве основной продукции и в отношении сбросов и выбросов.

Зарубежный опыт показывает, что эффективность маркетинговых подходов к регулированию загрязнений тем выше, чем к большему эколого-экономическому обобществлению производства в регионе они ведут. В частности, оказалось, что 65%-ный уровень снижения загрязнения атмосферного воздуха при применении «бабл-принципа» (принципа «пузыря») был достигнут в два раза меньшими средствами, чем в случае применения традиционных мер контроля за каждым отдельным источником загрязнения. При маркетинговом подходе, т.е. торговле допусками на загрязнение между предприятиями, экономичность может возрасти более чем в шесть раз.

Маркетинговые подходы к регулированию неизбежно связаны с дифференцирующим воздействием на предприятия, т.е. природоохранные меры станут концентрироваться в основном на крупных предприятиях, где их себестоимость будет меньше, чем на мелких и средних.

Развитие российского рынка приведет к тому, что деятельность многих предприятий и фирм станет сильно зависеть от экологических и природно-ресурсных факторов регионов. Речь идет не только о системе налогов, платежей за природные ресурсы, за выбросы и сбросы загрязняющих веществ и размещение отходов, о различных экологических льготах и санкциях, но и о *государственных и общественных экологических экспертизах*, которым подвергаются предплановая документация, обоснования, технико-экономические расчеты, предложения по нормативам, проекты, сами производственные объекты, их антропогенные влияния на окружающую среду, технологии, оборудование, продукция, отходы.

Из зарубежного опыта хорошо известно, что экологические экспертизы вновь строящихся промышленных объектов могут вызывать в различных регионах страны последствия экономического, административного, правового и социально-политического характера, причем как стимулирующие размещение и развитие производительных сил, так и замедляющие их. Если в результате выявления экологической экспертизой недостатков корректируется проект строительства или реконструкции производства, оказавшегося вредным для окружающей среды, то время и ресурсы, затраченные на его переделку, затормозят развитие промышленности в данном регионе. Экспертиза должна отказывать экологически опасным проектам — технологиям и продукции.

Разработка и внедрение безотходных и малоотходных процессов, совершенствование существующих и создание новых очистных сооружений, перепрофилирование и существенное изменение инфраструктуры и части сложившихся хозяйственных связей предприятий и фирм — все это, естественно, кардинально повлияет на такой показатель, как себестоимость. Он в свою очередь воздействует на весь комплекс хозяйственных объектов, а также на экономическую и социальную обстановку в целом по региону. Результаты таких воздействий следует учитывать как государственным структурам и органам местного самоуправле-

ния, так и предпринимателям при размещении и развитии производительных сил в тех или иных регионах России.

Научно-экономическая разработка организационно-методических основ и конкретного вычислительного инструментария включает в себя:

- вычленение отдельных элементов из общей структуры;
- количественную оценку и прогнозирование величин и тенденций изменения спектра экологических и природно-ресурсных составляющих в сложных процессах колебаний курсов акций различных предприятий и фирм.

Более сложно обстоит дело с *экологическим страхованием экологических рисков*, которое может быть реально внедрено на практике. При этом следует постепенно совершенствовать информационную базу, рынок перестраховочных услуг в этой области, необходимую законодательную и нормативную документацию. Тем самым будут подготавливаться предпосылки к распространению обязательного экологического страхования на все фирмы, компании и корпорации.

Для введения государственного обязательного экологического страхования (в отличие от добровольного) потребуются специальный закон Российской Федерации, который должен определить организации, специализирующиеся на осуществлении всех видов государственного экологического страхования. Эти же организации могут устанавливать порядок образования и функционирования государственного экологического страхового фонда.

Государственное обязательное экологическое страхование может функционировать на основе следующих положений:

- определение отраслей, подотраслей и предприятий, подлежащих страхованию в обязательном порядке;
- разработка отраслевых методик по экологическому страхованию;
- формирование банка статистических данных в тех отраслях, которые из-за нарушения экологической обстановки, бедствий, аварий и катастроф наносят наибольший ущерб окружающей среде;
- установление ставок страховых платежей с дифференциацией их по отраслям деятельности и объектам страхования, включая крупные концерны и корпорации;
- утверждение нормативных документов, определяющих перечень страховых случаев;

- определение законодательно установленной для юридических и физических лиц степени возмещения ущерба, вызванного повреждением или гибелью имущества, порчей земли, леса и т.п., расходов по очистке загрязненных территорий.

На первом этапе лучше всего установить добровольную форму проведения экологического страхования. Нецелесообразно предписывать всем фирмам, корпорациям, предприятиям, учреждениям, организациям обязанность вступать в страховые отношения, чтобы получить лицензию на производственную деятельность и природопользование. В этом случае они должны были бы представить финансовую гарантию того, что возможный ущерб третьим лицам будет возмещен.

Второй этап должен быть посвящен укреплению финансово-кредитной системы, апробации механизма добровольного экологического страхования. Поскольку любой акт добровольного страхования определяется соответствующими договорами, правилами и нормами гражданского законодательства, необходима разработка нормативно-правовой и методической документации. Затем должны быть разработаны основы методической документации по обязательному экологическому страхованию, чтобы оно стало обычным явлением экономики.

Главная цель маркетинговых подходов к управлению природоохранной деятельностью направлена на *обеспечение рационального использования ассимиляционного потенциала природной среды*. Схема ее реализации в масштабе страны такова. Правительство определяет допустимые масштабы воздействия на природу, распределяет лицензии (разрешения) между заинтересованными сторонами, а затем (в отличие от административной и экономической систем регулирования) предпринимателям дается полная свобода перераспределять или перепродавать эти лицензии. Функция органов управления состоит в контроле за соблюдением эквивалентности сделок, чтобы суммирующее воздействие на природу не увеличилось. Все это способствует формированию рыночной инфраструктуры, т.е. закреплению прав собственности за фирмой, обеспечивающей реализацию этих прав (в том числе выдачу лицензии или сертификатов собственности), а также возможности контроля за деятельностью экологических банков и бирж.

7.3. Экологический аудит в системе маркетинга

Экологический аудит — это проведение ревизии экологической деятельности (экологичности) компаний. Концепция экологического аудита, разработанная в конце 70-х годов в США, впервые использовалась на практике для проверки соблюдения компаниями экологических требований законов, законодательных актов и нормативов. Экологический аудит включает проверку следующих видов деятельности:

- выполнение экологических нормативов в соответствии с законодательством и внутрифирменными требованиями;
- определение уровня экологичности компании (проводится в случае, если данная компания не имеет официально принятых планов или программ в области окружающей среды);
- функционирование системы экоуправления;
- получение экологического сертификата;
- выполнение финансовых обязательств и выплата долгов, правильность определения уровня рисков при слиянии и приобретении компаний;
- составление экологической декларации и отчетов компании об экологической деятельности.

Экологический аудит представляет собой комплексный, документированный верификационный процесс объективного выявления и оценки сведений для определения соответствия критериям проверки конкретных экологических мероприятий, видов деятельности, условий, управленческих систем или информации о них и информирования потребителя о полученных в ходе указанного процесса результатах. Международные стандарты ИСО по экологическому аудиту включают методические материалы по принципам экологического аудита (ISO 14010), процедуре аудита систем экологического управления (ISO 14011.1) и квалификационные требования к специалистам по экологическому аудиту.

Для создания маркетинговой системы важно, чтобы экологический аудит рассматривался в качестве особого управленческого инструмента и составной части систем экоуправления. Проводится он обычно экспертами-консультантами по заданию

властных структур (проверка выполнения экологических положений законов и эконо^м), банков или страховых компаний (при принятии ими решений о предоставлении кредитов, ссуд или страхового полиса) и, наконец, частных компаний (при слияниях или приобретениях компаний). Итоги проверки могут быть весьма неожиданными: высокие штрафы или временное принудительное закрытие. Результаты экологического аудита могут служить источником маркетинговой информации об экологических аспектах деятельности компании, причем эта информация исключительно важна для принятия последующих управленческих решений.

Эффективность внедрения в компании экологических мероприятий и систем экологического управления выражается в *прямых выгодах*, которые связаны с возможностью расширить рынок сбыта продукции, избежать ненужных расходов, снизить издержки, сберечь основные фонды, получить нужные инвестиции, и в *косвенных*, включающих улучшение мотивации сотрудников компании, отношений с местным населением, репутации компании.

Некоторые иностранные партнеры по совместным предприятиям, стремясь приспособиться к характеру деловых отношений в нашей стране, в том числе к бытующей практике нарушения природоохранных норм, не соблюдают законодательные положения в области охраны окружающей среды. Это касается, например, нефтяной, нефтехимической, металлургической и горнодобывающей промышленности. В этой связи вырастает роль экологического аудита и экологической отчетности.

В России значительные возможности для становления отрасли экологических услуг (аудит и страхование) возникли с развитием частного сектора. В стране преобладают малые предприятия, причем 20% из них — компании промышленного и строительного профиля, которые могут оказывать существенное влияние на окружающую среду. Иными словами, примерно 250 тыс. компаний нуждаются в проведении экоаудита.

Сотрудничество в области развития экологически приемлемого предпринимательства предполагает:

- изучение опыта западных компаний, западного и международного законодательства;
- подготовку кадров экологически ориентированных предпринимателей;

8

Экологическое право



8.1. Понятие, предмет и источник экологического права

Экологическое право — это отрасль российского права, представляющая собой систему норм права, регулирующих общественные отношения в сфере взаимодействия общества и природы с целью сохранения, оздоровления и улучшения окружающей среды в интересах настоящего и будущих поколений людей. Данное определение экологического права базируется в основном на ст. 1 Закона РСФСР от 1991 г. «Об охране окружающей природной среды».

Предметом экологического права являются общественные отношения в сфере охраны, оздоровления и улучшения окружающей природной среды, предупреждения и устранения вредных последствий воздействия на нее хозяйственной и иной деятельности.

В любом правовом государстве основным источником экологического права должен быть закон, адекватно регулирующий экологические права человека и гражданина, обеспечивающий механизм их защиты, а также формирующий общественные отношения собственности на природные ресурсы, содержащий правовые нормы по природопользованию и охране окружающей природной среды, по пресечению и профилактике правонарушений в этой области.

Систему источников экологического права в России образуют Конституция Российской Федерации, федеративные договоры, международные договоры РФ, общепризнанные нормы международного права, федеральные законы, нормативные указы и распоряжения Президента РФ, нормативные поста-

новления Правительства РФ, Конституции, законы и иные нормативные правовые акты субъектов Федерации, нормативные правовые акты министерств и ведомств, органов местного самоуправления и т.д.

Регулирование отношений в области использования природных ресурсов предусматривается Земельным кодексом РСФСР, Водным кодексом РФ, Лесным кодексом РФ, Федеральным законом «О животном мире». Источники экологического права процессуального характера — это Гражданский процессуальный кодекс РСФСР, Уголовно-процессуальный кодекс РСФСР, различные правовые акты и постановления Правительства РФ.

Охрану и защиту прав собственности на природные ресурсы, экологических прав и законных интересов человека и гражданина, выполнение правовых требований природопользования и охраны окружающей среды обеспечивают в нашей стране правоохранительные органы (милиция, прокуратура, Конституционный Суд РФ, общие и арбитражные суды). В своей деятельности они основываются на федеральных законах, Арбитражном процессуальном кодексе РФ, Кодексе РСФСР об административных правонарушениях, Уголовном кодексе РФ, Гражданском кодексе РФ и других соответствующих правовых документах.

8.2. Экологические правонарушения

Понятие и состав экологических правонарушений. Правонарушение представляет собой юридический факт, порождающий охранительное правоотношение.

Специфика правонарушения, совершенного в области природопользования и охраны окружающей среды, определяет его как экологическое правонарушение и заключается в том, что:

- объектом экологического правонарушения выступают общественные отношения в сфере рационального природопользования и охраны окружающей среды;
- экологическое правонарушение представляет собой противоправное деяние, совершенное путем действия (например, незаконная порубка и повреждение деревьев и кустарников) или бездействия (невыполнение правил охраны недр);

- вина является третьим признаком состава правонарушения в формах умысла и неосторожности. Например, незаконная охота (ст. 258 УК) может быть совершена только с прямым умыслом, уничтожение лесных массивов в результате неосторожного обращения с огнем — только по неосторожности (ст. 261 УК РФ);
- субъектом экологического правонарушения могут быть граждане и юридические лица.

В ст. 81 Закона РСФСР «Об охране окружающей природной среды» *экологическое правонарушение* определяется как виновное, противоправное деяние, нарушающее природоохранительное законодательство и причиняющее вред окружающей природной среде и здоровью человека. С учетом степени общественной опасности экологические правонарушения подразделяются на проступки и преступления.

В ст. 42 Конституции РФ записано, что «каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением». Право на благоприятную окружающую среду представляет собой: во-первых, нравственный принцип, выраженный в правовой норме Конституции; во-вторых, принцип для построения системы объективного экологического законодательства, а также его важнейшую норму; в-третьих, это субъективное право гражданина, которому корреспондируют обязанности государства по поддержанию окружающей среды в благоприятном состоянии, а также проведению различных мероприятий по устранению отрицательных воздействий неблагоприятной среды на человека.

Виды вреда, причиняемого окружающей природной среде. В соответствии со ст. 86 Закона от 9 декабря 1991 г. вред окружающей природной среде может быть причинен юридическими лицами и гражданами загрязнением окружающей среды, порчей, уничтожением, повреждением, нерациональным использованием природных ресурсов, разрушением естественных экосистем и другими экологическими правонарушениями. Под вредом понимается реальный ущерб и упущенная выгода. Реальный ущерб в экологической сфере может выражаться в уменьшении лесных массивов, снижении плодородия почвы и т.д., а также в расходах на их восстановление. Упущенная выгода в экологической

сфере может выражаться в неполученных доходах, например, от хозяйственного использования той почвы, плодородие которой снизилось.

Вред окружающей среде (с точки зрения последствий) может быть как экономический (гибель лесного массива, предназначенного к вырубке и продаже), так и экологический (нарушение экологических интересов общества в части благоприятной среды). Между собой эти виды вреда органически связаны как источником, так и способом причинения и рассматриваются в денежном выражении. Но в отличие от экономического вред экологический более длителен в своем проявлении и последствия его могут быть растянуты во времени и в пространстве. Этот вред не всегда может быть возмещен в натуре, не всегда оценим в денежном выражении. Поэтому огромное значение имеет превентивная работа по предупреждению наступления вреда.

Вред окружающей среде может быть причинен как правомерными действиями (разрешенными государством), так и вследствие нарушения экологического законодательства. Соответственно правомерный вред (объективно вынужденный) должен быть возмещен только в случаях, прямо предусмотренных законодательством. Эколоγο-правовая ответственность за неправомерный вред наступает только в случае, когда он является прямым следствием нарушения экологического законодательства.

8.3. Правовой режим природопользования и охраны окружающей среды

Загрязнение вод. Правонарушениями считаются загрязнение, засорение, истощение поверхностных или подземных вод, источников питьевой воды либо изменение природных свойств, если они повлекли существенный вред животному или растительному миру, рыбным запасам, лесному или сельскому хозяйству.

Существенный вред, причиненный животному и растительному миру, заключается в возникновении заболеваний или гибели животных и растений, уничтожении рыбных запасов, мест

нереста и нагула, заболевании или гибели лесных массивов, в снижении продуктивности земель, возникновении заболоченных или засоленных земель. Оценка причиненного вреда выполняется с учетом затрат на зарыбление водоемов, упущенной выгоды, реальной стоимости затрат на восстановительные работы и ликвидацию последствий.

Загрязнение биосферы. Н а к а з ы в а е т с я нарушение правил выброса в атмосферу загрязняющих веществ или нарушение эксплуатации установок, сооружений и иных объектов, если это повлекло загрязнение или изменение природных свойств воздуха. Загрязнением являются: внесение в состав атмосферного воздуха, атмосферы или образование в них загрязняющих веществ в концентрациях, превышающих нормативы качества или уровни естественного содержания; повышение концентрации химических веществ, взвешенных частиц; изменение теплового режима, радиационных, электромагнитных и шумовых показателей.

Источниками загрязнения могут быть, в частности, транспортные средства, предприятия промышленности, воздушные линии электропередач, распределительные подстанции, энергетические установки, станции радиолокации, сотовая и космическая связь. Причинение вреда здоровью человека происходит в результате вдыхания загрязняющих веществ, поражения кожных покровов, слизистых и иных органов.

Загрязнение морской среды — привнесение веществ и материалов, ухудшающих качество морской среды, ограничивающих ее использование, приводящее к уничтожению, истощению, заболеванию или сокращению живых ресурсов моря. Н а к а з ы в а е т с я загрязнение морской среды из находящихся на суше источников либо вследствие нарушения захоронения или сброса с транспортных средств (либо с возведенных в море искусственных сооружений) веществ и материалов, вредных для здоровья человека и живых ресурсов моря либо препятствующих правомерному использованию морской среды.

Морской средой являются внутренние морские воды, территориальные морские воды (12 морских миль), береговые линии внутренних морских вод, прибрежная полоса, живые морские ресурсы. Правила захоронения и сброса в морскую среду различных веществ и отходов регулируются постановлениями Пра-

вительства Российской Федерации, ведомственными нормативными актами.

Примеры нарушения правил: погружение веществ и материалов с судна без соответствующего разрешения; затопление неотработанного ядерного топлива с военных судов; принятие мер в случае инцидента с судном или иным субъектом, повлекшего или могущего повлечь сброс нефти или иных загрязняющих веществ; слив в море химических веществ из отстойников. Эти нарушения происходят при возведении в море искусственных сооружений (островов, буровых установок, платформ), транспортировке нефтепродуктов, затоплении отработанного ядерного топлива, проведении военных испытаний, авариях на судах, сливе в море химических веществ предприятиями или из отстойников, расположенных на берегу.

Существенный вред может проявиться в массовой гибели морских биоресурсов (рыбы, животных, растений, организмов), уничтожении мест нереста, снижении промысловых запасов рыб, уничтожении кормовой базы рыб, загрязнении мест отдыха граждан.

Порча земли. П р а в о н а р у ш е н и я м и считаются отравление, загрязнение или иная порча земли вредными продуктами хозяйственной или иной деятельности вследствие нарушения правил обращения с удобрениями, стимуляторами роста растений, ядохимикатами и иными опасными химическими и биологическими веществами при их хранении, использовании и транспортировке, повлекшие причинение вреда здоровью человека или окружающей среды.

Вредное воздействие на землю проявляется в загрязнении, захламлении, засолении, заболачивании, подтоплении, опустынивании, иссушении, переуплотнении и эрозии почвы, порче и уничтожении плодородного слоя, заражении почвы возбудителями бактериальных, паразитарных и инфекционных заболеваний. Деградация земель может вести к угрозе жизни и здоровью человека, катастрофам, разрушению историко-культурного наследия и природного ландшафта, загрязнению сельскохозяйственной продукции и водных источников, гибели животных (диких и домашних) и водных биоресурсов. Причиненный вред оценивается по соответствующим методикам или по фактическим затратам на восстановление деградированных и загрязнен-

ных земель с учетом ухудшения качества земель и ограничений по их использованию.

Уничтожение или повреждение лесов (а также насаждений, не входящих в лесной фонд) в результате неосторожного обращения с огнем или иным источником повышенной опасности является **п р а в о н а р у ш е н и е м**.

Загрязнение леса может происходить в ходе хозяйственной или иной деятельности путем выбросов, сбросов вредных веществ, а также размещения отходов и отбросов производства, коммунально-бытовых и иных отходов, устройства свалок.

Уничтожение критических местообитаний для организмов, занесенных в Красную книгу Российской Федерации, повлекшее гибель популяций этих организмов, сокращение численности, нарушение среды обитания, считается **п р а в о н а р у ш е н и е м**. Красная книга России ведется Министерством охраны окружающей среды и природных ресурсов на основе систематического обновления данных о состоянии и распространении редких и находящихся под угрозой исчезновения видов диких животных и дикорастущих растений и грибов. В издание Книги 1995 г. занесено 65 видов млекопитающих, 109 — птиц, 15 — рептилий и амфибий, 9 — рыб, 15 — моллюсков и 34 — насекомых. Под средой обитания понимается природная среда, в которой объекты животного мира находятся в состоянии естественной свободы, обеспечивающей размножение, отдых, миграцию, выращивание молодняка.

Уничтожение критических мест обитаний может произойти из-за хозяйственной деятельности человека, проведения взрывных работ, размещения отходов, строительства нефтепроводов, линий электропередач, каналов, плотин, введения в оборот целинных земель, проведения геологоразведочных работ, выпаса сельскохозяйственных животных, туристической деятельности, организации мест массового отдыха.

Незаконная охота. Охота — выслеживание с целью добычи, преследование и сама добыча диких животных. Нахождение в охотничьих угодьях с ружьем, охотничьими собаками, орудиями охоты приравнивается к охоте. **Н е з а к о н н о й** признается охота без соответствующего разрешения или осуществляемая вопреки запрету либо лицом, не имеющим права на охоту. Предметом незаконной охоты являются дикие животные в среде их естественного обитания.

Незаконная добыча рыбы, морского зверя (моржи, тюлени, нерпы и др.) и иных водных животных или промысловых морских растений, если она повлекла крупный ущерб или произведена с использованием самоходного транспортного средства, электротока, химических или взрывчатых веществ или происходила на территории заповедника или в зоне экологического бедствия, в местах нереста или на путях миграции, **наказывается**.

Также признается **правонарушением** незаконная добыча котиков, морских бобров, северного и курильского калана, белобрюхих тюленей или иных морских млекопитающих в открытом море или в запретных зонах.

Объектами преступления являются водные биоресурсы, запасы рыбы, водных млекопитающих, водорослей во внутренних водах, территориальных морских водах, на континентальном шельфе. Под добычей понимается процесс улова, убоя, извлечения и иного изъятия из природной среды водных животных и растений, заканчивающийся завладением предметом добычи. **Незаконной** признается добыча при отсутствии специального разрешения (когда это необходимо), в запретное время, в недозволенных местах, недозволенными орудиями, приемами, способами.

Нарушение правил охраны окружающей среды при производстве работ. Правилами охраны окружающей среды являются нормы, определенные экологическим и природоохранным законодательством. Нарушение этих норм при проектировании промышленных, сельскохозяйственных, научных и других объектов лицами, ответственными за их соблюдение, если это повлекло за собой существенное изменение радиоактивного фона, причинение вреда здоровью человека, массовую гибель животных или иные тяжкие последствия, признается **правонарушением**.

Это означает, что при размещении, технико-экономическом обосновании проекта, проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию предприятия (сооружений) в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте, в энергетике, водном, коммунально-бытовом хозяйстве, при прокладке линий электропередач и связи, трубопроводов, каналов, иных объектов, оказывающих прямое либо косвенное влияние на состояние окружающей природной среды, должны выполняться требования экологической безопасности и охраны здоровья на-

селения, предусматривающие мероприятия по охране природы, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов, оздоровлению окружающей среды.

Все эти требования детализированы в соответствующих федеральных законах, в статьях Земельного, Лесного и Водного кодексов, в инструкциях и постановлениях строительных и проектных организаций и ведомств на государственном, федеральном и региональном уровнях. Их невыполнение или ненадлежащее выполнение и является нарушением правил охраны окружающей среды при производстве работ.

Нарушение правил обращения с экологически опасными веществами и отходами. Производство запрещенных видов опасных отходов, транспортировка и хранение, захоронение, использование или иное обращение радиоактивных, бактериологических, химических веществ и отходов с нарушением установленных правил, если это создало угрозу причинения существенного вреда здоровью человека или окружающей среде, являются п р а в о н а р у ш е н и я м и.

Запрещенные виды опасных отходов — это сильнодействующие отравляющие вещества, опасные отходы — непригодное для производства или утратившее потребительские свойства сырье, вещества и энергия, способные вызвать отравление. Нарушение правил обращения с отходами состоит в противоправном действии или бездействии (невыполнении должностных обязанностей) на любой стадии их обращения. В законодательстве выделяются следующие стадии: обезвреживание, утилизация, складирование, хранение, захоронение, транспортировка, удаление.

Незаконный оборот сильнодействующих или ядовитых веществ. Повышенная общественная опасность сильнодействующих и ядовитых веществ потребовала специального закона о з а п р е т е на их изготовление, переработку, приобретение, хранение, перевозку, пересылку, сбыт. Необходимо специальное разрешение в целях использования их для научных, медицинских или иных общественно полезных работ.

Выделяется более 100 видов сильнодействующих веществ, в том числе, например, аминазин, барбитал натрия, клофелин, пипрадол, тазепам, теофедрин, френолон, хлороформ, эфир. Существует более 60 видов ядовитых веществ: метиловый спирт,

стрихнин, фенол, цианистый калий, яд змеиный, некоторые соединения ртути, синильная кислота и т.д.

Нарушение правил охраны и использования недр при проектировании, размещении, строительстве, вводе в эксплуатацию и эксплуатации горнодобывающих предприятий и подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых, а также самовольная застройка площадей залегания полезных ископаемых, если эти действия повлекли значительный ущерб, считаются **п р а в о н а р у ш е н и е м**.

Недрами является часть земной коры, расположенная ниже почвенного слоя и дна водоемов. Правила их охраны регламентируются горным и геологическим законодательством страны. Нарушения состоят в затоплении, обводнении или пожаре, когда в результате снижается качество полезных ископаемых, в сбросе сточных вод, размещении отходов производства, загрязнении недр, накоплении промышленных отходов в местах источников питьевого или промышленного водоснабжения. Сюда же относятся неизвлечение попутных компонентов, несоблюдение условий лицензии на добычу полезных ископаемых, непроведение полного геологического изучения недр перед строительством. Застройка площадей разрешается только при отсутствии полезных ископаемых в недрах под участком застройки.

Ущерб от нарушения правил использования недр включает потери полезных ископаемых, ухудшение состояния земли, рост затрат на добычу полезных ископаемых и т.п.

Нарушение режима особо охраняемых природных территорий и природных объектов (заповедников, заказников, памятников природы), повлекшее значительный ущерб, — **п р а в о н а р у ш е н и е**.

Объектами охраны в данном случае являются участки земли, водной поверхности и воздушного пространства над ними, если они имеют особое природоохранное, научное, культурное или эстетическое значение и изъяты из хозяйственного использования. К таким участкам относятся государственные природные заповедники, природные и национальные парки, дендрологические парки, ботанические сады, лечебно-оздоровительные местности и курорты. На них запрещается любая деятельность, противоречащая задачам заповедников, разведка и разработка полезных ископаемых, размещение садовых участков, движение и

стоянка механизированных транспортных средств, добыча животных.

Природным комплексом является природно-географический комплекс (ландшафт), представляющий ограниченный участок территории, в котором природные компоненты находятся в устойчивом взаимодействии. К объектам с особым статусом относятся заповедники, заказники, ботанические сады, национальные парки и т.п.

Соккрытие или искажение информации о событиях, фактах или явлениях, создающих опасность для жизни или здоровья людей либо для окружающей среды, совершенные лицом, признается **п р а в о н а р у ш е н и е м**.

К событиям, фактам или явлениям, создающим опасность, относятся природные, техногенные или иные процессы, которые при неблагоприятном развитии или отсутствии мер контроля и регулирования могут вызвать опасность для человека и окружающей среды.

Информация, подпадающая под действие данных требований, включает экологически и медицински значимую информацию, сведения о катастрофах, авариях на объектах атомной энергетики, эпидемиях, военных действиях, промышленных процессах, могущих повлечь опасность для человека, окружающей среды, нации в целом, среды обитания.

Соккрытием является недоведение информации до лиц, имеющих право на ее получение или нуждающихся в ней, с целью воздействия на события, явления. Искажением информации считается сообщение неполных или неверных данных, прогнозов, оценок.

Незаконное обращение с радиоактивными материалами, т.е. разрушение радиоактивных материалов, является **п р а в о н а р у ш е н и е м**.

К объектам атомной энергетики относятся ядерные установки (сооружения и комплексы с ядерными реакторами, в том числе атомные станции, космические и летательные аппараты, установки и устройства с ядерными зарядами), пункты хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранилища радиоактивных отходов. Радиоактивные вещества и ядерные материалы могут находиться в газообразном, жидком или твердом состоянии.

Нарушение правил безопасности при обращении с микробиологическими либо другими биологическими агентами или токсинами, если это повлекло причинение вреда здоровью человека, распространение эпидемий или эпизоотии, признается **п р а в о - н а р у ш е н и е м**.

Нарушение состоит в активных действиях и бездействии, в ненадлежащем контроле, выпуске в окружающую среду организмов, невключении вентиляционных установок, нарушении обязательной последовательности операций, неиспользовании средств защиты, нарушении условий хранения и транспортировки.

Данный закон распространяется на деятельность медицинских, фармацевтических, научно-исследовательских, военных организаций, в том числе занимающихся генной инженерией, получением и выращиванием микроорганизмов и их фрагментов. Опасными для человека являются вирусы, бактерии, токсины, любые генетически измененные микроорганизмы, которые способны вызвать инфекционные заболевания, расстройство здоровья, стойкую утрату трудоспособности, гибель. Для животных особо опасными вирусами оказываются возбудители ящура, оспы овец и т.п., для растений — бактерии микроскопических грибов и генетически измененные микроорганизмы. Наиболее опасной эпидемией является пандемия (эпидемия, охватившая подавляющую часть территории).

Ущерб от нарушения данного закона состоит в расходах по дезинфекции, в потерях сельскохозяйственной продукции, в затратах на уничтожение зараженного имущества, погашение очагов заболевания, охрану территории, лечение населения, животных, а также возмещении потерь другим регионам и государствам из-за трансграничного переноса.

Ветеринарные правила предусматривают ветеринарно-санитарные, лечебные и профилактические мероприятия, порядок ликвидации очагов заболеваний, правила карантина, перевозки и использования животных из неблагополучных территорий, использования неблагополучных кормов, забоя скота, переработки кожевенного и мехового сырья, продажи мяса и иных продуктов животноводства.

Нарушение правил, установленных для борьбы с болезнями и вредителями растений, может состоять в ввозе зараженных продуктов, посеве зараженных семян, применении некачествен-

ных химикатов, сокрытии информации о появлении болезней, непроведении необходимых агротехнических мероприятий по борьбе с вредителями, продаже зараженных растений.

Ущерб от нарушения правил борьбы с болезнями и вредителями растений состоит из затрат на уничтожение зараженных участков леса, продуктов и животных, ликвидацию последствий заражения, лечение людей и животных, восстановление растительности пораженных участков, а также на возмещение имущественного ущерба при гибели многолетних культурных насаждений, урожая и т.д.

Нарушение санитарно-эпидемиологических правил может состоять в использовании пищевых продуктов без предварительного контроля, употреблении грязной воды, использовании грязной воды при приготовлении пищи, нарушении правил захоронения отходов, нарушений в системе подачи питьевой воды.

8.4. Виды ответственности за экологические правонарушения

Эколого-правовая ответственность является разновидностью общеюридической ответственности, но в то же время отличается от иных видов юридической ответственности.

Эколого-правовая ответственность рассматривается в трех взаимосвязанных аспектах:

- как государственное принуждение к исполнению требований, предписанных законодательством;
- как правоотношение между государством (в лице его органов) и правонарушителями (которые подвергаются санкциям);
- как правовой институт, т.е. совокупность юридических норм, различных отраслей права (земельного, горного, водного, лесного, природоохранного и др.).

Экологические правонарушения наказываются в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации. Конечная цель экологического законодательства и каждой отдельной его статьи заключается в охране от загрязнения, обеспечении правомерного использования окружающей среды и ее элементов, охраняемых законом. Сферой действия экологиче-

ского законодательства являются окружающая среда и ее отдельные элементы. Предметом правонарушения признается элемент окружающей среды. Требования закона предполагают установление четкой причинной связи между допущенным нарушением и ухудшением окружающей среды.

Субъектом экологических правонарушений является лицо, достигшее 16-летнего возраста, на которое нормативно-правовыми актами возложены соответствующие должностные обязанности (соблюдение правил охраны окружающей среды, контроль за соблюдением правил), либо любое лицо, достигшее 16-летнего возраста, нарушившее требования экологического законодательства.

Для экологического правонарушения характерно наличие трех элементов:

- противоправность поведения;
- причинение экологического вреда (или реальная угроза) либо нарушение иных законных прав и интересов субъекта экологического права;
- причинная связь между противоправным поведением и нанесенным экологическим вредом или реальной угрозой причинения такого вреда либо нарушением иных законных прав и интересов субъектов экологического права.

Ответственность за экологические правонарушения служит одним из основных средств обеспечения выполнения требований законодательства по охране окружающей среды и использованию природных ресурсов. Эффективность действия данного средства во многом зависит прежде всего от государственных органов, уполномоченных применять меры юридической ответственности к нарушителям экологического законодательства. В соответствии с российским законодательством в области охраны окружающей среды должностные лица и граждане за экологические правонарушения несут дисциплинарную, административную, уголовную, гражданско-правовую, материальную ответственность, а предприятия — административную и гражданско-правовую.

Дисциплинарная ответственность наступает за невыполнение планов и мероприятий по охране природы и рациональному использованию природных ресурсов, за нарушение экологических нормативов и иных требований природоохранитель-

ного законодательства, вытекающих из трудовой функции или должностного положения. Дисциплинарную ответственность несут должностные лица и иные виновные работники предприятий и организаций в соответствии с положениями, уставами, правилами внутреннего распорядка и другими нормативными актами (ст. 82 Закона «Об охране окружающей природной среды»). К нарушителям в соответствии с Кодексом законов о труде (с изменениями и дополнениями от 25 сентября 1992 г.) могут быть применены следующие дисциплинарные взыскания: замечание, выговор, строгий выговор, увольнение с работы, другие наказания (ст. 135).

Материальная ответственность также регулируется Кодексом законов о труде РФ (ст. 118—126). Такую ответственность несут должностные лица и иные работники предприятия, по вине которых предприятие понесло расходы по возмещению вреда, причиненного экологическим правонарушением.

Применение *административной ответственности* регулируется как природоохранительным законодательством, так и Кодексом РСФСР об административных правонарушениях 1984 г. (с изменениями и дополнениями). Закон «Об охране окружающей природной среды» расширил перечень составов экологических правонарушений, при совершении которых виновные должностные, физические и юридические лица несут административную ответственность. Такая ответственность наступает за превышение предельно допустимых выбросов и сбросов вредных веществ в окружающую среду, невыполнение обязанностей по проведению государственной экологической экспертизы и требований, содержащихся в заключении экологической экспертизы, предоставление заведомо неправильных и необоснованных заключений, несвоевременное предоставление информации и предоставление искаженной информации, отказ от предоставления своевременной, полной, достоверной информации о состоянии природной среды и радиационной обстановке и т.д.

Конкретный размер штрафа определяется органом, налагающим штраф, в зависимости от характера и вида правонарушения, степени вины правонарушителя и причиненного вреда. Административные штрафы налагаются уполномоченными на то государственными органами в области охраны окружающей сре-

ды, санитарно-эпидемиологического надзора РФ. При этом постановление о наложении штрафа может быть обжаловано в суд или арбитражный суд. Наложение штрафа не освобождает виновных от обязанности возмещения причиненного вреда (ст. 84 Закона «Об охране окружающей природной среды»).

В новом Уголовном кодексе РФ экологические преступления выделены в отдельную главу (гл. 26). В нем предусмотрена *уголовная ответственность* за нарушение правил экологической безопасности при производстве работ, нарушение правил хранения, утилизации экологически опасных веществ и отходов, нарушение правил безопасности при обращении с микробиологическими или другими биологическими агентами или токсинами, загрязнение вод, атмосферы и моря, нарушение законодательства о континентальном шельфе, порчу земли, незаконную добычу водных животных и растений, нарушение правил охраны рыбных запасов, незаконную охоту, незаконную порубку деревьев и кустарников, уничтожение или повреждение лесных массивов.

Применение мер дисциплинарной, административной или уголовной ответственности за экологические правонарушения не освобождает виновных лиц от обязанности возмещения вреда, причиненного экологическим правонарушением. Закон «Об охране окружающей природной среды» стоит на той позиции, что предприятия, организации и граждане, причиняющие вред окружающей среде, здоровью или имуществу граждан, народному хозяйству загрязнением окружающей среды, порчей, уничтожением, повреждением, нерациональным использованием природных ресурсов, разрушением естественных экологических систем и другими экологическими правонарушениями, обязаны возместить его в полном объеме в соответствии с действующим законодательством (ст. 86).

Гражданско-правовая ответственность в сфере взаимодействия общества и природы заключается главным образом в возложении на правонарушителя обязанности возместить потерпевшей стороне имущественный или моральный вред в результате нарушения правовых экологических требований.

Ответственность за экологические правонарушения выполняет ряд основных функций:

- стимулирующую к соблюдению норм права окружающей среды;

- компенсаторную, направленную на возмещение потерь в природной среде, возмещение вреда здоровью человека;
- превентивную, заключающуюся в наказании лица, виновного в совершении экологического правонарушения.

Экологическое законодательство предусматривает *три уровня наказания*: за нарушение; нарушение, повлекшее значительный ущерб; нарушение, повлекшее смерть человека (тяжкие последствия). Смерть человека вследствие экологического преступления оценивается законом как неосторожность (совершенное по небрежности или легкомыслию). Видами наказаний при экологических нарушениях могут быть штраф, лишение права занимать определенные должности, лишение права заниматься определенной деятельностью, исправительные работы, ограничение свободы, лишение свободы.

Одним из самых тяжких экологических преступлений является *экоцид* — массовое уничтожение растительного мира (растительных сообществ земли России или отдельных ее регионов) или животного мира (совокупность живых организмов всех видов диких животных, населяющих территорию России или определенный ее регион), отравление атмосферы и водных ресурсов (поверхностные и подземные воды, которые используются или могут быть использованы), а также совершение иных действий, способных вызвать экологическую катастрофу. Общественная опасность экоцида состоит в угрозе или нанесении огромного вреда окружающей природной среде, сохранению генофонда народа, животного и растительного мира.

Экологическая катастрофа проявляется в серьезном нарушении экологического равновесия в природе, разрушении устойчивого видового состава живых организмов, полном или существенном сокращении их численности, в нарушении циклов сезонных изменений биотического кругооборота веществ и биологических процессов. Мотивом экоцида может быть ложно понятые интересы военного или государственного характера, совершение действий с прямым или косвенным умыслом.

Успех в наведении экологического правопорядка достигается постепенным наращиванием общественного и государственного воздействия на злостных правонарушителей, оптимальным сочетанием воспитательных, экономических и правовых мер.

Контрольные вопросы



1. Что регулирует экологическое право?
2. Что представляет собой экологическое правонарушение?
3. Как Закон «Об охране окружающей природной среды» определяет экологическое правонарушение?
4. Какие виды ответственности за экологические правонарушения вы знаете?
5. Какие функции выполняет ответственность за экологические правонарушения?
6. Что такое экоцид?



Раздел 3

Моделирование в ЭКОЛОГИИ



В каждой естественной науке заключено столько истины, сколько в ней есть математики.

И. Кант

Глава 9. Динамические модели

Глава 10. Стохастические модели

**Глава 11. Оптимизационные и игровые
модели**

**Глава 12. Системный анализ и управ-
ление в экологии**

9

Динамические модели



9.1. Понятие моделирования

Прежде всего следует дать определение модели. Однако это не так просто, поэтому сначала приведем несколько примеров, поясняющих, что такое модель, а затем, когда некоторое интуитивное представление о понятии «модель» сформируется, дадим определение, а также коротко опишем математические методы, с которыми связано рассмотрение тех или иных моделей.

Исходным пунктом исследования, его отправной точкой, служит некоторая задача из той или иной предметной области (в данном случае из экологии или безопасности жизнедеятельности). Процесс построения модели называется *моделированием*. Существует несколько приемов моделирования, которые можно условно разделить на две большие группы: материальное и идеальное моделирование.

К *материальным* относятся такие способы моделирования, при которых исследование ведется по модели, воспроизводящей основные геометрические, физические, динамические и функциональные характеристики изучаемого объекта. Из разновидностей материального моделирования выделим физическое и аналоговое моделирование.

Физическим принято называть моделирование, при котором реальному объекту противопоставляется его уменьшенная (реже увеличенная) копия, допускающая лабораторное исследование и позволяющая переносить установленные свойства на реальный объект с помощью теории подобия. Типичный пример физического моделирования — исследование уменьшенной копии летательного аппарата в аэродинамической трубе.

Аналоговое моделирование основано на аналогии процессов и явлений, имеющих различную физическую природу, но описываемую формально (одними и теми же математиче-

скими уравнениями, логическими схемами и т.п.). Типичный пример — изучение механических колебаний с помощью электрической схемы. Другой пример — макет системы кровообращения, на котором стрелочками изображены направления движения крови.

По своей сути материальное (предметное) моделирование является экспериментальным.

От него принципиальным образом отличается *идеальное* моделирование, которое основано не на материальной аналогии объекта и модели, а на аналогии идеальной (мыслимой). Идеальное моделирование носит теоретический характер. Важнейшим его видом является математическое моделирование, при котором исследование объекта осуществляется посредством модели, сформулированной на языке математики и с использованием тех или иных математических методов. Классический пример математического моделирования — описание и исследование основных законов механики И. Ньютоном средствами математики.

Использование различных моделей и методологии моделирования необходимо для того, чтобы:

- понять, как устроен конкретный объект, каковы его структура, основные свойства, законы развития и взаимодействия с окружающим миром;
- научиться управлять объектом (процессом) и определить наилучшие способы управления при заданных целях и критериях;
- прогнозировать прямые и косвенные последствия реализации разных способов и форм воздействия на объект.

Хорошо построенная модель, как правило, дает новые знания об объекте-оригинале. Это, безусловно, очень важное свойство, стимулирующее развитие методов моделирования.

Более подробно о моделях и моделировании можно узнать из литературы, например [10]. Далее приведем несколько простейших моделей из экологии и безопасности жизнедеятельности.

9.2. Динамика популяций

В современной экологии часто возникает вопрос: как определить численность той или иной популяции через определенное время? Ответ на него не только представляет теоретический

интерес, но и имеет большое практическое значение. Действительно, не зная этого, нельзя правильно планировать эксплуатацию различных возобновляемых природных ресурсов — промысловых рыб, охотничьих угодий и т.п. Может ли в решении этого вопроса помочь математика? Оказывается, да. Рассмотрим здесь некоторые простейшие модели, на которых проиллюстрируем подход к данному вопросу.

Пусть некоторая популяция имеет в момент времени t_0 биомассу x_0 . Предположим, что в каждый момент времени скорость увеличения биомассы пропорциональна уже имеющейся биомассе, а возникающие явления конкуренции за источниками питания и самоотравления снижают биомассу пропорционально квадрату наличной биомассы. Если обозначить биомассу в момент времени t через $x(t)$, а изменение ее за время Δt через Δx , то можно записать следующее приближенное равенство:

$$\Delta x \approx (kx - \alpha x^2)\Delta t, \quad (9.1)$$

где α и k — положительные постоянные (параметры).

В дифференциальной форме это соотношение имеет вид:

$$\frac{dx}{dt} = kx - \alpha x^2. \quad (9.2)$$

Оно и представляет собой математическую модель процесса изменения биомассы популяций. В экологической литературе уравнение (9.2) часто называют *логистическим*.

Если теперь поставить вопрос о том, какова же будет биомасса в момент времени T , то на него можно ответить экспериментально — дождаться этого момента и определить биомассу непосредственным измерением (вообще говоря, такое измерение может быть физически неосуществимым).

Другой путь — воспользоваться математической моделью, решая задачу Коши для уравнения (9.2) с начальным условием (9.3):

$$x(t_0) = x_0. \quad (9.3)$$

Разделяя в уравнении (9.2) переменные, получим уравнение в дифференциалах

$$\frac{dx}{x(k - \alpha x)} = dt. \quad (9.4)$$

Для дальнейшего удобно ввести новую переменную

$$z = \alpha x, \quad (9.5)$$

тогда (9.4) можно переписать в виде

$$\frac{dz}{z} + \frac{dz}{k-z} = kdt. \quad (9.6)$$

Возвращаясь к исходному уравнению (9.2), заметим, что если $x_0 = \frac{k}{\alpha}$ (т. е. $z_0 = k$), то задача Коши имеет решение $x(t) \equiv x_0$

(рис. 9.1). Если $x_0 < \frac{k}{\alpha}$ ($z_0 < k$), то уравнение (9.6) интегрируется следующим образом

$$\ln z - \ln(k-z) = \ln z_0 - \ln(k-z_0) + k(t-t_0),$$

откуда

$$\frac{z}{k-z} = \frac{z_0}{k-z_0} e^{k(t-t_0)}, \quad (9.7)$$

значит,

$$x(t) = \frac{kx_0 e^{k(t-t_0)}}{(k + \alpha x_0 (e^{k(t-t_0)} - 1))^2}, \quad t > 0. \quad (9.8)$$

Если $x_0 > \frac{k}{\alpha}$, то аналогично предыдущему случаю снова получаем формулу (9.8). Дифференцируя (9.8) по t , имеем

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\alpha k x_0 (\frac{k}{\alpha} - x_0) e^{k(t-t_0)}}{(k + \alpha x_0 (e^{k(t-t_0)} - 1))^2}, \quad (9.9)$$

откуда вытекает, что при $x_0 < \frac{k}{\alpha}$ график функции $x(t)$ монотонно возрастает, а при $x_0 > \frac{k}{\alpha}$ — монотонно убывает, причем оба

графика имеют горизонтальную асимптоту $x = \frac{k}{\alpha}$ (рис. 9.1). Мы не приводим здесь элементарную, но громоздкую формулу второй производной d^2x/dt^2 , показывающую, что верхний и нижний графики имеют по одной точке перегиба.

Мы рассмотрели весьма упрощенную ситуацию, так как предполагали, что популяция не взаимодействует ни с какими другими популяциями, учет же этого обстоятельства, конечно, значительно усложняет модель.

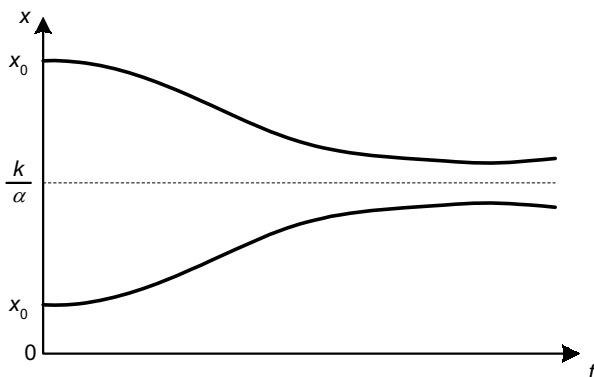


Рис. 9.1. Зависимость биомассы от времени для различных значений параметров k , α и x_0

Рассмотрим одну из таких моделей. Будем обозначать биомассы двух популяций через x и y соответственно. Предположим, что обе популяции потребляют один и тот же корм, количество которого ограничено, и из-за этого находятся в конкурентной борьбе друг с другом.

Французский математик В. Вольтерра в 1926 г. показал, что при таком предположении динамика популяций достаточно хорошо описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= k_1 x - \varepsilon_1 x (\lambda_1 x + \lambda_2 y) x \\ \frac{dy}{dt} &= k_2 y - \varepsilon_2 y (\lambda_1 x + \lambda_2 y) y \end{aligned} \right\}, \quad (9.10)$$

где $k_1, k_2, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \lambda_1, \lambda_2$ — определенные положительные числа.

Первые члены правых частей системы (9.10) характеризуют скорость роста популяций при отсутствии ограничивающих факторов. Вторые члены учитывают те изменения в скоростях, которые вызываются ограниченностью корма.

Задавая различные значения параметров, с помощью системы (9.10) можно описать взаимодействие двух популяций, одна из которых — хищник, а другая — жертва [36]. В литературе [47] более подробно описаны математические аспекты исследования системы (9.10).

Прежде чем исследовать, как будет вести себя система (9.10), заметим, что в любой момент времени t ее состояние полностью описывается значениями x и y : каждому состоянию системы соответствует некоторая точка (x, y) на плоскости xOy , называемой «фазовой плоскостью». Каждой точке фазовой плоскости можно поставить в соответствие вектор (стрелку на рис. 9.2) с координатами, которые являются правыми частями системы, указывающий направление движения в этой точке. Проведя из начальной точки линии, касательные этим векторам, получим траектории, по которым будет происходить движение системы, т. е. решения задачи Коши для системы (9.10) с начальными условиями

$$x(t_0) = x_0, \quad y(t_0) = y_0, \quad (x_0, y_0) \in xOy. \quad (9.11)$$

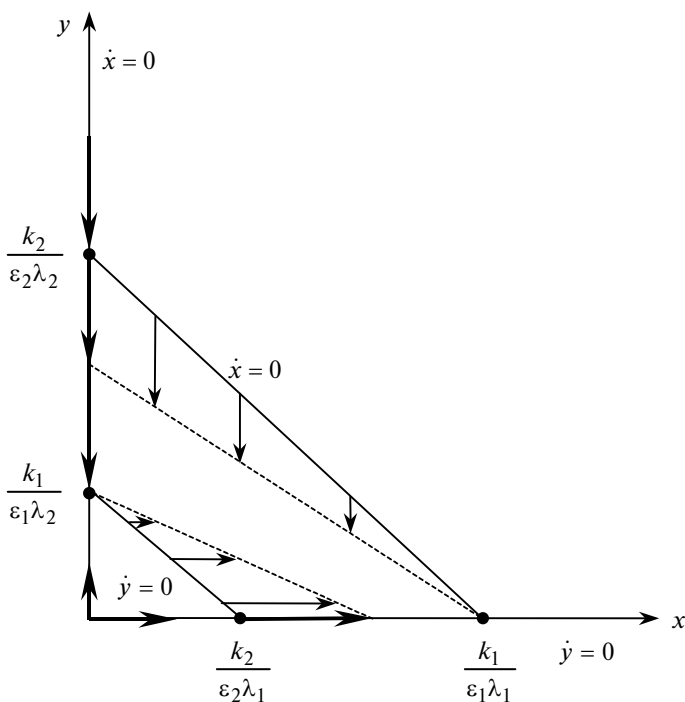


Рис. 9.2. Фазовый портрет динамической системы (9.10)

при условии $\frac{k_1}{\epsilon_1} < \frac{k_2}{\epsilon_2}$

Чтобы составить представление о траекториях движения системы, построим линии, на которых $\dot{x} = 0$ (здесь векторы параллельны оси Oy) и $\dot{y} = 0$ (здесь векторы параллельны оси Ox). Для краткости обозначим производную $\frac{dx}{dt}$ через \dot{x} , а $\frac{dy}{dt}$ через \dot{y} . Имеем

$$\dot{x} = 0, \text{ когда } k_1x - \varepsilon_1(\lambda_1x + \lambda_2y)x = 0,$$

$$\dot{y} = 0, \text{ когда } k_2x - \varepsilon_2(\lambda_1x + \lambda_2y)y = 0,$$

т. е. $\dot{x} = 0$ на двух прямых в фазовой плоскости:

$$x = 0 \text{ и } \lambda_1x + \lambda_2y = \frac{k_1}{\varepsilon_1},$$

а $y = 0$ также на двух прямых:

$$y = 0 \text{ и } \lambda_1x + \lambda_2y = \frac{k_2}{\varepsilon_2} \text{ (рис. 9.2, 9.3).}$$

По этим рисункам можно сделать следующие выводы. В обоих случаях имеем три стационарные точки, в которых одновременно $\dot{x} = 0$ и $\dot{y} = 0$, а именно: $(0,0)$, $(0, \frac{k_1}{\varepsilon_1\lambda_1})$ и $(0, \frac{k_2}{\varepsilon_2\lambda_2})$, которые по известной классификации являются узлами. При этом, если $\frac{k_1}{\varepsilon_1} > \frac{k_2}{\varepsilon_2}$ (рис. 9.2), то устойчивым является только узел $(\frac{k_1}{\varepsilon_1\lambda_1}, 0)$, а если $\frac{k_1}{\varepsilon_1} < \frac{k_2}{\varepsilon_2}$ (рис. 9.3), то узел $(0, \frac{k_2}{\varepsilon_2\lambda_2})$. Таким образом, если $\frac{k_1}{\varepsilon_1} > \frac{k_2}{\varepsilon_2}$, то вторая популяция вымирает, $y(t) \rightarrow 0, t \rightarrow \infty$, а первая стабилизируется, $x(t) \rightarrow \frac{k_1}{\varepsilon_1\lambda_1}, t \rightarrow \infty$. Если же $\frac{k_1}{\varepsilon_1} < \frac{k_2}{\varepsilon_2}$, то имеем обратную картину: первая популяция вымирает, $x(t) \rightarrow 0, t \rightarrow \infty$, а вторая стабилизируется, $x(t) \rightarrow \frac{k_2}{\varepsilon_2\lambda_2}, t \rightarrow \infty$. Наконец, если $\frac{k_1}{\varepsilon_1} = \frac{k_2}{\varepsilon_2} = \frac{k}{\varepsilon}$, то кроме неустойчивого узла $(0,0)$ имеем линию стационарных точек — отрезок прямой $\lambda_1x + \lambda_2y = \frac{k}{\varepsilon}$ (рис. 9.3).

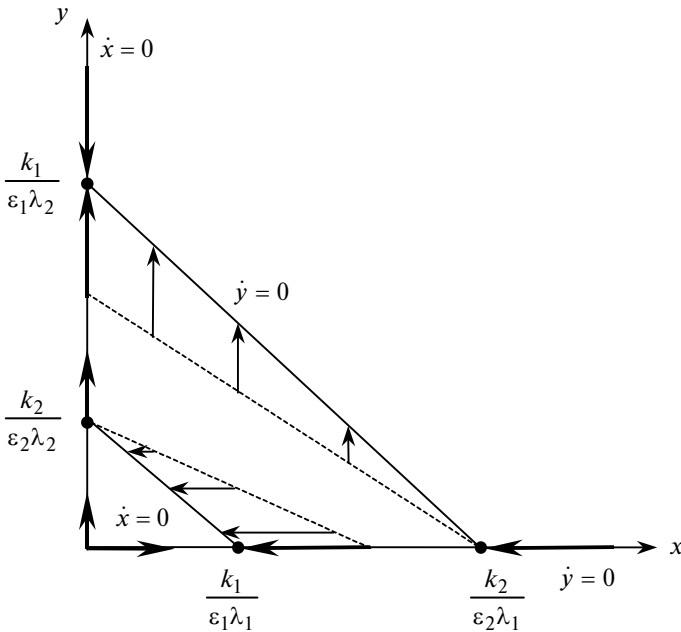


Рис. 9.3. Фазовый портрет динамической системы (9.10)

при условии $\left(\frac{k_1}{\epsilon_1} > \frac{k_2}{\epsilon_2}\right)$

В дальнейших рассмотрениях будем для простоты считать, что $k_1 = k_2 = k$ и $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon$. Тогда, деля второе уравнение системы

(9.10) на первое, получим $\frac{dy}{dx} = \frac{y}{x}$, откуда

$$y(t) = \frac{y_0}{x_0} x(t), \tag{9.12}$$

т. е. траекториями являются отрезки прямых, выходящих из начала координат (рис. 9.4). Обе популяции не вымирают и численность их стабилизируется к значениям, которые можно найти как координаты пересечения прямых $\lambda_1 x + \lambda_2 y = \frac{k}{\epsilon}$ и $y = \frac{y_0}{x_0} x$, откуда

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \frac{kx_0}{\epsilon(\lambda_1 x_0 + \lambda_2 y_0)}, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \frac{ky_0}{\epsilon(\lambda_1 x_0 + \lambda_2 y_0)}. \tag{9.13}$$

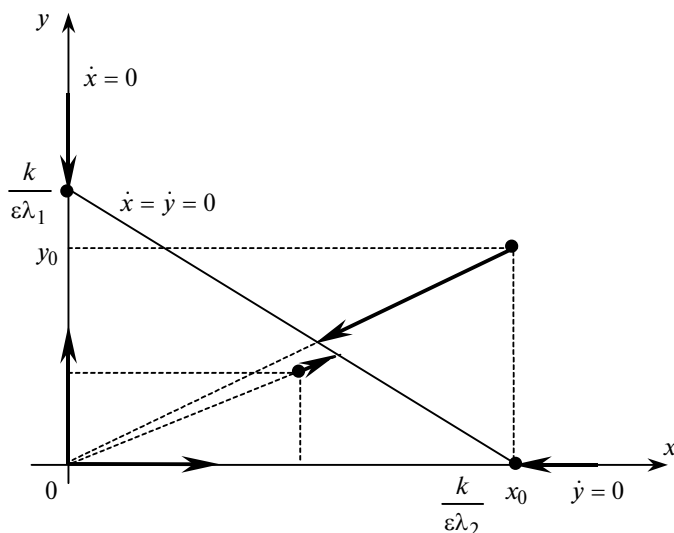


Рис. 9.4. Фазовый портрет динамической системы (9.10) при условиях $k_1 = k_2 = k$, $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$

9.3. Простейшая модель эпидемии

За многие годы существования человечества огромное число людей погибло от разных эпидемий. Для того чтобы уметь бороться с эпидемиями, т. е. своевременно проводить тот или иной комплекс мероприятий (прививки, вакцины, карантин и т.д.), необходимо уметь оценить эффективность каждого такого комплекса и выбрать наиболее оптимальный для данного вида эпидемии (холера, чума, грипп, СПИД и т.д.). Оценка эффективности базируется, как правило, на прогнозе о протекании эпидемии. Отсюда вытекает задача построения модели, которая могла бы служить целям прогноза. Самой простой моделью является описание естественного хода эпидемии без применения каких-либо профилактических мероприятий.

Итак, пусть имеется N здоровых людей, и в момент времени $t = 0$ в эту группу попадает один заболевший человек (источник инфекции). Предположим, что удаленные заболевших из группы

не происходит и человек становится источником инфекции сразу же, как заразился сам.

Обозначим через $x(t)$ число источников инфекции в момент времени t , а через $y(t)$ — число еще не заболевших (часть из них, естественно, может заболеть с течением времени). Очевидно, что $x(t) + y(t) = N + 1$ в любой момент времени t , причем при $t = 0$ выполняется условие $x(0) = 1$. Рассмотрим интервал времени $t, t + \Delta t$, где Δt достаточно мало. Естественно, что число больных Δx , появившихся за этот интервал, пропорционально Δt ($\Delta x \approx \Delta t$). Естественно также предположить, что это число пропорционально числу контактов между больными и здоровыми, т.е. произведению $x(t)y(t)$. Таким образом, $\Delta x \approx \alpha x(t)y(t)dt$, где α — коэффициент пропорциональности. Устремляя Δt к нулю из последнего соотношения, получим дифференциальное уравнение

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x(t)(N + 1 - x(t)), \quad (9.14)$$

которое вместе с начальным условием

$$x(0) = 1 \quad (9.15)$$

определяет функцию $x(t)$. Уравнение (9.14) по виду является логистическим, оно рассмотрено в предыдущем параграфе. Поэтому сразу можно записать решение $x(t)$ задачи Коши (9.14), (9.15) в удобном виде

$$x(t) = \frac{N + 1}{Ne^{-\alpha(N+1)t} + 1}, \quad t \geq 0. \quad (9.16)$$

Итак, число заболевших — функция времени. Проанализируем эту функцию. Из уравнения (9.16) вытекает, что с течением времени число заболевших может только увеличиваться, а все здоровые люди заболеют, так как $\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = N + 1$. Конечно,

это грубая модель, не учитывающая естественного иммунитета у здоровых людей к данному заболеванию.

Интересно выяснить, как меняется скорость увеличения числа больных, т. е. величина

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\alpha(N + 1)^2 e^{-\alpha(N+1)t}}{(Ne^{-\alpha(N+1)t} + 1)^2}, \quad t \geq 0. \quad (9.17)$$

Для решения этого вопроса нужно изучить величину $\frac{d^2x}{dt^2}$. Дифференцируя уравнение (9.17), получаем

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{\alpha^2(N+1)^3 e^{-\alpha(N+1)t} [Ne^{-\alpha(N+1)t} - 1]}{(Ne^{-\alpha(N+1)t} + 1)^3}, \quad t \geq 0. \quad (9.18)$$

Из этого уравнения вытекает, что $\frac{d^2x}{dt^2} > 0$ при $t \in \left(0, \frac{\ln N}{\alpha(N+1)}\right)$ и $\frac{d^2x}{dt^2} < 0$ при $t \in \left(\frac{\ln N}{\alpha(N+1)}, +\infty\right)$. Следовательно, скорость возрастания заболевших — функция $\frac{dx}{dt}$ — растет до момента $t = \frac{\ln N}{\alpha(N+1)}$, а затем убывает. Несмотря на грубость модели, этот

результат совпадает с экспериментальными данными: в начале эпидемии число заболевших резко возрастает, а впоследствии скорость распространения инфекции снижается.

Для сравнения приведем результаты использования более сложных моделей развития гриппозной эпидемии в Москве [22], где население составляет 8,5 млн человек. Это позволит нам также определить численные значения параметров N и α , при которых наша модель более реалистична.

Началу эпидемии соответствует число заболевших 79,1 тыс. человек, откуда $N = 8,5 \text{ млн} / 79,1 \text{ тыс.} \approx 1100$ человек. Пик заболеваемости приходится на 46-й день, т. е. $46\alpha = \frac{\ln 1100}{1101}$, откуда

$\alpha \approx \frac{7}{46 \cdot 1101} \approx 10^{-4}$. По формуле (9.16) находим число больных

$x(46) = \frac{1101}{1101e^{-5} + 1} = 125$. По отношению к 1100 чел. это составляет

11%, что согласуется с экспериментальными данными [22], где число больных равно 981 тыс. человек и составляет 11,5%. Конечно, применение соответствующих профилактических мер дает значительный положительный эффект, пик числа больных снижается с 981 тыс. до 122 тыс. человек, однако создание соответствующей математической модели — существенно более трудная задача.

9.4. Матричные модели

Матричную модель можно рассматривать как конечно-разностный аналог динамической модели. Один из ранних вариантов матричной модели был разработан Льюисом и Лесли [30] как детерминистская модель, предсказывающая будущую возрастную структуру популяции самок по известной структуре в настоящий момент времени и гипотетическим коэффициентам выживания и плодовитости. Популяцию разбивают на $n+1$ возрастную группу (т. е. $0, 1, 2, \dots, n$, причем каждая группа состоит из особей одного возраста), так что самая старшая группа, или группа, в которой все доживающие до данного возраста животные умирают, имеет номер n . Обозначая через x_n число особей в каждой возрастной группе, получаем вектор $\vec{a}_t = (x_{0t}, x_{1t}, \dots, x_{nt})$, представляющий возрастную структуру в момент времени t .

Модель описывается матричным уравнением

$$\vec{a}_{t+1} = A\vec{a}_t, \quad (9.19)$$

которое запишем в развернутом виде:

$$\begin{bmatrix} x_{0,t+1} \\ x_{1,t+1} \\ \vdots \\ \vdots \\ x_{n,t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & \dots & f_n \\ p_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & p_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & p_2 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \ddots & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & p_{n-1} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{0,t} \\ x_{1,t} \\ \vdots \\ \vdots \\ x_{n,t} \end{bmatrix}, \quad (9.20)$$

где величины f_i ($i = 0, 1, \dots, n$) представляет число самок, производимых самкой i -го возраста,

p_i ($i = 0, 1, \dots, n-1$) — вероятность того, что самка i -го возраста доживет до возраста $i+1$.

Покажем, что поведение модели можно предсказать, анализируя некоторые формальные свойства матрицы A . Во-первых, последовательно умножая уравнение (9.19) на матрицу A , легко получить более общие уравнения для численности возрастных групп к моменту времени $t_0 + k$:

$$\vec{a}_{t_0+k} = A^k \vec{a}_{t_0}. \quad (9.21)$$

Во-вторых, поскольку матрица A квадратная с $(n+1)$ строками и столбцами, она имеет $n+1$ собственных чисел (с учетом

кратности) и $(n+1)$ собственных (и присоединенных) векторов. Элементы A являются либо положительными числами, либо нулями, поэтому наибольшее (по абсолютной величине) собственное число и координаты отвечающего ему собственного вектора положительны и при этом имеют определенный экологический смысл. Проиллюстрируем это на одной из простейших моделей, предложенных Уильямсом [54].

Исходная популяция имеет вектор, представляющий возрастную структуру $a_0 = (0, 0, 1)$, т. е. популяция состоит из одной самки старшего возраста. Матрица A имеет вид:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 9 & 12 \\ \frac{1}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix}.$$

По прошествии одного временного интервала имеем

$$Aa_0 = \begin{bmatrix} 0 & 9 & 12 \\ \frac{1}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

т. е. $a_1 = (12, 0, 0)$ и в популяции уже будет 12 самок младшего возраста. Повторное применение модели дает следующие результаты:

$$Aa_1 = \begin{bmatrix} 0 & 9 & 12 \\ \frac{1}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 12 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 4 \\ 0 \end{bmatrix} = a_2, \quad Aa_2 = \begin{bmatrix} 0 & 9 & 12 \\ \frac{1}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 4 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 36 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix} = a_3,$$

$$Aa_3 = \begin{bmatrix} 0 & 9 & 12 \\ \frac{1}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 36 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 24 \\ 12 \\ 0 \end{bmatrix} = a_4,$$

и т.д.

Главное собственное число и собственный вектор матрицы A можно найти известными методами, имея

$$A\vec{v} = \lambda\vec{v} \quad (9.22)$$

или полагая $\vec{v} = (x, y, z)$ — систему линейных алгебраических уравнений

$$\left. \begin{aligned} 9y + 12z &= \lambda x \\ \frac{1}{3}x &= \lambda y \\ \frac{1}{2}y &= \lambda z \end{aligned} \right\} \quad (9.23)$$

определитель которой

$$\begin{vmatrix} -\lambda & 9 & 12 \\ \frac{1}{3} & -\lambda & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & -\lambda \end{vmatrix} = -\lambda^3 + 3\lambda + 2 = (2 - \lambda)(\lambda + 1)^2. \quad (9.24)$$

Следовательно, главное собственное число $\lambda_1 = 2$ и собственный вектор в силу (9.23) имеет вид $\vec{v}_1 = (24, 4, 1)$. Остальные собственные числа в силу (9.24) имеют вид $\lambda_2 = -1, \lambda_3 = -1$. В силу (9.23) собственный вектор \vec{v}_2 имеет вид $\vec{v}_2 = (6, -2, 1)$. Так как собственное число -1 двукратно, то для нахождения вектора \vec{v}_3 (называемого присоединенным), решаем систему уравнений $(A - \lambda_2)\vec{v}_3 = \vec{v}_2$:

$$\begin{bmatrix} 1 & 9 & 12 \\ \frac{1}{3} & 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 \\ -2 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (9.25)$$

Нетрудно проверить, что система (9.25) допускает решение $\vec{v}_3 = (0, -2, 2)$. Привлекая геометрические соображения, заключаем, что возрастная структура популяции представляется векто-

ром в трехмерном пространстве, в котором векторы $\vec{v}_1 = (24, 4, 2)$, $\vec{v}_2 = (6, -2, 1)$ и $\vec{v} = (0, -2, 2)$ — базисные, т. е.

$$\vec{a}_0 = \alpha_0 \vec{v}_1 + \beta_0 \vec{v}_2 + \gamma_0 \vec{v}_3, \tag{9.26}$$

где $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ — некоторые положительные числа (например, если $\vec{a}_0 = (258, 30, 17)$, то $\alpha_0 = 10, \beta_0 = 3$ и $\gamma_0 = 2$). Тогда уравнение (9.21) примет вид

$$\vec{a}_k = 2^k \alpha_0 \vec{v}_1 + \beta_0 \vec{v}_2 + k \gamma_0 \vec{v}_2 + \gamma_0 \vec{v}_3 = 2^k \left[\alpha_0 \vec{v}_1 + \frac{\beta_0 + k \gamma_0}{2^k} \vec{v}_2 + \frac{\gamma_0}{2^k} \vec{v}_3 \right]. \tag{9.27}$$

Так как $\frac{k}{2^k} \rightarrow 0, k \rightarrow \infty$, то при $t = +k \rightarrow \infty$ популяция возрастает по экспоненциальному закону

$$\vec{a}_{+k} \approx 2^k \alpha_0 \vec{v}_1. \tag{9.28}$$

Главное собственное число λ_1 дает скорость, с которой возрастает размер популяции (в нашем примере за каждый временной интервал популяция удваивается), а собственный вектор \vec{v}_1 определяет устойчивую возрастную структуру популяции, т. е. отношение численностей особей разных возрастных групп остается постоянным и равным 24:4:1. Нетрудно видеть, что если мы в конце каждого временного интервала будем изымать половину популяции и использовать на корм, то размер ее станет равным исходному \vec{a}_0 .

Матричные модели очень удобны для расчета на ЭВМ и находят все более широкое применение, например, для анализа круговорота питательных веществ в экосистемах, в различных стохастических моделях [54], (в марковских моделях и т.д.).

Контрольные задания



1. Показать, что график логистического уравнения имеет единственную точку перегиба. Найти ее и дать биологическую интерпретацию.

2. Рассмотреть систему Вольтерра в случае $\frac{k_1}{\varepsilon_1} = \frac{k_2}{\varepsilon_2}$. Найти

отношения $\frac{x_\infty}{x_0}$ и $\frac{y_\infty}{y_0}$.

3. Построить и исследовать модель эпидемии в городе с 300 тысячным населением.
4. Исходная популяция имеет следующую возрастную структуру $a_0 = (0, 6, 12)$ и матрица Лесли A — следующий вид:

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 18 & 18 \\ \frac{1}{6} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2}{3} & 0 \end{vmatrix}.$$

Найти (приблизительно) численность популяции через достаточно большое число n лет и ее устойчивую возрастную структуру.



Раздел 3

Моделирование в ЭКОЛОГИИ



В каждой естественной науке заключено столько истины, сколько в ней есть математики.

И. Кант

Глава 9. Динамические модели

Глава 10. Стохастические модели

**Глава 11. Оптимизационные и игровые
модели**

**Глава 12. Системный анализ и управ-
ление в экологии**

9

Динамические модели



9.1. Понятие моделирования

Прежде всего следует дать определение модели. Однако это не так просто, поэтому сначала приведем несколько примеров, поясняющих, что такое модель, а затем, когда некоторое интуитивное представление о понятии «модель» сформируется, дадим определение, а также коротко опишем математические методы, с которыми связано рассмотрение тех или иных моделей.

Исходным пунктом исследования, его отправной точкой, служит некоторая задача из той или иной предметной области (в данном случае из экологии или безопасности жизнедеятельности). Процесс построения модели называется *моделированием*. Существует несколько приемов моделирования, которые можно условно разделить на две большие группы: материальное и идеальное моделирование.

К *материальным* относятся такие способы моделирования, при которых исследование ведется по модели, воспроизводящей основные геометрические, физические, динамические и функциональные характеристики изучаемого объекта. Из разновидностей материального моделирования выделим физическое и аналоговое моделирование.

Физическим принято называть моделирование, при котором реальному объекту противопоставляется его уменьшенная (реже увеличенная) копия, допускающая лабораторное исследование и позволяющая переносить установленные свойства на реальный объект с помощью теории подобия. Типичный пример физического моделирования — исследование уменьшенной копии летательного аппарата в аэродинамической трубе.

Аналоговое моделирование основано на аналогии процессов и явлений, имеющих различную физическую природу, но описываемую формально (одними и теми же математиче-

скими уравнениями, логическими схемами и т.п.). Типичный пример — изучение механических колебаний с помощью электрической схемы. Другой пример — макет системы кровообращения, на котором стрелочками изображены направления движения крови.

По своей сути материальное (предметное) моделирование является экспериментальным.

От него принципиальным образом отличается *идеальное* моделирование, которое основано не на материальной аналогии объекта и модели, а на аналогии идеальной (мыслимой). Идеальное моделирование носит теоретический характер. Важнейшим его видом является математическое моделирование, при котором исследование объекта осуществляется посредством модели, сформулированной на языке математики и с использованием тех или иных математических методов. Классический пример математического моделирования — описание и исследование основных законов механики И. Ньютоном средствами математики.

Использование различных моделей и методологии моделирования необходимо для того, чтобы:

- понять, как устроен конкретный объект, каковы его структура, основные свойства, законы развития и взаимодействия с окружающим миром;
- научиться управлять объектом (процессом) и определить наилучшие способы управления при заданных целях и критериях;
- прогнозировать прямые и косвенные последствия реализации разных способов и форм воздействия на объект.

Хорошо построенная модель, как правило, дает новые знания об объекте-оригинале. Это, безусловно, очень важное свойство, стимулирующее развитие методов моделирования.

Более подробно о моделях и моделировании можно узнать из литературы, например [10]. Далее приведем несколько простейших моделей из экологии и безопасности жизнедеятельности.

9.2. Динамика популяций

В современной экологии часто возникает вопрос: как определить численность той или иной популяции через определенное время? Ответ на него не только представляет теоретический

интерес, но и имеет большое практическое значение. Действительно, не зная этого, нельзя правильно планировать эксплуатацию различных возобновляемых природных ресурсов — промысловых рыб, охотничьих угодий и т.п. Может ли в решении этого вопроса помочь математика? Оказывается, да. Рассмотрим здесь некоторые простейшие модели, на которых проиллюстрируем подход к данному вопросу.

Пусть некоторая популяция имеет в момент времени t_0 биомассу x_0 . Предположим, что в каждый момент времени скорость увеличения биомассы пропорциональна уже имеющейся биомассе, а возникающие явления конкуренции за источниками питания и самоотравления снижают биомассу пропорционально квадрату наличной биомассы. Если обозначить биомассу в момент времени t через $x(t)$, а изменение ее за время Δt через Δx , то можно записать следующее приближенное равенство:

$$\Delta x \approx (kx - \alpha x^2)\Delta t, \quad (9.1)$$

где α и k — положительные постоянные (параметры).

В дифференциальной форме это соотношение имеет вид:

$$\frac{dx}{dt} = kx - \alpha x^2. \quad (9.2)$$

Оно и представляет собой математическую модель процесса изменения биомассы популяций. В экологической литературе уравнение (9.2) часто называют *логистическим*.

Если теперь поставить вопрос о том, какова же будет биомасса в момент времени T , то на него можно ответить экспериментально — дождаться этого момента и определить биомассу непосредственным измерением (вообще говоря, такое измерение может быть физически неосуществимым).

Другой путь — воспользоваться математической моделью, решая задачу Коши для уравнения (9.2) с начальным условием (9.3):

$$x(t_0) = x_0. \quad (9.3)$$

Разделяя в уравнении (9.2) переменные, получим уравнение в дифференциалах

$$\frac{dx}{x(k - \alpha x)} = dt. \quad (9.4)$$

Для дальнейшего удобно ввести новую переменную

$$z = \alpha x, \quad (9.5)$$

тогда (9.4) можно переписать в виде

$$\frac{dz}{z} + \frac{dz}{k-z} = kdt. \quad (9.6)$$

Возвращаясь к исходному уравнению (9.2), заметим, что если $x_0 = \frac{k}{\alpha}$ (т. е. $z_0 = k$), то задача Коши имеет решение $x(t) \equiv x_0$

(рис. 9.1). Если $x_0 < \frac{k}{\alpha}$ ($z_0 < k$), то уравнение (9.6) интегрируется следующим образом

$$\ln z - \ln(k-z) = \ln z_0 - \ln(k-z_0) + k(t-t_0),$$

откуда

$$\frac{z}{k-z} = \frac{z_0}{k-z_0} e^{k(t-t_0)}, \quad (9.7)$$

значит,

$$x(t) = \frac{kx_0 e^{k(t-t_0)}}{(k + \alpha x_0 (e^{k(t-t_0)} - 1))^2}, \quad t > 0. \quad (9.8)$$

Если $x_0 > \frac{k}{\alpha}$, то аналогично предыдущему случаю снова получаем формулу (9.8). Дифференцируя (9.8) по t , имеем

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\alpha k x_0 (\frac{k}{\alpha} - x_0) e^{k(t-t_0)}}{(k + \alpha x_0 (e^{k(t-t_0)} - 1))^2}, \quad (9.9)$$

откуда вытекает, что при $x_0 < \frac{k}{\alpha}$ график функции $x(t)$ монотонно возрастает, а при $x_0 > \frac{k}{\alpha}$ — монотонно убывает, причем оба

графика имеют горизонтальную асимптоту $x = \frac{k}{\alpha}$ (рис. 9.1). Мы не приводим здесь элементарную, но громоздкую формулу второй производной d^2x/dt^2 , показывающую, что верхний и нижний графики имеют по одной точке перегиба.

Мы рассмотрели весьма упрощенную ситуацию, так как предполагали, что популяция не взаимодействует ни с какими другими популяциями, учет же этого обстоятельства, конечно, значительно усложняет модель.

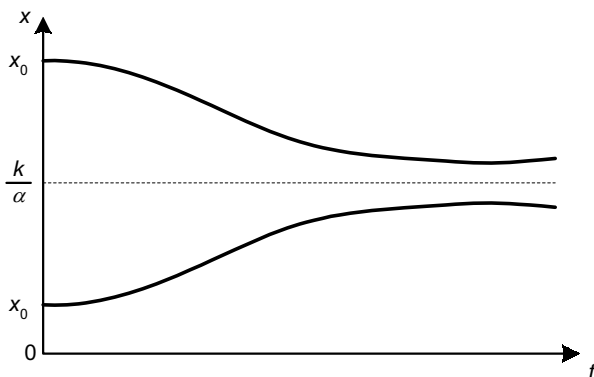


Рис. 9.1. Зависимость биомассы от времени для различных значений параметров k , α и x_0

Рассмотрим одну из таких моделей. Будем обозначать биомассы двух популяций через x и y соответственно. Предположим, что обе популяции потребляют один и тот же корм, количество которого ограничено, и из-за этого находятся в конкурентной борьбе друг с другом.

Французский математик В. Вольтерра в 1926 г. показал, что при таком предположении динамика популяций достаточно хорошо описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= k_1 x - \varepsilon_1 x (\lambda_1 x + \lambda_2 y) x \\ \frac{dy}{dt} &= k_2 y - \varepsilon_2 y (\lambda_1 x + \lambda_2 y) y \end{aligned} \right\}, \quad (9.10)$$

где $k_1, k_2, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \lambda_1, \lambda_2$ — определенные положительные числа.

Первые члены правых частей системы (9.10) характеризуют скорость роста популяций при отсутствии ограничивающих факторов. Вторые члены учитывают те изменения в скоростях, которые вызываются ограниченностью корма.

Задавая различные значения параметров, с помощью системы (9.10) можно описать взаимодействие двух популяций, одна из которых — хищник, а другая — жертва [36]. В литературе [47] более подробно описаны математические аспекты исследования системы (9.10).

Прежде чем исследовать, как будет вести себя система (9.10), заметим, что в любой момент времени t ее состояние полностью описывается значениями x и y : каждому состоянию системы соответствует некоторая точка (x, y) на плоскости xOy , называемой «фазовой плоскостью». Каждой точке фазовой плоскости можно поставить в соответствие вектор (стрелку на рис. 9.2) с координатами, которые являются правыми частями системы, указывающий направление движения в этой точке. Проведя из начальной точки линии, касательные этим векторам, получим траектории, по которым будет происходить движение системы, т. е. решения задачи Коши для системы (9.10) с начальными условиями

$$x(t_0) = x_0, \quad y(t_0) = y_0, \quad (x_0, y_0) \in xOy. \quad (9.11)$$

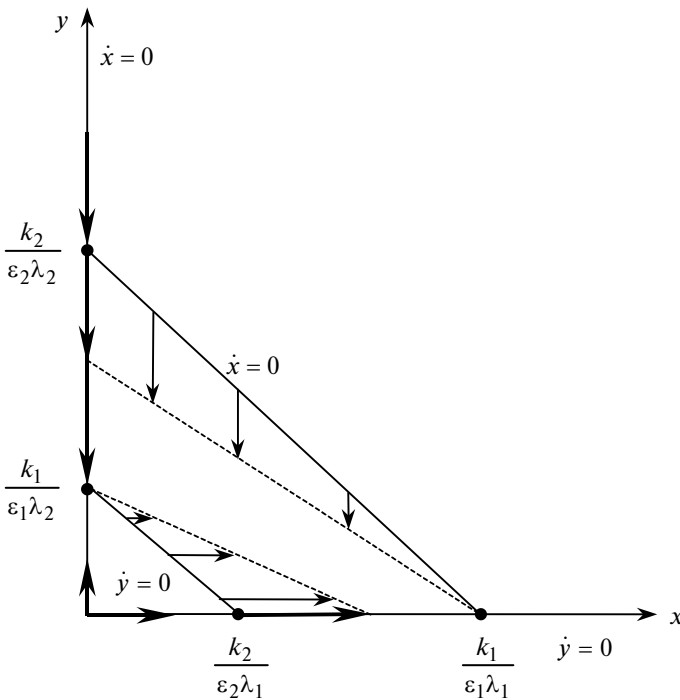


Рис. 9.2. Фазовый портрет динамической системы (9.10)

при условии $\frac{k_1}{\epsilon_1} < \frac{k_2}{\epsilon_2}$

Чтобы составить представление о траекториях движения системы, построим линии, на которых $\dot{x} = 0$ (здесь векторы параллельны оси Oy) и $\dot{y} = 0$ (здесь векторы параллельны оси Ox). Для краткости обозначим производную $\frac{dx}{dt}$ через \dot{x} , а $\frac{dy}{dt}$ через \dot{y} . Имеем

$$\dot{x} = 0, \text{ когда } k_1x - \varepsilon_1(\lambda_1x + \lambda_2y)x = 0,$$

$$\dot{y} = 0, \text{ когда } k_2x - \varepsilon_2(\lambda_1x + \lambda_2y)y = 0,$$

т. е. $\dot{x} = 0$ на двух прямых в фазовой плоскости:

$$x = 0 \text{ и } \lambda_1x + \lambda_2y = \frac{k_1}{\varepsilon_1},$$

а $y = 0$ также на двух прямых:

$$y = 0 \text{ и } \lambda_1x + \lambda_2y = \frac{k_2}{\varepsilon_2} \text{ (рис. 9.2, 9.3).}$$

По этим рисункам можно сделать следующие выводы. В обоих случаях имеем три стационарные точки, в которых одновременно $\dot{x} = 0$ и $\dot{y} = 0$, а именно: $(0,0)$, $(0, \frac{k_1}{\varepsilon_1\lambda_1})$ и $(0, \frac{k_2}{\varepsilon_2\lambda_2})$, которые по известной классификации являются узлами. При этом, если $\frac{k_1}{\varepsilon_1} > \frac{k_2}{\varepsilon_2}$ (рис. 9.2), то устойчивым является только узел $(\frac{k_1}{\varepsilon_1\lambda_1}, 0)$, а если $\frac{k_1}{\varepsilon_1} < \frac{k_2}{\varepsilon_2}$ (рис. 9.3), то узел $(0, \frac{k_2}{\varepsilon_2\lambda_2})$. Таким образом, если $\frac{k_1}{\varepsilon_1} > \frac{k_2}{\varepsilon_2}$, то вторая популяция вымирает, $y(t) \rightarrow 0, t \rightarrow \infty$, а первая стабилизируется, $x(t) \rightarrow \frac{k_1}{\varepsilon_1\lambda_1}, t \rightarrow \infty$. Если же $\frac{k_1}{\varepsilon_1} < \frac{k_2}{\varepsilon_2}$, то имеем обратную картину: первая популяция вымирает, $x(t) \rightarrow 0, t \rightarrow \infty$, а вторая стабилизируется, $x(t) \rightarrow \frac{k_2}{\varepsilon_2\lambda_2}, t \rightarrow \infty$. Наконец, если $\frac{k_1}{\varepsilon_1} = \frac{k_2}{\varepsilon_2} = \frac{k}{\varepsilon}$, то кроме неустойчивого узла $(0,0)$ имеем линию стационарных точек — отрезок прямой $\lambda_1x + \lambda_2y = \frac{k}{\varepsilon}$ (рис. 9.3).

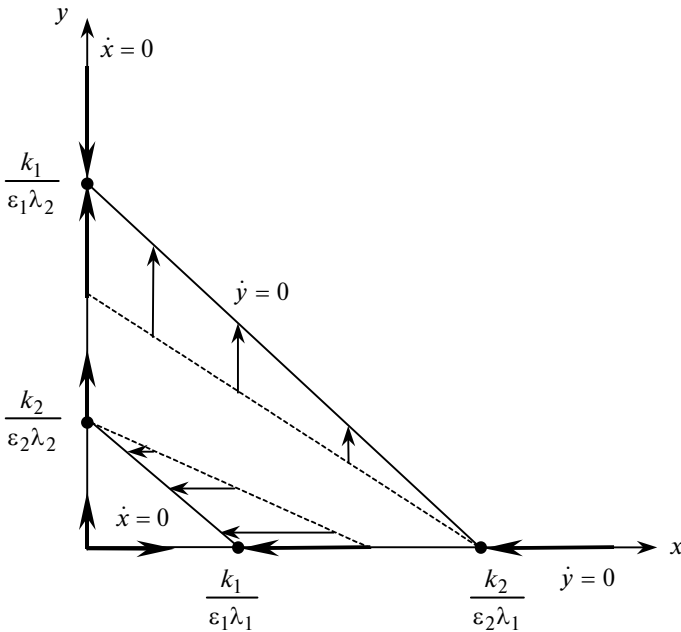


Рис. 9.3. Фазовый портрет динамической системы (9.10)

при условии $\left(\frac{k_1}{\epsilon_1} > \frac{k_2}{\epsilon_2}\right)$

В дальнейших рассмотрениях будем для простоты считать, что $k_1 = k_2 = k$ и $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon$. Тогда, деля второе уравнение системы

(9.10) на первое, получим $\frac{dy}{dx} = \frac{y}{x}$, откуда

$$y(t) = \frac{y_0}{x_0} x(t), \tag{9.12}$$

т. е. траекториями являются отрезки прямых, выходящих из начала координат (рис. 9.4). Обе популяции не вымирают и численность их стабилизируется к значениям, которые можно найти как координаты пересечения прямых $\lambda_1 x + \lambda_2 y = \frac{k}{\epsilon}$ и $y = \frac{y_0}{x_0} x$, откуда

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \frac{kx_0}{\epsilon(\lambda_1 x_0 + \lambda_2 y_0)}, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \frac{ky_0}{\epsilon(\lambda_1 x_0 + \lambda_2 y_0)}. \tag{9.13}$$

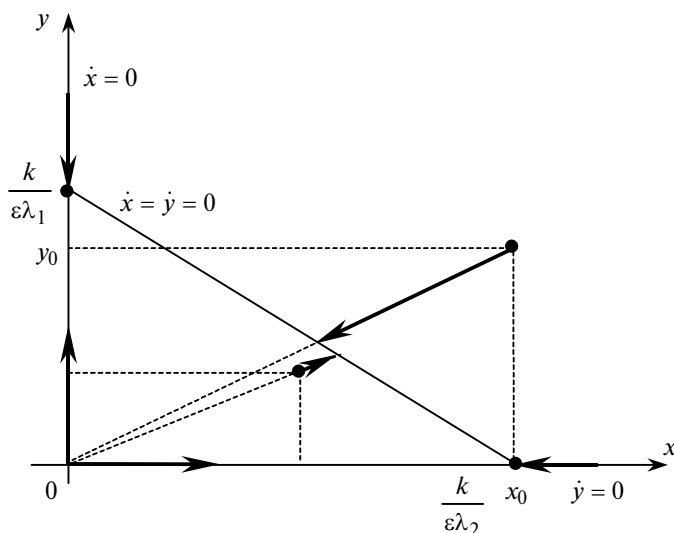


Рис. 9.4. Фазовый портрет динамической системы (9.10) при условиях $k_1 = k_2 = k$, $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$

9.3. Простейшая модель эпидемии

За многие годы существования человечества огромное число людей погибло от разных эпидемий. Для того чтобы уметь бороться с эпидемиями, т. е. своевременно проводить тот или иной комплекс мероприятий (прививки, вакцины, карантин и т.д.), необходимо уметь оценить эффективность каждого такого комплекса и выбрать наиболее оптимальный для данного вида эпидемии (холера, чума, грипп, СПИД и т.д.). Оценка эффективности базируется, как правило, на прогнозе о протекании эпидемии. Отсюда вытекает задача построения модели, которая могла бы служить целям прогноза. Самой простой моделью является описание естественного хода эпидемии без применения каких-либо профилактических мероприятий.

Итак, пусть имеется N здоровых людей, и в момент времени $t = 0$ в эту группу попадает один заболевший человек (источник инфекции). Предположим, что удаленные заболевших из группы

не происходит и человек становится источником инфекции сразу же, как заразился сам.

Обозначим через $x(t)$ число источников инфекции в момент времени t , а через $y(t)$ — число еще не заболевших (часть из них, естественно, может заболеть с течением времени). Очевидно, что $x(t) + y(t) = N + 1$ в любой момент времени t , причем при $t = 0$ выполняется условие $x(0) = 1$. Рассмотрим интервал времени $t, t + \Delta t$, где Δt достаточно мало. Естественно, что число больных Δx , появившихся за этот интервал, пропорционально Δt ($\Delta x \approx \Delta t$). Естественно также предположить, что это число пропорционально числу контактов между больными и здоровыми, т.е. произведению $x(t)y(t)$. Таким образом, $\Delta x \approx \alpha x(t)y(t)dt$, где α — коэффициент пропорциональности. Устремляя Δt к нулю из последнего соотношения, получим дифференциальное уравнение

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x(t)(N + 1 - x(t)), \quad (9.14)$$

которое вместе с начальным условием

$$x(0) = 1 \quad (9.15)$$

определяет функцию $x(t)$. Уравнение (9.14) по виду является логистическим, оно рассмотрено в предыдущем параграфе. Поэтому сразу можно записать решение $x(t)$ задачи Коши (9.14), (9.15) в удобном виде

$$x(t) = \frac{N + 1}{Ne^{-\alpha(N+1)t} + 1}, \quad t \geq 0. \quad (9.16)$$

Итак, число заболевших — функция времени. Проанализируем эту функцию. Из уравнения (9.16) вытекает, что с течением времени число заболевших может только увеличиваться, а все здоровые люди заболеют, так как $\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = N + 1$. Конечно, это грубая модель, не учитывающая естественного иммунитета у здоровых людей к данному заболеванию.

Интересно выяснить, как меняется скорость увеличения числа больных, т. е. величина

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\alpha(N + 1)^2 e^{-\alpha(N+1)t}}{(Ne^{-\alpha(N+1)t} + 1)^2}, \quad t \geq 0. \quad (9.17)$$

Для решения этого вопроса нужно изучить величину $\frac{d^2x}{dt^2}$. Дифференцируя уравнение (9.17), получаем

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{\alpha^2(N+1)^3 e^{-\alpha(N+1)t} [Ne^{-\alpha(N+1)t} - 1]}{(Ne^{-\alpha(N+1)t} + 1)^3}, \quad t \geq 0. \quad (9.18)$$

Из этого уравнения вытекает, что $\frac{d^2x}{dt^2} > 0$ при $t \in \left(0, \frac{\ln N}{\alpha(N+1)}\right)$ и $\frac{d^2x}{dt^2} < 0$ при $t \in \left(\frac{\ln N}{\alpha(N+1)}, +\infty\right)$. Следовательно, скорость возрастания заболевших — функция $\frac{dx}{dt}$ — растет до момента

$t = \frac{\ln N}{\alpha(N+1)}$, а затем убывает. Несмотря на грубость модели, этот результат совпадает с экспериментальными данными: в начале эпидемии число заболевших резко возрастает, а впоследствии скорость распространения инфекции снижается.

Для сравнения приведем результаты использования более сложных моделей развития гриппозной эпидемии в Москве [22], где население составляет 8,5 млн человек. Это позволит нам также определить численные значения параметров N и α , при которых наша модель более реалистична.

Началу эпидемии соответствует число заболевших 79,1 тыс. человек, откуда $N = 8,5 \text{ млн} / 79,1 \text{ тыс.} \approx 1100$ человек. Пик заболеваемости приходится на 46-й день, т. е. $46\alpha = \frac{\ln 1100}{1101}$, откуда

$\alpha \approx \frac{7}{46 \cdot 1101} \approx 10^{-4}$. По формуле (9.16) находим число больных

$x(46) = \frac{1101}{1101e^{-5} + 1} = 125$. По отношению к 1100 чел. это составляет

11%, что согласуется с экспериментальными данными [22], где число больных равно 981 тыс. человек и составляет 11,5%. Конечно, применение соответствующих профилактических мер дает значительный положительный эффект, пик числа больных снижается с 981 тыс. до 122 тыс. человек, однако создание соответствующей математической модели — существенно более трудная задача.

9.4. Матричные модели

Матричную модель можно рассматривать как конечно-разностный аналог динамической модели. Один из ранних вариантов матричной модели был разработан Льюисом и Лесли [30] как детерминистская модель, предсказывающая будущую возрастную структуру популяции самок по известной структуре в настоящий момент времени и гипотетическим коэффициентам выживания и плодовитости. Популяцию разбивают на $n+1$ возрастную группу (т. е. $0, 1, 2, \dots, n$, причем каждая группа состоит из особей одного возраста), так что самая старшая группа, или группа, в которой все доживающие до данного возраста животные умирают, имеет номер n . Обозначая через x_n число особей в каждой возрастной группе, получаем вектор $\vec{a}_t = (x_{0t}, x_{1t}, \dots, x_{nt})$, представляющий возрастную структуру в момент времени t .

Модель описывается матричным уравнением

$$\vec{a}_{t+1} = A\vec{a}_t, \quad (9.19)$$

которое запишем в развернутом виде:

$$\begin{bmatrix} x_{0,t+1} \\ x_{1,t+1} \\ \vdots \\ \vdots \\ x_{n,t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & \dots & f_n \\ p_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & p_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & p_2 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \ddots & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & p_{n-1} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{0,t} \\ x_{1,t} \\ \vdots \\ \vdots \\ x_{n,t} \end{bmatrix}, \quad (9.20)$$

где величины f_i ($i = 0, 1, \dots, n$) представляет число самок, производимых самкой i -го возраста,

p_i ($i = 0, 1, \dots, n-1$) — вероятность того, что самка i -го возраста доживет до возраста $i+1$.

Покажем, что поведение модели можно предсказать, анализируя некоторые формальные свойства матрицы A . Во-первых, последовательно умножая уравнение (9.19) на матрицу A , легко получить более общие уравнения для численности возрастных групп к моменту времени $t_0 + k$:

$$\vec{a}_{t_0+k} = A^k \vec{a}_{t_0}. \quad (9.21)$$

Во-вторых, поскольку матрица A квадратная с $(n+1)$ строками и столбцами, она имеет $n+1$ собственных чисел (с учетом

кратности) и $(n+1)$ собственных (и присоединенных) векторов. Элементы A являются либо положительными числами, либо нулями, поэтому наибольшее (по абсолютной величине) собственное число и координаты отвечающего ему собственного вектора положительны и при этом имеют определенный экологический смысл. Проиллюстрируем это на одной из простейших моделей, предложенных Уильямсом [54].

Исходная популяция имеет вектор, представляющий возрастную структуру $a_0 = (0, 0, 1)$, т. е. популяция состоит из одной самки старшего возраста. Матрица A имеет вид:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 9 & 12 \\ \frac{1}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix}.$$

По прошествии одного временного интервала имеем

$$Aa_0 = \begin{bmatrix} 0 & 9 & 12 \\ \frac{1}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

т. е. $a_1 = (12, 0, 0)$ и в популяции уже будет 12 самок младшего возраста. Повторное применение модели дает следующие результаты:

$$Aa_1 = \begin{bmatrix} 0 & 9 & 12 \\ \frac{1}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 12 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 4 \\ 0 \end{bmatrix} = a_2, \quad Aa_2 = \begin{bmatrix} 0 & 9 & 12 \\ \frac{1}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 4 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 36 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix} = a_3,$$

$$Aa_3 = \begin{bmatrix} 0 & 9 & 12 \\ \frac{1}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 36 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 24 \\ 12 \\ 0 \end{bmatrix} = a_4,$$

и т.д.

Главное собственное число и собственный вектор матрицы A можно найти известными методами, имея

$$A\vec{v} = \lambda\vec{v} \quad (9.22)$$

или полагая $\vec{v} = (x, y, z)$ — систему линейных алгебраических уравнений

$$\left. \begin{aligned} 9y + 12z &= \lambda x \\ \frac{1}{3}x &= \lambda y \\ \frac{1}{2}y &= \lambda z \end{aligned} \right\} \quad (9.23)$$

определитель которой

$$\begin{vmatrix} -\lambda & 9 & 12 \\ \frac{1}{3} & -\lambda & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & -\lambda \end{vmatrix} = -\lambda^3 + 3\lambda + 2 = (2 - \lambda)(\lambda + 1)^2. \quad (9.24)$$

Следовательно, главное собственное число $\lambda_1 = 2$ и собственный вектор в силу (9.23) имеет вид $\vec{v}_1 = (24, 4, 1)$. Остальные собственные числа в силу (9.24) имеют вид $\lambda_2 = -1, \lambda_3 = -1$. В силу (9.23) собственный вектор \vec{v}_2 имеет вид $\vec{v}_2 = (6, -2, 1)$. Так как собственное число -1 двукратно, то для нахождения вектора \vec{v}_3 (называемого присоединенным), решаем систему уравнений $(A - \lambda_2)\vec{v}_3 = \vec{v}_2$:

$$\begin{bmatrix} 1 & 9 & 12 \\ \frac{1}{3} & 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 \\ -2 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (9.25)$$

Нетрудно проверить, что система (9.25) допускает решение $\vec{v}_3 = (0, -2, 2)$. Привлекая геометрические соображения, заключаем, что возрастная структура популяции представляется векто-

ром в трехмерном пространстве, в котором векторы $\vec{v}_1 = (24, 4, 2)$, $\vec{v}_2 = (6, -2, 1)$ и $\vec{v} = (0, -2, 2)$ — базисные, т. е.

$$\vec{a}_0 = \alpha_0 \vec{v}_1 + \beta_0 \vec{v}_2 + \gamma_0 \vec{v}_3, \tag{9.26}$$

где $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ — некоторые положительные числа (например, если $\vec{a}_0 = (258, 30, 17)$, то $\alpha_0 = 10, \beta_0 = 3$ и $\gamma_0 = 2$). Тогда уравнение (9.21) примет вид

$$\vec{a}_k = 2^k \alpha_0 \vec{v}_1 + \beta_0 \vec{v}_2 + k \gamma_0 \vec{v}_2 + \gamma_0 \vec{v}_3 = 2^k \left[\alpha_0 \vec{v}_1 + \frac{\beta_0 + k \gamma_0}{2^k} \vec{v}_2 + \frac{\gamma_0}{2^k} \vec{v}_3 \right]. \tag{9.27}$$

Так как $\frac{k}{2^k} \rightarrow 0, k \rightarrow \infty$, то при $t = +k \rightarrow \infty$ популяция возрастает по экспоненциальному закону

$$\vec{a}_{+k} \approx 2^k \alpha_0 \vec{v}_1. \tag{9.28}$$

Главное собственное число λ_1 дает скорость, с которой возрастает размер популяции (в нашем примере за каждый временной интервал популяция удваивается), а собственный вектор \vec{v}_1 определяет устойчивую возрастную структуру популяции, т. е. отношение численностей особей разных возрастных групп остается постоянным и равным 24:4:1. Нетрудно видеть, что если мы в конце каждого временного интервала будем изымать половину популяции и использовать на корм, то размер ее станет равным исходному \vec{a}_0 .

Матричные модели очень удобны для расчета на ЭВМ и находят все более широкое применение, например, для анализа круговорота питательных веществ в экосистемах, в различных стохастических моделях [54], (в марковских моделях и т.д.).

Контрольные задания



1. Показать, что график логистического уравнения имеет единственную точку перегиба. Найти ее и дать биологическую интерпретацию.
2. Рассмотреть систему Вольтерра в случае $\frac{k_1}{\varepsilon_1} = \frac{k_2}{\varepsilon_2}$. Найти

отношения $\frac{x_\infty}{x_0}$ и $\frac{y_\infty}{y_0}$.

3. Построить и исследовать модель эпидемии в городе с 300 тысячным населением.
4. Исходная популяция имеет следующую возрастную структуру $a_0 = (0, 6, 12)$ и матрица Лесли A — следующий вид:

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 18 & 18 \\ \frac{1}{6} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2}{3} & 0 \end{vmatrix}.$$

Найти (приблизительно) численность популяции через достаточно большое число n лет и ее устойчивую возрастную структуру.

10

Стохастические модели



10.1. Случайные процессы при описании популяций

Рассматриваемые выше модели — детерминистские. Это должно иметь какие-то основания, которые мы и попытаемся сейчас обсудить.

Если речь идет о динамике популяций, то можно выделить по крайней мере два аспекта, по которым детерминистская модель не может служить точным отражением реальной экологической системы: во-первых, она допускает бесконечно большую численность популяции; во-вторых, не учитывает случайных колебаний, происходящих в среде во времени.

В качестве примера детерминистской экологической модели рассмотрим уравнение

$$\frac{dN}{dt} = aN, \quad (10.1)$$

где N — число особей в момент времени t ,
 a — истинная скорость роста.

Решением этого уравнения, удовлетворяющим начальному условию

$$N(0) = N_0, \quad (10.2)$$

является функция

$$N(t) = N_0 e^{at} \quad (10.3)$$

(так называемый закон Мальтуса — закон роста популяции без конкуренции). В основе главного допущения здесь лежит то, что за короткий промежуток времени t каждая особь порождает $a\Delta t$ новых особей.

В соответствующей стохастической модели принимается более правдоподобное допущение, согласно которому за период Δt одна особь с вероятностью λ производит одного потомка и с вероятностью $\mu\Delta t$ умирает. Обозначим через $p_i(t)$ вероятность того, что в момент времени t численность популяции равна i , $i = 0, 1, 2, \dots$. Рассмотрим величину $p_i(t + \Delta t)$. В силу малости Δt можно считать, что численность популяции останется прежней, равной i , в результате трех независимых событий — появления потомков в популяции с численностью $i-1$, отсутствия случаев рождения и смерти в популяции с численностью i и смерти в популяции с численностью $i+1$. При этом вероятность $p_i(t + \Delta t)$ равна сумме вероятностей этих событий:

$$p_i(t + \Delta t) = (i-1)\lambda p_{i-1}(t)\Delta t + (1 - i(\lambda + \mu))p_i(t)\Delta t + (i+1)\mu p_{i+1}(t)\Delta t,$$

откуда

$$\frac{p_i(t + \Delta t) - p_i(t)}{\Delta t} = (i-1)\lambda p_{i-1}(t) - i(\lambda + \mu)p_i(t) + (i+1)\mu p_{i+1}(t).$$

Переходя в полученном соотношении к пределу при $t \rightarrow \infty$, получим систему уравнений Колмогорова

$$p'_i(t) = (i-1)\lambda p_{i-1}(t) - i(\lambda + \mu)p_i(t) + (i+1)\mu p_{i+1}(t). \quad (10.4)$$

В виде (10.4) уравнения справедливы при $i = 2, 3, 4, \dots$. При $i = 1$ из (10.4) получаем уравнение

$$p'_1(t) = -(\lambda + \mu)p_1(t) + 2\mu p_2(t), \quad (10.5)$$

а при $i = 0$ — уравнение

$$p'_0(t) = \mu p_1(t) \quad (10.6)$$

(естественно считать, что $p_{-1}(t) \equiv 0$).

Если в начальный момент времени $t=0$ в популяции имелось N_0 особей, то начальные условия для системы обыкновенных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами (10.4)—(10.6) имеют вид:

$$p_{N_0}(0) = 1, \quad p_i(0) = 0, \quad i \neq N_0. \quad (10.7)$$

Рассматриваемый процесс гибели и рождения является случайным процессом (классическим примером цепей Маркова [17]), а само решение задачи (10.4)—(10.7) можно получить стандартными методами теории обыкновенных дифференциальных уравнений (см., например, [47]). Нас интересуют следующие

щие вероятностные характеристики: ожидаемое значение, т. е. среднее значение популяции в момент времени t

$$N(t) = \sum_{i=1}^{\infty} i p_i(t) \quad (10.8)$$

и вариация (дисперсия), т. е. среднее квадратичное отклонение от $N(t)$

$$\text{var}(N) = \sum_{i=1}^n (i - N(t))^2 p_i(t). \quad (10.9)$$

Для вычисления $N(t)$ заметим, что из уравнения (10.5) и первого уравнения из (10.4) вытекает

$$p_1'(t) + 2p_2'(t) = (\lambda - \mu)(p_1(t) + 2p_2(t)) + 3\mu p_3(t).$$

Продолжая этот процесс сложения, получим

$$\sum_{i=1}^{\infty} i p_i'(t) = N'(t) = (\lambda - \mu) \sum_{i=1}^{\infty} i p_i(t) = (\lambda - \mu) N(t),$$

т. е. обыкновенное дифференциальное уравнение

$$N'(t) = (\lambda - \mu) N(t) \quad (10.10)$$

с начальным условием (10.7)

$$N(0) = \sum_{i=1}^{\infty} i p_i(0) = N_0. \quad (10.11)$$

Решение его, очевидно, равно

$$N(t) = N_0 e^{(\lambda - \mu)t}, \quad (10.12)$$

в частности, при $\lambda > \mu$ численность популяции экспоненциально возрастет (при $\lambda = \mu + a$ определяется уравнением (10.3)), а при $\lambda < \mu$ экспоненциально убывает при $t \rightarrow \infty$. Аналогично (см. [17]) вычисляется вариация

$$\text{var}(N) = N_0 \frac{\lambda + \mu}{\lambda - \mu} e^{2(\lambda - \mu)t} (1 - e^{-(\lambda - \mu)t}), \quad (10.13)$$

откуда при $\lambda > \mu$ для коэффициента вариации получаем выражение

$$\frac{1}{N(t)} (\text{var}(N))^{1/2} = \sqrt{\frac{\lambda + \mu}{\lambda - \mu} \cdot \frac{1}{N_0} (1 - e^{-(\lambda - \mu)t})}, \quad (10.14)$$

которое при $t \rightarrow \infty$ стремится к величине $\sqrt{\frac{\lambda + \mu}{\lambda - \mu} \cdot \frac{1}{N_0}}$. Следовательно, при достаточно больших начальных значениях популяции N_0

среднее квадратичное отклонение от $N(t)$ является равномерно малым, и детерминистская модель дает адекватное представление о поведении популяции при больших значениях времени.

10.2. Случайные изменения среды

Рассмотрим теперь модель, учитывающую случайные изменения среды. Простейшая модель, соответствующая уравнению (10.1), имеет вид

$$\frac{dN}{dt} = [a + y(t)]N, \quad (10.15)$$

$$N(0) = N_0, \quad (10.16)$$

где $y(t)$ — случайная величина со средним значением, равным нулю. Решение задачи (уравнения (10.15) при условии (10.16)) имеет вид

$$N(t) = N_0 e^{at + \int_0^t y(\tau) d\tau}. \quad (10.17)$$

Чтобы придать смысл интегралу $\int_0^t y(\tau) d\tau$ от случайной величины $y(t)$, сделаем некоторые упрощающие предположения. Будем считать, что $y(t)$ — ступенчатая функция: $y(t) = y_i$ при $i-1 \leq t \leq i$, $i = 1, 2, \dots$, при этом все случайные величины y_i имеют нормальное распределение [6]. Нормальный закон распределения (часто называемый законом Гаусса) наиболее часто встречается на практике. Большинство встречающихся на практике случайных величин, таких, например, как ошибки измерений, могут быть представлены как суммы большого числа сравнительно малых слагаемых — элементарных ошибок, каждая из которых вызвана действием отдельной причины, не зависящей от остальных. Каким бы законом распределения ни были подчинены элементарные ошибки, особенности этих распределений в сумме большого числа слагаемых нивелируются, а сумма оказывается подчиненной закону, близкому к нормальному. Например, проводя измерения длины листьев, упавших с деревьев в лесу, мы имеем случайную величину X — длину листьев. Вероятность того, что $X < x$, т. е. $P = \{X < x\}$, называется

функцией распределения случайной величины и обозначается через $F(x)$, а ее производная $F'(x) = f(x)$ называется плотностью распределения и в случае нормального закона распределения имеет вид (рис. 10.1)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}. \tag{10.18}$$

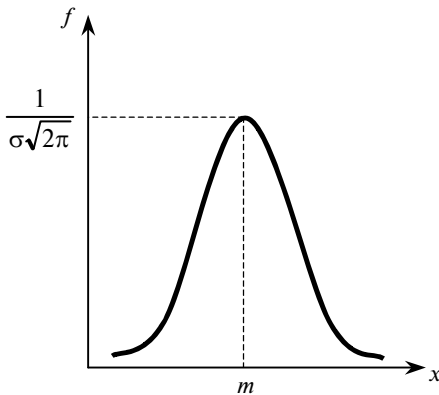


Рис. 10.1. График плотности распределения по нормальному закону

Численные параметры m и σ — это математическое ожидание (среднее значение) и среднее квадратичное отклонение случайной величины X . Действительно,

$$\begin{aligned} M[X] &= \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx = \\ &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} x e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx. \end{aligned}$$

Применяя замену переменной $\frac{x-m}{\sigma\sqrt{2}} = t$, получаем

$$M[X] = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} (\sigma\sqrt{2} t + m) e^{-t^2} dt = \sigma\sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} t e^{-t^2} dt + \frac{m}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-t^2} dt. \tag{10.19}$$

Нетрудно убедиться, что первый из двух интегралов в уравнении (10.19) равен нулю, а второй представляет собой известный интеграл Эйлера—Пуассона

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-t^2} dt = \sqrt{\pi}, \tag{10.20}$$

поэтому из уравнения (10.19) вытекает, что $M[X] = m$.

Вычислим дисперсию величины X :

$$D[X] = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} (x-m)^2 e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Применив снова замену переменной $\frac{x-m}{\sigma\sqrt{2}} = t$, получим

$$D[X] = \frac{2\sigma^2}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} t^2 e^{-t^2} dt. \quad (10.21)$$

Интегрируем это выражение по частям:

$$D[X] = -\frac{\sigma^2}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} t d(e^{-t^2}) = \frac{\sigma^2}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-t^2} dt = \sigma^2. \quad (10.22)$$

Следовательно, σ в выражении (10.18) равна корню из дисперсии, т. е. среднему квадратичному отклонению. Итак,

$$E[y_i] = m, \quad D[y_i] = \text{var}(y_i) = \sigma^2. \quad (10.23)$$

Покажем, что если $m = -\frac{\sigma^2}{2}$, то $E e^{y_i} = 1$. Действительно,

$$E e^{y_i} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^y \cdot e^{-\frac{(y+\frac{\sigma^2}{2})^2}{2\sigma^2}} dy = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(y-\frac{\sigma^2}{2})^2}{2\sigma^2}} dy.$$

Применив снова замену $x = \frac{y-\frac{\sigma^2}{2}}{\sigma\sqrt{2}}$, получим

$$E y_i = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-x^2} dx = 1. \quad (10.24)$$

Вернемся к формуле (10.17), которая в наших предположениях имеет вид

$$N(t) = N_0 e^{at+y_1+y_2+\dots+y_t}, \quad (10.25)$$

откуда для среднего значения $N(t)$ получаем выражение

$$N(t) = N_0 e^{at} E(e^{y_1+y_2+\dots+y_t}) = N_0 e^{at} \prod_{i=1}^t E[e^{y_i}] = N_0 e^{at}, \quad (10.26)$$

а для дисперсии $D[N] = \text{var}(N)$ —

$$\begin{aligned} \text{var}(N) &= N_0^2 e^{2at} E(e^{\sum_{i=1}^t y_i} - 1)^2 = N_0^2 e^{2at} (E(e^{2\sum_{i=1}^t y_i}) - 2E(e^{\sum_{i=1}^t y_i}) + 1) = \\ &= N_0^2 e^{2at} [E(e^{2\sum_{i=1}^t y_i}) - 1]. \end{aligned} \quad (10.27)$$

Теперь имеем

$$\begin{aligned}
 E(e^{2y_i}) &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{2y - \frac{(y + \frac{\sigma^2}{2})^2}{2\sigma^2}} dy = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(y - \frac{3}{2}\sigma^2)^2 - 2\sigma^4}{2\sigma^2}} dy = \\
 &= e^{\sigma^2} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(y - \frac{3}{2}\sigma^2)^2}{2\sigma^2}} dy = e^{\sigma^2}.
 \end{aligned} \tag{10.28}$$

Следовательно,

$$\text{var}(N) = N_0^2 e^{2at} (e^{\sigma^2 t} - 1) \tag{10.29}$$

и коэффициент вариации при $t \rightarrow \infty$ равен

$$\frac{\sqrt{\text{var}(N)}}{N(t)} = \sqrt{e^{\sigma^2 t} - 1} \approx e^{\sigma t}. \tag{10.30}$$

Из формул (10.26) и (10.30) следует, что хотя, как и в детерминистском случае, среднее значение $N(t)$ экспоненциально возрастает, экспоненциально возрастают и отклонения от среднего значения. Таким образом, с течением времени колебания численности популяции становятся все более резкими. В этом отражается то обстоятельство, что детерминистская система не имеет стационарного состояния, более того, при определенных соотношениях между a и σ вероятность ее вымирания приближается к единице.

Найдем вероятность вымирания популяции за время t — функцию $p_0(t)$:

$$p_0(t) = p\{N(t) < 1\} = p\left\{N_0 e^{at + \sum_{i=1}^t y_i} < 1\right\} = p\left\{e^{\sum_{i=1}^t y_i} < \frac{1}{N_0 e^{at}}\right\}.$$

Положим $y_t = \sum_{i=1}^t y_i$, тогда y_t имеет нормальное распределение, причем $Ey_t = -\frac{t\sigma^2}{2}$, $\text{var}(y_t) = t\sigma^2$. Следовательно,

$$p_0(t) = P\{y_t < \ln(N_0 e^{at})\} = \int_{-\infty}^{-\ln N_0 - at} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}t} e^{-\frac{\left(y + \frac{t\sigma^2}{2}\right)^2}{2\sigma^2 t}} dy.$$

Полагая $z = \frac{y + t\sigma^2}{\sigma\sqrt{t}}$, имеем

$$p_0(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{\ln N_0 - at + \frac{\sigma^2}{2}t}{\sigma\sqrt{t}}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = \Phi\left(\frac{\left(\frac{\sigma^2}{2} - a\right)t - \ln N_0}{\sigma\sqrt{t}}\right), \quad (10.31)$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz$ — так называемый интеграл ошибок.

Если $\frac{\sigma^2}{2} - a > 0$, т. е. $\sigma^2 > 2a$, то $\frac{\left(\frac{\sigma^2}{2} - a\right)t - \ln N_0}{\sigma\sqrt{t}} \rightarrow \infty$ при $t \rightarrow \infty$, следовательно,

$$p_0(t) \rightarrow \Phi(+\infty) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 1.$$

Проведенный анализ показывает, что преимущественное использование детерминистских, а не стохастических моделей оправдано лишь тем, что в математическом плане они проще и удобнее. При этом если детерминистская модель свидетельствует об устойчивом равновесии, то соответствующая стохастическая модель предсказывает длительное выживание; если же детерминистская модель не выявляет равновесия или предсказывает неустойчивое равновесие, то стохастическая модель может предсказать вероятность вымирания.

11

Оптимизационные и игровые модели



11.1. Задача об оптимальном рационе питания

Выше рассмотрены простейшие модели динамики популяций с учетом конкуренции за пищевые ресурсы и влияния негативных факторов (например, эпидемий). Эти модели можно использовать для качественного анализа роста народонаселения. Конечно, рост численности населения сильно различается по разным странам и даже в развитых странах темпы роста неодинаковы. Например, в Дании, Швеции, Германии, Австрии этот показатель колеблется около нулевого значения. В таких странах, как Италия, Польша, Канада, США, рождаемость пока еще превышает смертность. Однако в целом в большинстве развитых стран ежегодный прирост населения составляет примерно 0,6% в год, тогда как в развивающихся странах — 2% в год.

В целом происходит стремительный рост населения на планете, что ставит насущную жизненную проблему управления природными ресурсами. При этом все отрасли управления ресурсами объединяет одна наука — экология и одна общая проблема — проблема оптимизации и, наконец, необходимость использовать одни и те же методы — взятие выборок, статистический анализ, математический анализ, логические процедуры, связанные с исследованием операций и анализом систем, применение вычислительной техники. Конечно, анализ и решение такой проблемы и даже какой-либо ее части представляет собой труднейшую задачу [30].

Начнем с рассмотрения простейшей задачи об оптимальном рационе, математическая модель которой допускает наглядную геометрическую интерпретацию. Пусть имеется n продуктов питания (хлеб, мясо, молоко, картофель и т.д.) и m полезных ве-

ществ (жиры, белки, углеводы и т.п.). Обозначим через a_{ij} — содержание i -го вещества в единице j -го продукта, через b_i — потребность индивидуума в i -м веществе (скажем, в месяц) и через c_j — цену единицы j -го продукта.

Обозначив потребление индивидуумом j -го продукта через x_j , получаем задачу о выборе наиболее дешевого рациона питания (стоимости месячной продовольственной потребительской корзины):

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min \quad (11.1)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_j, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (11.2)$$

и

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (11.3)$$

Такая задача называется задачей линейного программирования (в стандартной форме), общая теория которой рассмотрена, например, в [2].

Прежде чем исследовать задачу (11.1)—(11.3), заметим, что ее можно представить как задачу минимизации целевой функции

$$f(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad \text{на множестве точек } (x_1, \dots, x_n), \text{ удовлетворяющих}$$

условиям (11.2) и (11.3). Такое множество называется полиэдром и обозначается P . Итак, мы имеем экстремальную задачу

$$f(x) \rightarrow \min, \quad x \in P. \quad (11.4)$$

Вьясним, что представляет собой данный полиэдр P на плоскости $x_1 O x_2$ в случае двух продуктов x_1 и x_2 . Из неравенств (11.3) вытекает, что P расположен в первом квадранте, а каждое неравенство (11.2) геометрически определяет множество точек, лежащих по одну сторону от прямой $\sum_{j=1}^2 a_{ij} x_j = b_j$ (рис. 11.1), т. е.

полиэдр P представляет собой неограниченное множество в первом квадранте, лежащее вне области, ограниченной многоугольником $OABCDEF$.

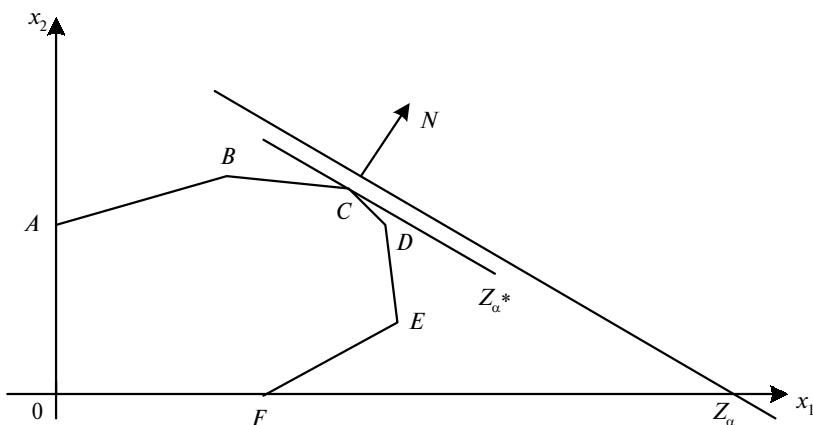


Рис. 11.1. Геометрическая интерпретация задачи (11.4)

Для удобства введем линии уровня целевой функции, т. е. линии, на которых в плоскости x_1Ox_2 целевая функция

$$f(x) = c_1x_1 + c_2x_2 \quad (11.5)$$

принимает постоянное значение, например, α , и обозначим ее Z_α . Очевидно, каждая линия уровня $Z_\alpha = \{(x_1, x_2) : f(x) = \alpha\}$ является прямой; при этом $\text{grad} f(x) = \left\{ \frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2} \right\} = \{c_1, c_2\}$ является

вектором N , перпендикулярным линии уровня и направленным (в данном случае) в сторону увеличения α . Таким образом, для нахождения оптимального решения нам следует перемещать линию уровня до касания с многоугольником $OABCDE$, при этом оптимальная прямая Z_α^* коснется либо какой-то вершины (в нашем случае C), либо какого-либо ребра (например, CB или CD при определенном изменении параметров c_1 и c_2).

Из приведенной геометрической интерпретации вытекает, что минимум обязательно достигается на одной из вершин многоугольника, поэтому его можно было бы найти методом перебора, сравнивая между собой значения целевой функции во всех вершинах. Конечно, метод перебора в принципе годится и в случае n переменных, однако при больших значениях n он неэффективен. Поэтому возникли и развиваются методы, позволяющие сформулировать более обозримые и эффективные

критерии оптимальности. Начало им было положено работами акад. Л.В. Канторовича (1939 г.). Не углубляясь в суть этих методов, приведем пример одной многокритериальной модели.

В предыдущей задаче мы рассматривали одну целевую функцию. Однако на практике часто встречается ситуация, когда целенаправленная человеческая деятельность преследует сразу несколько целей. Такие задачи получили название *многокритериальных*. Методы их решения проиллюстрируем на только что рассмотренном примере составления оптимального рациона, несколько усложнив его.

Допустим, надо решить задачу об оптимальном рационе, максимизировав в нем первый продукт. Тогда наша математическая модель выглядит следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} f_1(x) &= \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min, x \in P, \\ f_2(x) &= x_1 \rightarrow \max, x \in P \end{aligned} \right\}. \quad (11.6)$$

Прежде чем приступить к решению, обсудим задачу, чтобы лучше понять ее специфику. Итак, забудем на время о первой целевой функции из (11.6). Тогда не составляет труда найти решение задачи:

$$\max f_2(x) = f_2(E), \quad x \in P \quad (\text{рис. 11.2}). \quad (11.7)$$

Однако значение первой целевой функции может быть значительно больше оптимального $f_1(E) \gg f_1(C)$. Совершенно аналогично обстояло бы дело, если бы мы забыли о второй целевой функции и искали минимум первой целевой функции: $\min_{x \in P} f_1(x) = f_1(C)$; $f_2(C)$ может быть много меньше $f_2(D)$. Приведем наиболее употребительный метод решения многокритериальных задач (в данном примере — двухкритериальной задачи), а именно **сведение двух критериев к одному**.

1. Для реализации этого метода необходимо «взвесить» относительную важность каждого из критериев, т. е. выбрать из вне-модельных соображений число ε , $0 \leq \varepsilon \leq 1$, а затем построить одну целевую функцию

$$f(x) = \varepsilon f_1(x) + (1 - \varepsilon) f_2(x). \quad (11.8)$$

Если $\varepsilon = 1$, то в расчет принимается только первая целевая функция, а если $\varepsilon = 0$, то только вторая (рис. 11.1 и 11.2). Глубокое знание реальной проблемы и накопленный опыт могут

позволить выбрать $0 < \varepsilon < 1$ так, чтобы, решив оптимизационную задачу с единственной целевой функцией, можно было бы получить удовлетворительное решение для исходной постановки задачи с двумя целевыми функциями (рис. 11.3). Встретив трудности при решении двухкритериальной задачи, можно заменить ее однокритериальной, решать которую мы умеем.

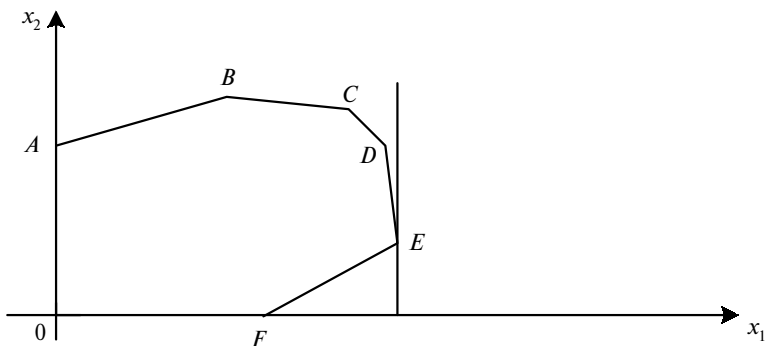


Рис. 11.2. Геометрическая интерпретация решения задачи (11.7)

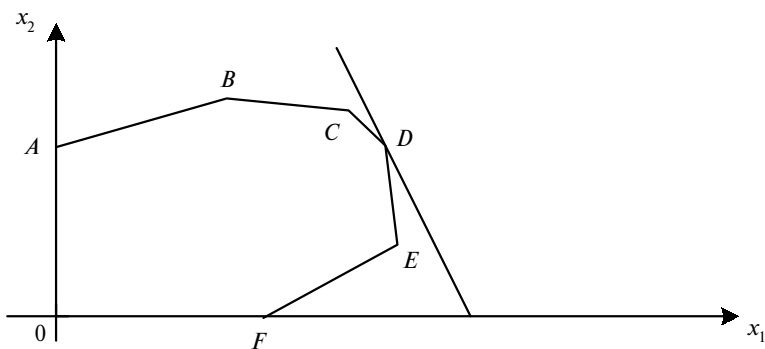


Рис. 11.3. Геометрическая интерпретация решения двухкритериальной задачи

11.2. Задача поиска

Более сложными, чем задачи линейного программирования, являются задачи выпуклого программирования. Прежде чем

привести пример такой задачи, связанной с безопасностью жизнедеятельности, дадим некоторые определения из теории выпуклого анализа [39].

Определение 1. Множество X из пространства R^n называется выпуклым, если из того, что две точки y и z принадлежат этому множеству, вытекает, что и весь отрезок $\{y, z\} = \{x \in R^n : x = \lambda y + (1 - \lambda)z, 0 \leq \lambda \leq 1\}$, соединяющий эти точки, также принадлежит этому множеству.

Очевидным примером выпуклых множеств является внутренность круга, шара, эллипсоида, куба. На рис. 11.4 а, б приведены примеры невыпуклых множеств на плоскости R^2 .

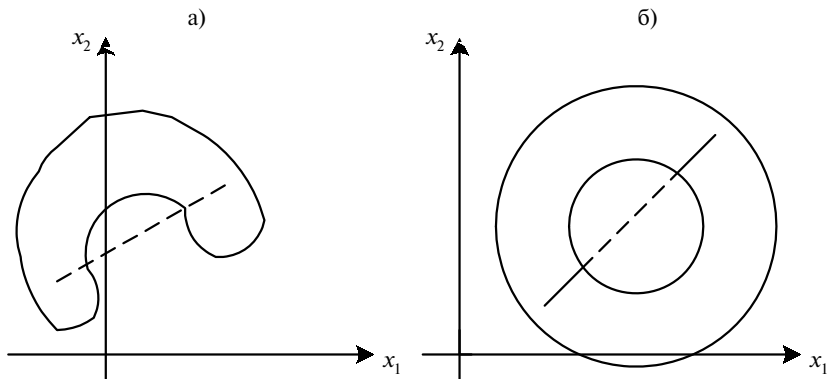


Рис. 11.4. Примеры невыпуклых множеств

Определение 2. Функция $f(x)$, определенная на выпуклом множестве $x \in R^n$, называется выпуклой, если для любых двух точек y и z , принадлежащих X , и любого $\lambda \in [0, 1]$ (тогда отрезок $[\lambda y + (1 - \lambda)z]$, $0 \leq \lambda \leq 1$, целиком принадлежит X) выполняется неравенство

$$f(\lambda y + (1 - \lambda)z) \leq \lambda f(y) + (1 - \lambda)f(z). \quad (11.9)$$

З а м е ч а н и е. Если неравенство (11.9) имеет противоположный знак, то функция $f(x)$ называется *вогнутой*.

Проще всего представить график выпуклой (или вогнутой) функции на плоскости (рис. 11.5).

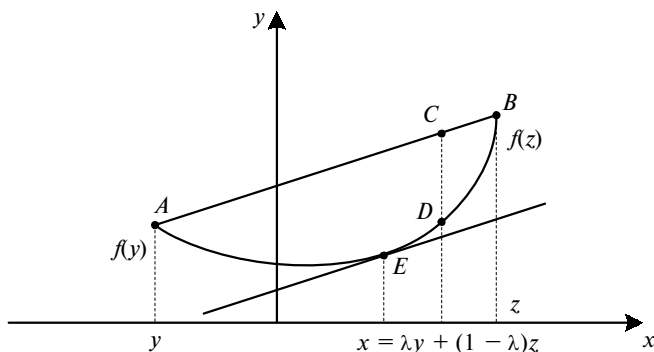


Рис. 11.5. График выпуклой функции на плоскости

Правая часть неравенства (11.9) представляет собой отрезок AB , соединяющий точки $(y, f(y)) = A$ и $B = (z, f(z))$, причем каждая точка этого отрезка (на рисунке взята точка C) выше соответствующей точки графика (на рисунке точка D). Если функция $f(x)$ достаточно гладкая, то условия выпуклости (вогнутости) можно выразить через ее вторую производную.

Действительно, согласно теореме Лагранжа в некоторой точке E (рис. 11.5) касательная к графику функции AB лежит ниже этого графика. Уравнение этой касательной $Y = f(\xi) + f'(\xi)(x - \xi)$, следовательно, $f(x) - f(\xi) - f'(\xi)(x - \xi) \geq 0$, откуда в силу формулы Тейлора

$$\frac{1}{2} f''(\xi + \Theta(x - \xi))(x - \xi)^2 \geq 0,$$

где $0 < \Theta < 1$.

Деля последнее неравенство на $(x - \xi)^2$ и далее переходя к пределу при $x \rightarrow \xi$, получаем, что

$$f''(\xi) \geq 0. \quad (11.10)$$

В силу произвольности точки ξ это неравенство справедливо на всем отрезке $[y, z]$ и является условием выпуклости (в случае вогнутости справедливо обратное неравенство). Для иллюстрации рассмотрим два простых примера.

Пример 1. $f(x) = e^x$, $x \in (-\infty, +\infty)$, $f''(x) = e^x > 0$, следовательно, показательная функция выпукла на всей оси.

Пример 2. $f(x) = \sin x$, $x \in [0, 2\pi]$, $f''(x) = -\sin x$, следовательно, функция $\sin x$ вогнута на отрезке $[0, \pi]$ и выпукла на отрезке $[\pi, 2\pi]$.

Прежде чем сформулировать задачу поиска, отметим, что оптимизационная задача

$$f(x) \rightarrow \min, x \in P \quad (f(x) \rightarrow \max, x \in P), \quad (11.11)$$

где в случае \max целевая функция $f(x)$ выпукла, в случае \min — вогнута и P — полиэдр, называется *задачей выпуклого программирования*. Ясно, что задача линейного программирования является ее частным случаем.

Задача поиска. Объект, подлежащий обнаружению, находится в одном из n районов с вероятностями p_1, \dots, p_n соответственно. Для поиска объекта имеется общий ресурс времени T (т. е. при $t > T$ поиск считается нецелесообразным). Известно, что при поиске в i -м районе в течение времени t_i вероятность обнаружения объекта (при условии, что он там находится) выражается через функцию Бернулли $1 - e^{-\alpha_i t_i}$, где $\alpha_i > 0$ — заданное число (формула показывает, что за бесконечное время t_i объект был бы найден). Требуется распределить по районам время наблюдения (поиска) так, чтобы максимизировать вероятность обнаружения объекта. Соответствующая задача оптимизации имеет вид

$$g(t_1, \dots, t_n) = \sum_{i=1}^n p_i (1 - e^{-\alpha_i t_i}) \rightarrow \max, \quad (11.12)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i \leq T, \quad (11.13)$$

$$t_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n. \quad (11.14)$$

Из теории вероятностей хорошо известно, что

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1. \quad (11.15)$$

Кроме того, очевидно, что задача $g(x) \rightarrow \max$ эквивалентна задаче $(-g(x)) \rightarrow \min$; также очевидно, что условия (11.13) и (11.14) определяют определенный полиэдр P (рис. 11.6). Следовательно, вводя целевую функцию $f(t_1, \dots, t_n) = \sum_{i=1}^n p_i e^{-\alpha_i t_i}$, получаем следующую оптимизационную задачу:

$$f(t) \rightarrow \min, \quad t = (t_1, \dots, t_n) \in P, \quad (11.16)$$

где P — полиэдр, заданный неравенствами (11.13) и (11.14).

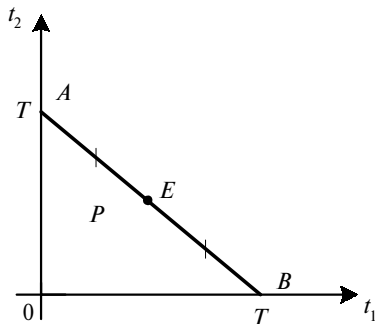


Рис. 11.6. Геометрическая интерпретация задачи поиска

Так как $f(t) = \sum_{i=1}^n f_i(t_i)$, причем

$f_i''(t_i) = p_i \alpha_i^2 e^{-\alpha_i t_i} > 0$, то функция $f(t)$ выпуклая и мы имеем задачу выпуклого программирования. Общие методы решения таких задач довольно сложны, однако в нашем конкретном случае можно предложить наглядное геометрическое решение.

Действительно, имеем $f_i'(t_i) < 0$.

Значит, функция $f(t)$ убывает по любому переменному $t_i, i = 1, 2, \dots, n$,

и ее наименьшее значение достигается на гиперплоскости $t_1 + t_2 + \dots + t_n = T$ (в случае двух переменных это прямая AB на рис. 11.6). Однако в отличие от задач линейного программирования это наименьшее значение достигается необязательно в вершинах A, B и т.д., в чем можно убедиться, исследуя на AB функцию $f(t)$ в случае двух переменных. Тогда $f(t_1, t_2) = p_1 e^{-\alpha_1 t_1} + p_2 e^{-\alpha_2 t_2} = p_1 e^{-\alpha_1 t_1} + p_2 e^{-\alpha_2 (T - t_1)} = h(t_1), \quad 0 \leq t_1 \leq T$. Минимум этой функции может достигаться и внутри отрезка $[0, T]$ в зависимости от соотношения параметров $p_1, p_2, \alpha_1, \alpha_2$, в чем можно убедиться непосредственным исследованием функции одного переменного (например, если $p_1 \alpha_1 = p_2 \alpha_2 e^{\frac{\alpha_1 - \alpha_2 T}{2}}$, то минимум достигается в середине E отрезка AB).

11.3. Игровые модели

Часто возникают ситуации, в которых различные участники имеют не совпадающие между собой интересы. Математические модели и методы для исследования таких так называемых конфликтных ситуаций получили название теории игр [18].

Приведем простейшие понятия и результаты этой теории. Под словом «игра» понимается совокупность правил, руководствуясь которыми игроки-участники принимают решения. Предположим, что результатом игры является плата, которую в соответствии с правилами проигравший участник платит выигравшим. Для простоты ограничимся сначала так называемыми «играми двух лиц с нулевой суммой». Для того чтобы полностью определить такую игру, нужно задать таблицу платежей — платежную матрицу, например, следующую матрицу размера 3×4 :

$$A \begin{array}{c|cccc} & 5 & 4 & 8 & 9 \\ & 0 & -1 & 5 & 7 \\ & 1 & -2 & 3 & 6 \end{array} B.$$

Эта запись означает, что игрок A выбирает одну из строк этой матрицы, а игрок B , не зная выбора A , выбирает один из столбцов матрицы. Число на пересечении выбранной строки и столбца определяет выигрыш первого игрока (соответственно проигрыш второго). Например, если A выбрал вторую строку, а B — третий столбец, то A выиграл 5 единиц, а B их проиграл. Если же A выбрал третью строку, а B — второй столбец, то A проиграл 2 единицы, а B их выиграл.

Будем считать, что цель каждого из игроков состоит в максимизации наименьшего возможного выигрыша (соответственно минимизации наибольшего возможного проигрыша). Основной вопрос, возникающий в теории игр: существует ли наилучший способ игры у каждого из игроков, т. е. имеются ли у них оптимальные стратегии.

Прежде чем сформулировать ответ, вернемся к рассматриваемой матрице. Сразу видно, что игроку A выгоднее всего выбрать первую строку, так как все ее элементы больше соответствующих элементов остальных строк. Точно так же игроку B выгоднее всего выбрать второй столбец, так как все элементы этого столбца меньше соответствующих элементов остальных столбцов. Следовательно, в данном примере оптимальными стратегиями будут следующие: для A — выбор первой строки, а для B — выбор второго столбца. Число 4, стоящее на пересечении первой строки и второго столбца, носит название *цены игры*, т. е. платы, которую получает оптимально играющий игрок. Таким образом, в этом примере гарантированный выигрыш A — не менее 4-х единиц и гарантиро-

ванный проигрыш B — не более 4-х единиц (он равен 4 единицам, если оба игрока играют оптимально).

Если оказывается, что для данной платежной матрицы минимум в какой-либо строке совпадает с максимумом в каком-либо столбце, то эти строка и столбец называются *оптимальными*, а их пересечение — *седловой точкой* платежной матрицы. Соответствующее число и будет ценой игры.

Однако далеко не каждая матрица имеет седловую точку, например, матрица $A \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 4 & 0 \end{vmatrix} B$ седловой точки не имеет. Говорить

здесь о максимизации наименьшего возможного выигрыша (минимизации наибольшего возможного проигрыша) возможно только при использовании так называемой смешанной стратегии при многократной игре с одной и той же платежной матрицей. Суть этой стратегии заключается в выборе разных стратегий с определенными частотами. Итак, пусть A выбирает первую строку с частотой x , а вторую — с частотой $(1 - x)$. Аналогично для B соответствующие частоты обозначим через y и $(1 - y)$. Тогда средний выигрыш A , обозначаемый через $E(x, y)$, равен

$$E(x, y) = 4(1 - x)y + x(1 - y) = x + 4y - 5xy. \quad (11.17)$$

Нас интересует величина $\max_x \min_y E(x, y)$. Имеем

$$E_y = 4 - 5x, \quad (11.18)$$

откуда $E_y > 0$ при $0 \leq x < \frac{4}{5}$, $E_y = 0$ при $x = \frac{4}{5}$ и $E_y < 0$ при $\frac{4}{5} < x \leq 1$. Значит,

$$\min_y E(x, y) = \begin{cases} E(x, 1) = x & \text{при } 0 \leq x < \frac{4}{5}, \\ \frac{4}{5} & \text{при } x = \frac{4}{5}, \\ E(x, 0) = 4(1 - x) & \text{при } \frac{4}{5} < x \leq 1 \end{cases}$$

(график на рис. 11.7).

Следовательно,

$$\max_x \min_y E(x, y) = \frac{4}{5} \quad (11.19)$$

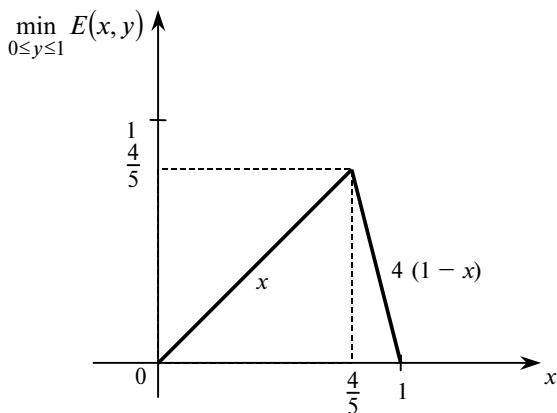


Рис. 11.7. График функции $\min_{0 \leq y \leq 1} E(x, y)$

$$F(x, y) = 5xy - x - 4y. \quad (11.20)$$

Имеем $F_x = 5y - 1$, откуда $F_x < 0$ при $0 \leq y < \frac{1}{5}$, $F_x = 0$ при $y = \frac{1}{5}$

и $F_x > 0$ при $\frac{1}{5} < y \leq 1$. Значит,

$$\max_x F(x, y) = \begin{cases} F(0, y) = -4y & \text{при } 0 \leq y < \frac{1}{5}, \\ -\frac{4}{5} & \text{при } y = \frac{1}{5}, \\ F(1, y) = y - 1 & \text{при } \frac{1}{5} \leq y \leq 1 \end{cases}$$

(график на рис. 11.8).

Следовательно,

$$\max_x \min_y F(x, y) = -\frac{4}{5} \quad (11.21)$$

и оптимальной стратегией для A будет выбор первого столбца с частотой $\frac{1}{5}$ и второго столбца — с частотой $\frac{4}{5}$.

При оптимальных смешанных стратегиях выигрыш A и соответственно проигрыш B в пять раз меньше максимально возможного при одиночной игре.

и оптимальной смешанной стратегией для A будет выбор первой строки с частотой $\frac{4}{5}$ и второй строки — с частотой $\frac{1}{5}$. Средний проигрыш B , обозначаемый $F(x, y)$, очевидно равен $-E(x, y)$. Нас интересует величина $\max_x \min_y F(x, y)$, где

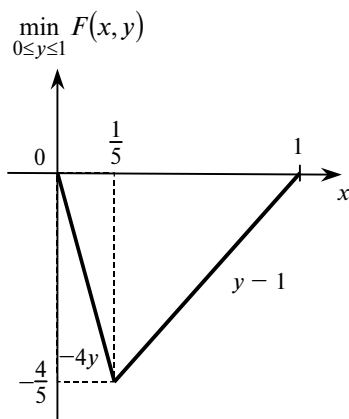


Рис. 11.8. График функции

$$\min_{0 \leq y \leq 1} F(x, y)$$

Отметим также, что в рассмотренном примере мы показали существование оптимальных стратегий и установили равенство

$$\max_x \min_y E(x, y) = \max_y \min_x E(x, y) = \frac{4}{5}; \quad (11.22)$$

при этом величину $E(x, y)$ можно трактовать как математическое ожидание выигрыша, а величину $v = \frac{4}{5}$ определить как цену игры.

Рассмотрим теперь общий случай прямоугольной матрицы

$$C = \begin{vmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ c_{m1} & \cdots & c_{mn} \end{vmatrix}.$$

При любой допустимой стратегии игрока A : $x_1 \geq 0, \dots, x_m \geq 0$, $x_1 + x_2 + \dots + x_m = 1$ и любой допустимой стратегии игрока B : $y_1 \geq 0, \dots, y_n \geq 0$, $y_1 + y_2 + \dots + y_n = 1$ математическое ожидание выигрыша равно

$$E(x, y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_i y_j. \quad (11.23)$$

Множество допустимых стратегий $x = (x_1, \dots, x_m)$ игрока A обозначим через X , а множество допустимых стратегий $y = (y_1, \dots, y_n)$ игрока B обозначим через Y .

Рассмотренные выше примеры являются частными случаями общих теорем [18] для игр с прямоугольными матрицами (прямоугольными играми); из них, в частности, вытекает:

1. Величины $\max_{x \in X} \min_{y \in Y} E(x, y)$ и $\max_{y \in Y} \min_{x \in X} E(x, y)$ существуют и равны между собой; при этом величина

$$\max_{x \in X} \min_{y \in Y} E(x, y) = \max_{y \in Y} \min_{x \in X} E(x, y) = v \quad (11.24)$$

является ценой игры.

2. Всякая прямоугольная игра имеет цену; каждый игрок в прямоугольной игре всегда имеет оптимальную стратегию.

3. Пусть E — математическое ожидание выигрыша в прямоугольной игре с матрицей C , имеющей цену v . Тогда для того чтобы элемент $x^* = (x_1^*, \dots, x_m^*) \in X$ был оптимальной стратегией для игрока A , необходимо и достаточно, чтобы для всякого $j = 1, 2, \dots, n$ базисного вектора $y^{(j)} = \left(0, \dots, 0, \underset{j}{1}, 0, \dots, 0 \right)$ имело место неравенство

$$v \leq E(x^*, y^{(j)}). \quad (11.25)$$

Аналогично для того чтобы элемент $y^* = (y_1^*, \dots, y_n^*) \in Y$ был оптимальной стратегией для игрока B , необходимо и достаточно, чтобы для всякого элемента базисного вектора $x^{(i)} = \left(0, \dots, 0, \underset{i}{1}, 0, \dots, 0 \right)$ имело место неравенство

$$E(x^{(i)}, y^*) \leq v. \quad (11.26)$$

Покажем теперь на двух примерах, как можно применить эти утверждения для вычисления цен и определения оптимальных стратегий для прямоугольных игр. В качестве таких примеров рассмотрим стратегии ловли на удочку и питания рыбы¹.

Представим себе, что существование такого вида рыб, питающихся у поверхности воды, зависит от наличия трех видов летающих насекомых, которые обозначим через m_1, m_2 и m_3 соответственно; насекомые появляются в зоне захвата с частотами $15n, 5n$ и n (т. е. насекомых m_2 в 5 раз больше чем m_3 , а насекомых m_1 в 3 раза больше чем m_2).

Допустим, что рыбак B ловит рыбу A на насекомых одного из этих видов, насаживая их на крючок. Тогда матрица стратегий C ловли на удочку и питания рыб имеет следующий вид (табл. 11.1):

¹ Идея примера взята из книги Вильямса [8], которая также может служить хорошим введением в теорию игр.

Т а б л и ц а 11.1. Матрица стратегий

Стратегии		Рыболов использует в качестве наживки		
		m_1	m_2	m_3
Рыба питается	m_1	-2	0	0
	m_2	0	-6	0
	m_3	0	0	-30

На основании изложенных утверждений достаточно найти неотрицательные числа $x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3$ и число, удовлетворяющее следующим условиям:

$$\begin{aligned} x_1 + x_2 + x_3 &= 1, & y_1 + y_2 + y_3 &= 1, & (11.27) \\ v &\leq -2x_1, & -2y_1 &\leq v, \\ v &\leq -6x_2, & -6y_2 &\leq v, \\ v &\leq -30x_3, & -30y_3 &\leq v. \end{aligned}$$

Заменяем последние шесть неравенств на равенства. Тогда имеем

$$x_1 = y_1 = -\frac{v}{2}, \quad x_2 = y_2 = -\frac{v}{6}, \quad x_3 = y_3 = -\frac{v}{30}. \quad (11.28)$$

Подставляя эти значения в равенства (11.27), получим

$$v = -\frac{10}{7}, \quad (11.29)$$

$$x_1 = \frac{5}{7}, \quad x_2 = \frac{5}{21}, \quad x_3 = \frac{1}{21}, \quad (11.30)$$

$$y_1 = \frac{5}{7}, \quad y_2 = \frac{5}{21}, \quad y_3 = \frac{1}{21}. \quad (11.31)$$

Таким образом, цена игры для рыбы будет отрицательной и равной $-\frac{10}{7}$. Она показывает, что в конце концов рыба будет поймана. При этом оптимальная стратегия рыбака совпадает со стратегией питания (также оптимальной) рыбы и оптимальная стратегия уменьшает вероятность поимки рыбы в каждом конкретном случае.

Несколько усложним задачу. Предположим, что рыболов иногда использует приманку m_4 , которая может быть принята по ошибке за одно из трех насекомых, но которая вдвое чаще

вызывает подозрение у рыб. Тогда матрица C стратегий ловли на удочку и питания рыб примет вид табл. 11.2:

Т а б л и ц а 11.2. Усложненная матрица стратегий

Стратегии		Рыболов использует в качестве наживки			
		m_1	m_2	m_3	m_4
Рыба питается	m_1	-2	0	0	-1
	m_2	0	-6	0	-3
	m_3	0	0	-30	-15

Теперь достаточно найти неотрицательные числа $x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3, y_4$ и число v , удовлетворяющие следующим условиям:

$$\begin{aligned}
 x_1 + x_2 + x_3 &= 1, & y_1 + y_2 + y_3 + y_4 &= 1, & (11.32) \\
 v &\leq -2x_1, & -y_4 - 2y_1 &\leq v, \\
 v &\leq -6x_2, & -3y_4 - 6y_2 &\leq v, \\
 v &\leq -30x_3, & -15y_4 - 30y_3 &\leq v. \\
 v &\leq -x_1 - 3x_2 - 15x_3,
 \end{aligned}$$

Левая система неравенства переопределена, а правая недоопределена (в левой неизвестных больше, чем неравенств, а в правой меньше). Заметим, что если последнее неравенство в правой колонке $-15y_4 - 30y_3 \leq v$ будет выполнено при $y_3 = 0$, то оно будет выполнено и при всех $y_3 > 0$. Следовательно, полагая $y_3 = 0$, правую систему неравенств можно заменить системой трех линейных уравнений

$$-y_4 - 2y_1 = v, \quad -3y_4 - 6y_2 = v, \quad -15y_4 = v$$

с тремя неизвестными y_1, y_2, y_4 . Ее решение, очевидно, имеет вид

$$y_1 = -\frac{7v}{15}, \quad y_2 = -\frac{2v}{15}, \quad y_4 = -\frac{v}{15}.$$

Подставляя полученные выражения в равенство (11.32), где $y_3 = 0$, получим $-\frac{10}{15}v = 1$, т. е. цена игры для рыбы отрицательна и равна

$$v = -\frac{10}{15} = -\frac{3}{2}, \quad (11.33)$$

что несколько меньше, чем в предыдущем случае. Оптимальная стратегия рыбалки имеет вид

$$y_1 = \frac{7}{10}, \quad y_2 = \frac{2}{10}, \quad y_3 = 0, \quad y_4 = \frac{1}{10}. \quad (11.34)$$

Изучим теперь оптимальную стратегию для рыбы, так как $y_3 = 0$, то и $x_3 = 0$, т. е. насекомые m_3 слишком опасны для жизни. Тогда из системы четырех неравенств выпадают третье и четвертое, которое при $x_3 = 0$ является следствием двух первых (их полусуммой). Таким образом, для определения x_1 , x_2 и v имеем систему трех уравнений с тремя неизвестными

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1, \quad v = -2x_1, \quad v = -6x_2,$$

откуда

$$x_1 = -\frac{v}{2}, \quad x_2 = -\frac{v}{6},$$

и, с учетом $x_3 = 0$,

$$-\frac{v}{2} - \frac{v}{6} = -\frac{2}{3}v = 1,$$

т. е.

$$v = -\frac{3}{2}. \quad (11.35)$$

Значит, оптимальная стратегия для рыбы равна

$$x_1 = \frac{3}{4}, \quad x_2 = \frac{1}{4}, \quad x_3 = 0; \quad (11.36)$$

цена же ее в силу (11.35) равна $-\frac{3}{2}$, т. е. совпадает с (11.34), что, вообще говоря, вытекает из общей теории.

Модели, основанные на теории игр, представляют собой интересный, но пока еще недостаточно изученный подход к решению стратегических экологических задач. Разработка теории для более сложных игр с ненулевой суммой и игр многих лиц, где между игроками могут создаваться коалиции, должна найти эффективное применение в экологических проектах, связанных с планированием и оценкой различных воздействий на окружающую среду.

Контрольные задания

1. Рассмотрим задачу об «оптимальном рационе» в случае трех продуктов питания (например, хлебные, молочные и мясные продукты) и трех полезных веществ (углеводы, белки, жиры). Ценовой вектор $c = (c_1, c_2, c_3)$ (руб.) примерно равен $(10; 20; 50)$, а вектор $b = (b_1, b_2, b_3)$ минимально необходимого месячного потребления полезных веществ (кг) равен $(1,2; 4; 1,5)$. Будем предполагать также,

что матрица $A = \|a_{ij}\|_{i,j=1,2,3}$ имеет вид $A = \begin{vmatrix} 0,1 & 0,6 & 0 \\ 0,1 & 0,4 & 0,2 \\ 0 & 0,3 & 0,5 \end{vmatrix}$.

Решить задачу $f_1(x) = \sum_{i=1}^3 c_i x_i \rightarrow \min$ при ограничениях

$$Ax \leq b, \quad x \geq 0.$$

2. При тех же ограничениях решить задачу $f_2(x) = x_2 \rightarrow \max$.
3. Решить двухкритериальную задачу $f_1(x) \rightarrow \min, f_2(x) \rightarrow \max$, заменяя ее минимизацией суперкритерия $f(x) = \Theta f_1(x) - (1 - \Theta)f_2(x)$. Рассмотреть случаи $\Theta = \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}$.
4. Привести геометрическую интерпретацию задач 1–3.
5. Рассмотреть задачу поиска в случае трех районов и соотношения $\alpha_1 : \alpha_2 : \alpha_3 = 1 : 2 : 3$. Найти условия на параметры p_1, p_2, p_3 , при которых задача имеет решение в каждом из районов, т.е. $t_1 = T, t_2 = T, t_3 = T$, и в случае, когда время поиска в каждом из районов одно и то же ($t_1 = t_2 = t_3 = T/3$).
6. Найти оптимальную стратегию рыбака, использующего в качестве наживки мух и живца, если матрица стратегий имеет вид:

Стратегии		Рыболов использует в качестве наживки:	
		мух m_1	живца m_3
Рыба питается	m_1	-6	0
	m_3	0	-4

7. Найти оптимальную стратегию рыбака, если он дополнительно использует искусственных мух и блесну, а матрица стратегий в этом случае имеет вид:

Стратегии		Рыболов использует в качестве наживки:			
		мух m_1	искусственных мух m_2	живца m_3	блесну m_4
Рыба питается	m_1	-6	-3	0	0
	m_3	0	0	-4	-2

12

Системный анализ и управление в экологии



12.1. Общее представление о системном анализе

Вопреки представлениям многих экологов, системный анализ не есть какой-то математический метод и даже не группа математических методов. Это стратегия научного поиска, использующая математические методы и модели, но в рамках систематизированного научного подхода к решению сложных проблем. По существу системный анализ таким образом организует наши знания об объекте, что облегчается выбор нужной стратегии или предсказания результатов той или иной стратегии для принятия определенного решения. При использовании системного анализа в решении практических задач можно, следуя Дж. Джефферсу [12], выделить семь этапов (рис. 12.1).

12.2. Основные этапы системного анализа

Обсудим кратко каждый из этих этапов.

1. Выбор проблемы

Данный этап предусматривает выбор правильного метода исследования для решения актуальной экологической проблемы. Как показывает опыт, на практике часто не учитываются существенные практические аспекты экологии, с одной стороны; а с другой — ряд представлений об экологических процессах настолько широко распространен, что их можно использовать без дополнительных обоснований. Поэтому, с одной стороны, можно взяться за решение проблемы, не поддающейся системному анализу, а с другой — выбрать проблему, которую можно более экономно решить, не используя всю мощь методов системного анализа. Такая двойственность первого этапа делает его критическим для успеха (или неудачи) всего исследования.

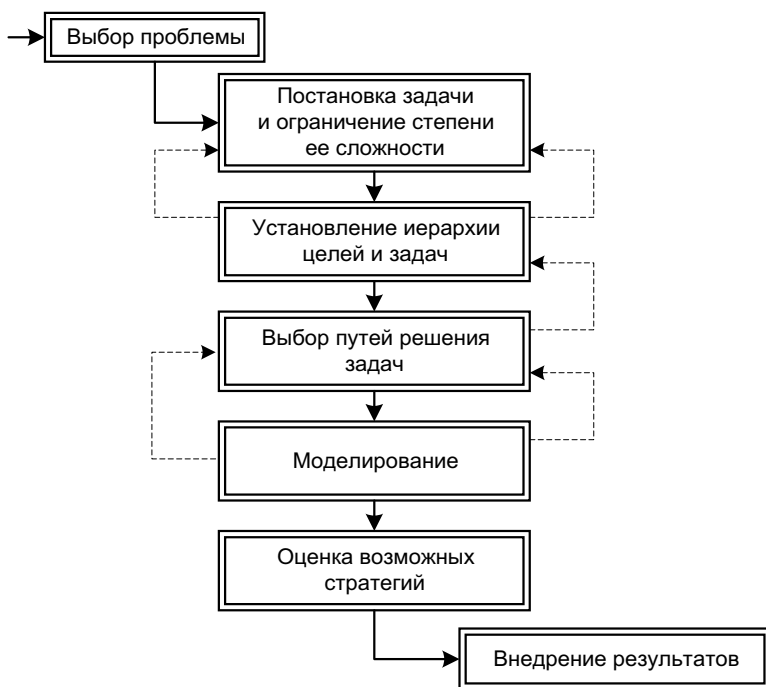


Рис. 12.1. Схема системного анализа для решения практических экологических задач

2. Постановка задачи и ограничение степени ее сложности

Как только существование проблемы осознано, требуется упростить задачу настолько, чтобы она имела по возможности аналитическое решение, сохраняя в то же время все те элементы, которые допускают содержательную практическую интерпретацию. Это тоже критический этап, характерный для любого системного исследования, на котором успех или неудача во многом зависят от тонкого равновесия между упрощением и усложнением — равновесия, при котором сохранены все существенные связи с исходной проблемой и при этом можно получить решение, поддающееся качественному анализу и имеющее наглядную интерпретацию.

3. Установление иерархии целей и задач

После постановки задачи и ограничения степени ее сложности (как правило, разумного упрощения) можно приступать к установлению целей и задач исследования. Обычно цели и зада-

чи выстраивают в некоторую цепочку (образуют иерархию) по степени их возможности; при этом производят подразделение (декомпозицию) [44] основных задач на ряд более простых (второстепенных). Однако здесь следует иметь в виду, что задачи, важные с точки зрения получения научной информации, в ряде случаев довольно слабо влияют на вид решений, принимаемых относительно воздействия на экосистему и управления ею. Поэтому установление приоритетности тех или иных задач в иерархической цепочке — одна из центральных проблем системного анализа. Особенно это проявляется в ситуации, когда исследователь заведомо ограничен определенными формами управления и концентрирует максимум усилий на задачах, непосредственно связанных с самими экологическими процессами.

4. Выбор путей решения задач

На данном этапе можно выбрать несколько путей решения проблемы. В общем случае естественно искать наиболее общее аналитическое решение, поскольку это позволит максимально использовать результаты исследования аналогичных задач и соответствующий математический аппарат. При этом выбор семейства, в рамках которого проводится поиск аналитического решения, во многом зависит от специалиста по системному анализу. Как правило, аналитик разрабатывает несколько альтернативных решений и выбирает из них то, которое лучше подходит для исследуемой задачи.

5. Моделирование

После того как проанализированы подходящие альтернативы, приступают к важному этапу моделирования сложных динамических взаимосвязей между различными аспектами проблемы. Здесь следует отметить, что моделируемым процессам, а также механизмам обратной связи присуща внутренняя неопределенность, что значительно усложняет понимание как самой системы, так и возможностей ее управляемости.

6. Оценка возможных стратегий

Как только моделирование доведено до стадии, на которой модель можно (по крайней мере предварительно) использовать, начинается этап оценки потенциальных стратегий, полученных из модели. В ходе оценки исследуется чувствительность результатов к допущениям, сделанным при построении модели. Если окажется, что основные допущения некорректны, возможно, придется вернуться к этапу моделирования и скорректировать модель.

Обычно это связано с исследованием модели на «чувствительность» к тем аспектам проблемы, которые были исключены из формального анализа на втором этапе, когда ставилась задача и ограничивалась степень ее сложности.

7. Внедрение результатов

Заключительный этап системного анализа представляет собой применение на практике результатов, полученных на предыдущих этапах. Если исследование проводилось по описанной выше схеме, то шаги, которые для этого необходимо предпринять, будут достаточно очевидны. В то же время как раз на последнем этапе может выявиться неполнота тех или иных стадий или необходимость их пересмотра, в результате чего придется скорректировать модель и снова пройти какие-то из уже завершенных этапов.

12.3. Комплексная схема системного анализа

Поскольку системный анализ представляет собой определенный способ мышления, то перечень этапов должен рассматриваться как некое руководство к действию. Цель такого многоэтапного подхода состоит в том, чтобы помочь выбрать правильную стратегию для решения практических экологических задач. А задачи эти, как правило, крайне сложны, поэтому использование ЭВМ является характерной особенностью современных системных исследований.

Структура системного анализа направлена на то, чтобы сосредоточить главные усилия на сложных и, как правило, крупномасштабных проблемах, не поддающихся решению более простыми исследованиями, например, наблюдением или простым экспериментированием. Комплексная схема системного анализа приведена на рис. 12.2.

Если мы вернемся к предыдущим параграфам данной главы, то без труда обнаружим элементы этой схемы при рассмотрении тех или иных подходов, например, установление иерархии целей в задаче об оптимальном рационе питания, анализ чувствительности в задачах динамики популяции и необходимость в связи с этим рассмотрения стохастических моделей, оценки возможных и выбор оптимальных стратегий и т.д.

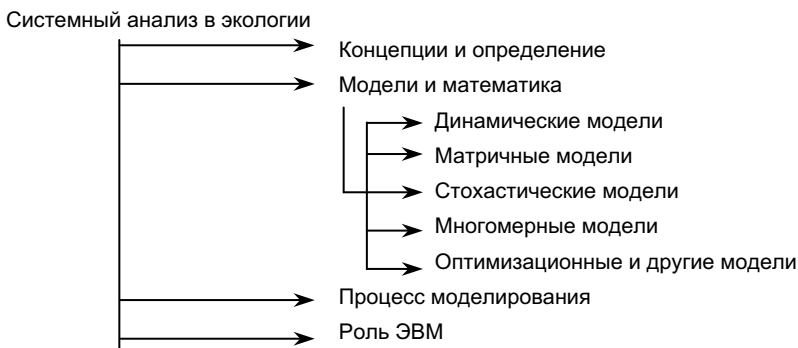


Рис. 12.2. Комплексная схема системного анализа в экологии

Тем не менее ряд вопросов не нашел отражения в предыдущих параграфах. А именно, все экологические воздействия — динамические, т. е. зависят от времени и постоянно изменяются. Более того, взаимодействия часто имеют особенность, называемую в технике «обратной связью», т. е. характеризуются тем, что некоторые эффекты процесса возвращаются к своему источнику, в результате чего эти эффекты усиливаются или видоизменяются. Обратные связи бывают положительными (усиление эффекта) или отрицательными (ослабление эффекта). С моделями такого типа познакомимся далее.

12.4. Задача управления водохранилищем

Водные системы используются для орошения, производства электроэнергии, водоснабжения, коммерческого рыболовства, как место для отдыха и т.д. С таким разнообразным характером эксплуатации ресурсов почти всегда связано столкновение различных интересов, что в свою очередь порождает множество различных проблем. Как сравнить, например, между собой различные стратегии управления? Или: как одна и та же стратегия благоприятствует одной группе пользователей и наносит удары другим?

Начнем с более простой задачи — управления водохранилищем, т. е. с накопления определенного запаса пресной воды и такого управления этим запасом, чтобы наилучшим образом

удовлетворялись потребности в пресной воде. Выберем также некоторый период времени, для которого будем решать задачу управления, пусть это будет 5-летний период.

Итак, нас интересует величина X^t — запас воды в водохранилище в момент времени t и ее изменение с течением времени. Выделим факторы (прежде всего природные), которые оказывают влияние на величину X^t :

- приток по реке, на которой построено водохранилище, который обозначим через R^t ;
- пополнение запаса воды за счет боковой приточности — B^t ;
- выпадение осадков на поверхность водохранилища — O^t ;
- испарение воды с поверхности водохранилища — I^t ;
- фильтрация воды в нижнем створе водохранилища — F^t .

Помимо этого есть и факторы антропогенного происхождения, из которых для простоты выделим два:

- вода расходуется на нужды сельского хозяйства — S^t и коммунальное водоснабжение — K^t ;
- часть воды пропускается через плотину дальше по реке — P^t .

Естественно предполагать, что запас воды в водохранилище не должен становиться меньше некоторой минимальной величины X_{\min} , но и не должен превышать объем водохранилища $X_{\max} \leq V$.

Схематически динамику запаса воды в водохранилище можно представить так, как показано на рис. 12.3.

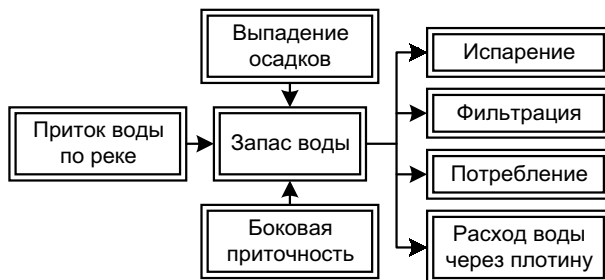


Рис. 12.3. Схема процессов, определяющих запас воды в водохранилище (стрелки указывают направление потоков)

Следующий вопрос, который необходимо решить, касается величин этих факторов, их изменений во времени. Пусть из-

вестны ряды наблюдений среднедоходных величин стока (выше водохранилища), осадков в районе водохранилища и боковой приточности за предыдущие 20 лет. Естественно предполагать, что изменение этих величин R^t , O^t и B^t в ближайшие 5 лет будет происходить примерно так же, как и в предыдущие 20 лет, т. е. их можно положить равными средним значениям за 20 лет:

$$R^t(T) = \frac{1}{20} \sum_{\tau=1}^{20} R^t(\tau), \quad (12.1)$$

$$O^t(T) = \frac{1}{20} \sum_{\tau=1}^{20} O^t(\tau), \quad (12.2)$$

$$B^t(T) = \frac{1}{20} \sum_{\tau=1}^{20} B^t(\tau), \quad (12.3)$$

где $T = 1, 2, 3, 4, 5$.

Другими словами, можно считать величины R^t , O^t и B^t детерминированными, однако для их определения можно было бы применить и статистические методы, описанные в гл. 10.

Перейдем к процессам расходования воды, один из них — испарение. С достаточной точностью можно считать, что $I^t \approx D^t$, где D^t — дефицит влажности, который может быть рассчитан так же, как выражения (12.1)—(12.3) по данным наблюдений. Тогда

$$I^t = \alpha D^t, \quad (12.4)$$

где α — эмпирический коэффициент пропорциональности.

Далее, объем воды F^t , которая профильтровывается в нижнем створе водохранилища, пропорциональна объему воды в водохранилище, т. е.

$$F^t = kX^t, \quad (12.5)$$

где k — эмпирический коэффициент пропорциональности, соответствующий определенному типу грунта.

Расход воды через плотину P^t — величина регулируемая. Регулируемыми величинами являются величины потребления S^t и K^t , которые суммарно обозначим через Q^t , т. е.

$$Q^t = S^t + K^t. \quad (12.6)$$

Итак, после рассмотрения всех процессов формирования воды в водохранилище можно записать закон сохранения массы воды:

$$X^{t+\Delta t} = X^t + Y^t - Z^t, \quad (12.7)$$

где

$$Y^t = R^t + O^t + B^t, \quad (12.8)$$

$$Z^t = I^t + F^t + P^t + Q^t. \quad (12.9)$$

Эти уравнения часто называют *уравнениями баланса*. Задавая условия накопления и расходования воды и решая уравнения водного баланса, можно получить ответ на поставленный вопрос: чему равен запас воды в водохранилище в каждый момент времени t . Блок-схема соответствующего расчета на ЭВМ приведена на рис. 12.4.

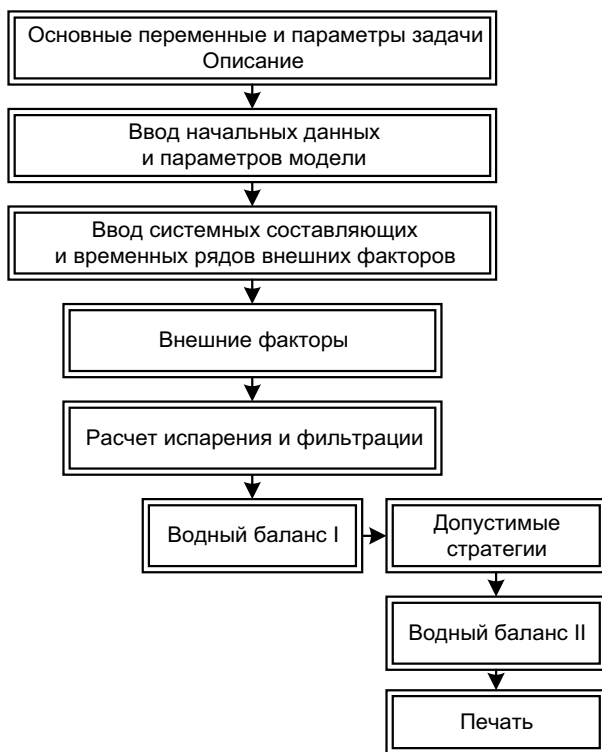


Рис. 12.4. Блок-схема расчета водного баланса на ЭВМ

Прокомментируем значения отдельных фрагментов программных блоков.

Блок «Внешние факторы» с шагом в один месяц прогнозирует значения внешних факторов по заданным временным рядам.

Следующий блок, используя прогнозные значения внешних факторов, осуществляет вычисление воды, испарившейся и профильтровавшейся из водохранилища. Блок «Водный баланс I» вычисляет запас воды, который был бы в водохранилище в отсутствие промышленно-потребительских факторов использования воды.

Блок «Допустимые стратегии» оценивает количество воды, потребляемой в течение месяца сельским хозяйством и коммунальным водоснабжением. В блоке «Водный баланс II» проводится соответствующая корреляция количества воды в водохранилище с учетом антропогенного фактора. Варьируя количества воды, потребляемой водопользователями, можно путем численных экспериментов составить прогноз водопользования и на его основе осуществлять выбор стратегии на практике.

12.5. Управление водной системой

Рассмотрим теперь более сложный пример управления водной системой [50], в которой учтено 12 переменных: емкость трех водохранилищ, мощности двух электростанций, распределение рабочей емкости и мертвого объема в водохранилище, питающем одну из электростанций, распределение резервной системы для регулирования паводков в трех других водохранилищах и ежегодная требуемая отдача воды для ирригации и энергетики. Структура этой системы представлена на рис. 12.5.

Введем следующие обозначения:

$E_t(\vec{y}_t)$ — валовая прибыль в t -м году, получаемая при определенной стратегии управления ресурсами как функция от вектор-функции \vec{y}_t , компонентами которой являются различные факторы, влияющие на величину прибыли: запроектированные параметры в системе дамб, турбогенераторов и оросительных каналов и т.д.;

$M_t(\vec{x})$ — затраты, связанные с эксплуатацией, ремонтом или заменой оборудования в t -м году, как функция от вектор-функции \vec{x} ;

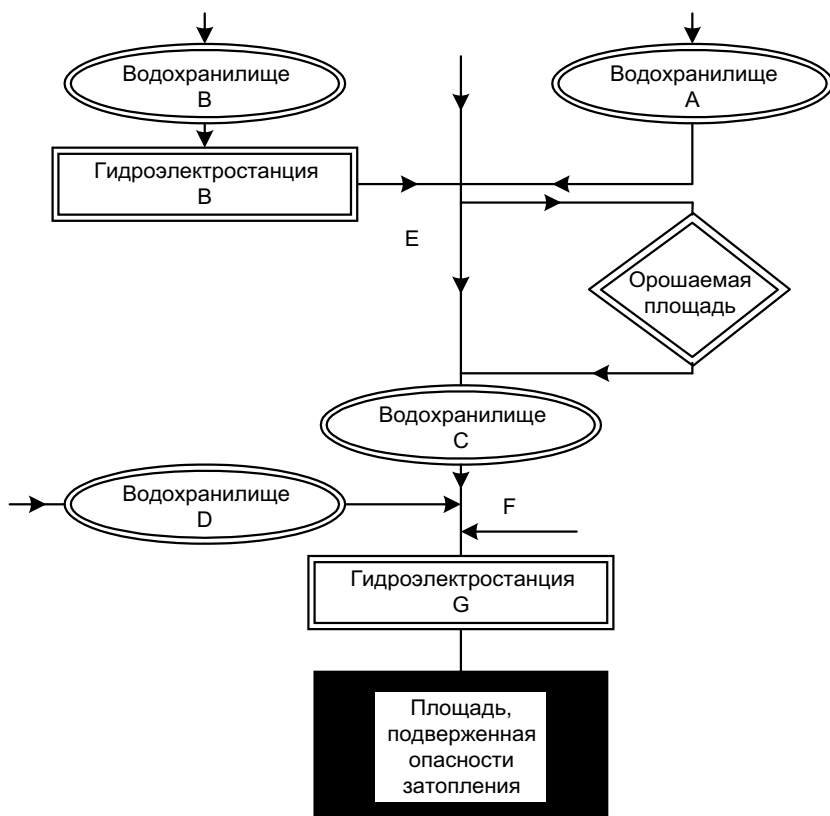


Рис. 12.5. Схематическое изображение системы водных ресурсов

$K(\vec{x})$ — первоначальные капиталовложения на создание системы водных сооружений и подготовку оборудования.

Вкладывая деньги в какое-либо предприятие, следует сравнить доход, получаемый при различных вариантах политики, с доходом, получаемым от вложения той же суммы денег в банк под ежегодный процент. Учитывая формулу сложного процента, т. е. используя дисконтный множитель $\frac{1}{1+r}$, получим следующие выражения для экономической эффективности многоцелевой системы водных ресурсов, эксплуатируемой в течение T лет:

$$R = \sum_{t=1}^T \frac{E_t(y_t) - M_t(x)}{(1+r)^t} - K(x), \quad (12.10)$$

где $\bar{y}_t = y_t$, $\bar{x} = x$.

Анализируя формулу (12.10), заметим, что поскольку в знаменателе стоит величина $(1+r)^t$, вклад $E_t(y_t) - M_t(x)$ в R оказывается тем меньшим, чем позже получена прибыль. Отсюда следует, что нет никакого смысла сохранять ресурсы для будущего и что оптимальной всегда будет политика наиболее интенсивной эксплуатации ресурсов без чрезмерного увеличения величины $M_t(x)$. Другими словами, уравнение (12.10) оправдывает уничтожение всех естественных ресурсов в максимально короткий срок, ограниченный лишь экономическими и технологическими возможностями. Естественный путь — ввести наряду с уравнением (12.10) ограничения (граничные условия), чтобы исключить случаи, когда ежегодно изымаемое количество ресурсов данного типа превышает величину их максимальной величины, сохраняющей устойчивость всей системы. Заметим, что эти ограничения — постоянный источник конфликтов всех заинтересованных групп пользователей.

Одновременно можно учесть и экономические, и биологические факторы, если ввести первые непосредственно в показатель R , а вторые — в граничные условия.

Рассмотрим сначала метод оценки функции $E_t(y_t)$. Во многих случаях прибыль можно рассчитать непосредственно в денежных единицах. Ежегодный доход от орошения земель, постройки электростанций или плотин можно определить, найдя такие элементы вектора y_t , как:

y_1 — урожай, собранный с орошаемой площади;

y_2 — количество электроэнергии;

y_3 — ущерб, причиняемый паводками, которого удалось избежать в результате постройки плотин, и т.д.

Дальше можно вычислить посредством моделирования на ЭВМ доходность различных членов в течение T лет с использованием показателя R . Затем выбрать проект, который соответствует максимальному значению R и совместим с граничными условиями (ограничениями); последние диктуются необходимостью сохранения естественных ресурсов и желанием использовать их

не только для получения электроэнергии или орошения, но и для организации отдыха населения.

Различные способы математического анализа и моделирования рассматриваемой водной системы описаны в работе Мааса [50], в которой перечислены основные этапы исследования. В результате исследования была создана программа для моделирования этой сложной системы. Это следующие этапы:

1. Вначале была схематически описана структура системы в целом (рис. 12.5) и найдены аналогичные случаю одного водохранилища математические уравнения, устанавливающие внутренние функциональные связи между отдельными ее частями. Эти взаимосвязи таковы:

<i>Зависимые переменные</i>	<i>Независимые переменные</i>
Прибыль, получаемая от ирригации	Обеспеченная годовая отдача воды для ирригации
Капитальные затраты на строительство ирригационных сооружений, распределительных систем и насосных станций	Установленная мощность электростанций
Капитальные затраты на строительство гидроэлектростанций	Емкость водохранилища
Ущерб, причиняемый паводками	Расходы воды
Капитальные затраты	Данные о стоках воды во всех частях системы, полученные осреднением наблюдений за 60 лет

2. Были заданы правила работы системы. В частности, с февраля по август система работает следующим образом:

- вода выпускается из водохранилища C до тех пор, пока не будет достигнута заданная отдача, соответствующая предельной пропускной способности станции G , или водохранилище C не опорожнится;
- та же операция повторяется по отношению к водохранилищу D ;
- если возможно, назначается дополнительный пропуск из водохранилища A до тех пор, пока не будет достигнута заданная отдача, соответствующая предельной пропускной способности станции G , или водохранилище A не опорожнится;
- если это возможно, отбирают дополнительное количество воды из водохранилища B до тех пор, пока не будет дос-

тигнута заданная отдача, соответствующая предельной пропускной способности станций B и G , или в водохранилище B не останется только мертвый объем;

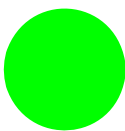
- специально предусматривается емкость для регулирования паводков в апреле, мае и июне;
- в течение марта, апреля и мая вода от отработки резервной емкости пропускается через турбины электростанций B и G до их полной пропускной способности, а вода из водохранилища B обеспечивает требуемую отдачу для ирригации.

Рассмотренная функциональная модель — лишь одна из многих, изученных с помощью этой методики. Она показывает, что для создания компьютерной программы, позволяющей изучать различные стратегии управления, необходим огромный объем информации и детальное знание процессов принятия решений.

Контрольные вопросы



1. Каковы основные этапы системного анализа? Дайте их краткое описание.
2. Как вы понимаете обратную связь? Приведите примеры положительной и отрицательной обратной связи.



Библиографический список к разделам 1—3



1. *Акимова Т.А., Хаскин В.В.* Экология. — М.: ЮНИТИ, 1998.
2. *Ашманов С. А.* Линейное программирование.— М.: Наука, 1981.
3. *Большаков В.Н., Корытин Н.С., Кряжмский Ф.В, Шишмарев В.М.* Новый подход к оценке стоимости биотических компонентов экосистем//Экология. — 1998. — № 5.
4. *Брукс Р.Р.* Химия окружающей среды. — М.: Химия, 1982.
5. *Варшал Г.М., Папина Т.С.* Определение сосуществующих в природных объектах форм ртути. Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах. Аналитический обзор. Часть 1. Физико-химические методы определения ртути и других тяжелых металлов в природных объектах. — Новосибирск, 1989.
6. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. — М., 1962.
7. *Виженский В.А., Петрухин В.А.* Мониторинг фоновое загрязнения природных сред. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. Вып. 6.
8. *Вильямс Дж. Д.,* Совмещенный стратег или букварь по теории стратегических игр: Пер. с англ. — М.: Советское радио, 1960.
9. *Вопросы водной токсикологии /Под ред. А.В. Топачевского и Н.С. Строганова.* — М.: Наука, 1970.
10. *Горстко А.Б.* Познакомьтесь с математическим моделированием. — М.: Знание, 1991.
11. *Делятицкий С., Зайонц И., Чертков Л., Эчзарьян В.* Экологический словарь. — М.: КОНКОРД Лтд – ЭКОПРОМ. 1993.
12. *Джеффферс Дж.* Введение в системный анализ; применение к экологии: Пер. с англ. — М.: Мир, 1981.
13. *Игнатов В.Г., Кокин А.В.* Экологичный менеджмент. — Ростов-на-Дону: АООТ «Ростовское книжное издательство», 1997.
14. *Израэль Ю.А.* Гидрометеорология и контроль состояния природной среды// Проблемы современной гидрометеорологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — С. 230.
15. *Израэль Ю.А.* Роль всестороннего анализа природной окружающей среды в организации оптимального взаимодействия человека с природой//Всесторонний анализ окружающей природной среды. Труды III советско-американского симпозиума. — Л.: Гидрометеиздат, 1978.

16. *Израэль Ю.А.* Экология и контроль состояния природной среды. — М.: Гидрометеиздат, 1984.
17. *Карлин С.* Основы теории случайных процессов: Пер. с англ. — М.: Мир, 1971.
18. *Кинси Дж. Мак.* Введение в теорию игр: Пер. с англ. — М., 1960.
19. *Комплексный* глобальный мониторинг загрязнений окружающей природной среды. Труды II Международного симпозиума. — Л.: Гидрометеиздат, 1982.
20. *Коста М., Хек Дж. Д.* Канцерогенность ионов металлов// Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. — М.: Мир, 1993.
21. *Лапин В.Л., Мартинсен А.Г., Попов В.М.* Основы экологических знаний инженера. — М.: Экология, 1996.
22. *Лисичкин В.А., Шелепин Л. А., Боев Б. В.* Закат цивилизации или движение к ноосфере (экология с разных сторон). — М.: ИЦ-Гарант, 1997.
23. *Мартин Р.* Бионеорганическая химия токсичных ионов металлов// Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. — М.: Мир, 1993.
24. *Миграция* загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах/Под ред. Ц.И. Бобовниковой и С.Г. Малахова. Труды II Всесоюзного Совещания, Обнинск, 1978. — Л.: Гидрометеиздат, 1980.
25. *Моисеев Н.Н.* Алгоритмы развития. — М.: Наука, 1987.
26. *Моисеев Н.Н.* Быть или не быть человечеству? — М.: Россия молодая, 1999.
27. *Одум Ю.* Экология. В 2-х т.: Пер. с англ. — М.: Мир, 1986.
28. *Предельно* допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде. — Л.: Химия, 1975.
29. *Предельно* допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде водоемов санитарно-бытового водопользования и требования к составу и свойствам воды водоемов и пунктов питьевого и культурно-бытового водопользования. — М.: Минздрав СССР. Главное санитарно-эпидемиологическое управление, 1973.
30. *Ревель П., Ревель Ч.* Среда нашего обитания. Книга первая (Народонаселение и пищевые ресурсы): Пер. с англ. — М.: Мир, 1994; Книга вторая (Защита атмосферы и гидросферы).
31. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование. — М.: Мысль, 1990.
32. *Реймерс Н.Ф.* Экология. — М.: Россия молодая, 1994.
33. *Роева Н.Н., Ровинский Ф.Я., Кононов Э.Я.* Специфические особенности поведения тяжелых металлов в различных природных средах // Журнал аналитической химии. — 1996. — Т.51. — № 4.
34. *Саноцкий И.В.* Концепция пороговости реакции живых систем на внешние воздействия и ее следствия в проблеме противохимической защиты биосферы//Всесторонний анализ окружающей природной среды. Труды I советско-американского симпозиума. — Л.: Гидрометеиздат, 1975.

35. *Синицын Ю.Б., Пятова В.Н.* Геологические исследования и охрана недр. (Обзорная информация). Вып. 1. Контроль загрязнения окружающей среды с использованием лазерного спектрографического микроанализа. — М.: МРП Геоинформкомитет РФ по геологии и использованию недр, 1993.
36. *Смит Дж. М.* Модели в экологии: Пер. с англ. — М.: Мир, 1976.
37. *Спозито Г.* Распределение потенциально опасных следов металлов//Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. — М.: Мир, 1993.
38. *Стоянов А., Андреев Г., Дмитров Д.* Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. — Л.: Гидрометеоиздат, 1990. Вып.8.
39. *Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В.* Курс методов оптимизации. — М.: Наука, 1986.
40. *Уатт К.* Экология и управление природными ресурсами. — М.: Мир, 1971.
41. *Форрестер Дж.* Динамика развития города. — М.: Прогресс, 1974.
42. *Химия окружающей среды* /Под ред. Дж.О.М. Бокриса. — М.: Химия, 1982.
43. *Хэммонд П.Б., Фолкс Э.К.* Токсичность иона металла в организме человека и животных//Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. — М.: Мир, 1993.
44. *Цурков В. И.* Динамические задачи большой размерности. — М.: Наука, 1998.
45. *Швайкова М.Д.* Токсикологическая химия. — М.: Медицина, 1975.
46. *Экспериментальная водная токсикология* /Под ред. Г.П. Андрушайтиса. — Рига: Зинатне, 1972.
47. *Эрроусмит Д., Плейс К.* Обыкновенные дифференциальные уравнения (качественная теория с приложениями): Пер. с англ. — Волгоград: Платон, 1997.
48. *Chaston I.* Mathematics for Ecologists, Butterworths, London, 1971.
49. *Lovelock J.E.* Gaia: A New Look at Life on Earth, New York, Oxford University Press, 1979.
50. *Maass A. (ed.)* Design of Water-Resource System; New Techniques for Relating Economic Objectives, Engineering Analysis and Governmental Planning, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1962.
51. *Martin B., Sella F.* The development and implementation of the global Environmental monitoring system. — Doc. VNEP, Nairobi, 1977.
52. *Munn R.E.* Global environmental monitoring system. SCOPE, rep.3. Toronto, 1973.
53. *Suzuki T.* Toxicology of trace elements. Halstead press, 1977.
54. *Williamson M. H.* Introducing students to the concepts of population dynamics. In: The Teaching of Ecology, ed. Lambert J. M., Blackwells, Oxford, 169—175, 1967.

Раздел 4

Безопасность труда



Природа не терпит неточностей
и не прощает ошибок.

Р. Эмерсон

- Глава 13.** Опасные и вредные производственные факторы. Общие понятия
- Глава 14.** Влияние на организм человека метеорологических условий
- Глава 15.** Воздействие на организм человека вредных веществ, содержащихся в воздухе рабочей зоны
- Глава 16.** Производственное освещение
- Глава 17.** Защита от шума, ультра- и инфразвука, вибрации
- Глава 18.** Защита от электромагнитных полей и лазерного излучения
- Глава 19.** Защита от ионизирующих излучений
- Глава 20.** Электробезопасность и молниезащита зданий и сооружений
- Глава 21.** Безопасность работы оборудования под давлением выше атмосферного
- Глава 22.** Пожарная и взрывная безопасность
- Глава 23.** Основные требования безопасности к промышленному оборудованию
- Глава 24.** Обеспечение безопасности при работе с компьютером

13

Опасные и вредные производственные факторы. Общие понятия



В процессе жизнедеятельности человек подвергается воздействию различных опасностей, под которыми обычно понимают явления, процессы, объекты, способные в определенных условиях наносить ущерб здоровью человека непосредственно или косвенно, т.е. вызывать различные нежелательные последствия.

Человек подвергается воздействию опасностей и в своей трудовой деятельности. Эта деятельность осуществляется в пространстве, называемом производственной средой. В условиях производства на человека в основном действуют техногенные, т.е. связанные с техникой, опасности, которые принято называть опасными и вредными производственными факторами.

Опасным производственным фактором (ОПФ) называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или к другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Травма — это повреждение тканей организма и нарушение его функций внешним воздействием. Травма является результатом несчастного случая на производстве, под которым понимают случай воздействия опасного производственного фактора на работающего при выполнении им трудовых обязанностей или заданий руководителя работ.

Вредным производственным фактором (ВПФ) называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или

снижению трудоспособности. Заболевания, возникающие под действием вредных производственных факторов, называются *профессиональными*.

К опасным производственным факторам следует отнести, например:

- электрический ток определенной силы;
- раскаленные тела;
- возможность падения с высоты самого работающего либо различных деталей и предметов;
- оборудование, работающее под давлением выше атмосферного, и т.д.

К вредным производственным факторам относятся:

- неблагоприятные метеорологические условия;
- запыленность и загазованность воздушной среды;
- воздействие шума, инфра- и ультразвука, вибрации;
- наличие электромагнитных полей, лазерного и ионизирующих излучений и др.

Все опасные и вредные производственные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 подразделяются на физические, химические, биологические и психофизиологические.

К *физическим* факторам относят электрический ток, кинетическую энергию движущихся машин и оборудования или их частей, повышенное давление паров или газов в сосудах, недопустимые уровни шума, вибрации, инфра- и ультразвука, недостаточную освещенность, электромагнитные поля, ионизирующие излучения и др.

Химические факторы представляют собой вредные для организма человека вещества в различных состояниях.

Биологические факторы — это воздействия различных микроорганизмов, а также растений и животных.

Психофизиологические факторы — это физические и эмоциональные перегрузки, умственное перенапряжение, монотонность труда.

Четкой границы между опасным и вредным производственными факторами часто не существует. Рассмотрим в качестве примера воздействие на работающего расплавленного металла. Если человек попадает под его непосредственное воздействие (термический ожог), это приводит к тяжелой травме и может закончиться смертью пострадавшего. В этом случае воздействие

расплавленного металла на работающего является согласно определению опасным производственным фактором.

Если же человек, постоянно работая с расплавленным металлом, находится под действием лучистой теплоты, излучаемой этим источником, то под влиянием облучения в организме происходят биохимические сдвиги, наступает нарушение деятельности сердечно-сосудистой и нервной систем. Кроме того, длительное воздействие инфракрасных лучей вредно влияет на органы зрения — приводит к помутнению хрусталика. Таким образом, во втором случае воздействие лучистой теплоты от расплавленного металла на организм работающего является вредным производственным фактором.

Состояние условий труда, при котором исключено воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов, называется безопасностью труда. Безопасность жизнедеятельности в условиях производства имеет и другое название — **охрана труда**. В настоящее время последний термин считается устаревшим, хотя вся специальная отечественная литература, изданная приблизительно до 1990 г., использует именно его.

Охрана труда определялась как система законодательных актов, социально-экономических, организационных, технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности в процессе труда.

Будучи комплексной дисциплиной, «Охрана труда» включала следующие разделы: производственная санитария, техника безопасности, пожарная и взрывная безопасность, а также законодательство по охране труда. Кратко охарактеризуем каждый из этих разделов.

Производственная санитария — это система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие на работающих вредных производственных факторов.

Техника безопасности — система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих воздействие на работающих опасных производственных факторов.

Пожарная и взрывная безопасность — это система организационных и технических средств, направленных на профилактику и ликвидацию пожаров и взрывов, ограничение их последствий.

Законодательство по охране труда составляет часть трудового законодательства.

Одна из самых распространенных мер по предупреждению неблагоприятного воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов — использование средств коллективной и индивидуальной защиты. Первые из них предназначены для одновременной защиты двух и более работающих, вторые — для защиты одного работающего. Так, при загрязнении пылью воздушной среды в процессе производства в качестве коллективного средства защиты может быть рекомендована общеобменная приточно-вытяжная вентиляция, а в качестве индивидуального — респиратор.

Введем понятие основных нормативов безопасности труда. Как уже сказано выше, при безопасных условиях труда исключено воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов. Всегда ли в условиях реального производства можно так организовать технологический процесс, чтобы значения воздействующих на работающих опасных и вредных производственных факторов равнялись нулю (чтобы на работающих не действовали опасные и вредные производственные факторы)?

Эта задача в принципе эквивалентна задаче создания безопасной техники, т. е. достижения абсолютной безопасности труда. Однако абсолютная безопасность либо технически недостижима, либо экономически нецелесообразна, так как стоимость разработки безопасной техники обычно превышает эффект от ее применения. Поэтому при разработке современного оборудования стремятся создать максимально безопасные машины, оборудование, установки и приборы, т. е. свести риск¹ при работе с ними к минимуму. Однако этот параметр не может быть сведен к нулю.

Существующие нормативы безопасности делятся на две большие группы: *предельно допустимые концентрации* (ПДК), характеризующие безопасное содержание вредных веществ химической и биологической природы в воздухе рабочей зоны, а также *предельно допустимые уровни* (ПДУ) воздействия различных опасных и вредных производственных факторов физиче-

¹ Риск — количественная характеристика действия опасностей, формируемых конкретной деятельностью человека.

ской природы (шум, вибрация, ультра- и инфразвук, электромагнитные поля, ионизирующие излучения и т.д.).

По особому нормируются психофизиологические опасные и вредные производственные факторы. Они могут быть охарактеризованы параметрами трудовых (рабочих) нагрузок и (или) показателями воздействия этих нагрузок для человека.

В практических целях нормативы безопасности применяются следующим образом. Предположим, нужно определить, является ли безопасным для работающих воздух рабочей зоны, в котором содержатся пары бензина. По нормативным документам (ГОСТ 12.1.005-88 «Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования») находят, что величина предельно допустимой (безопасной) концентрации (ПДК) этого вещества составляет 100 мг/м^3 . Если действительная концентрация бензина в воздухе не превышает этого значения (например, составляет 90 мг/м^3), то такой воздух является безопасным для работающих. В противном случае необходимо применить специальные меры для снижения повышенной концентрации паров бензина до безопасного значения (например, используя общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию).

Таким же образом для характеристики безопасности при воздействии опасных и вредных производственных факторов физической природы используют понятие предельно допустимого уровня (ПДУ) этого фактора. Если нужно, например, определить безопасные допустимые уровни напряжения и тока, то по справочной литературе¹ находят интересующие значения. Так, для переменного тока частотой 50 Гц (промышленная частота) при продолжительности воздействия на организм человека свыше 1 с эти значения составят: напряжение (U) — 36В, ток (I) — 6 мА ($1 \text{ мА} = 10^{-3}\text{А}$). Действие на организм человека электрического тока с параметрами, превышающими указанные значения, опасно.

Далее рассмотрим влияние основных опасных и вредных факторов, действующих в условиях производства на организм человека.

¹ См.: *Метрологическое обеспечение безопасности труда*. В 2 т. / Под ред. И.Х. Соколяна. Т. 1. Измеряемые параметры физических опасностей и вредных факторов. — М.: Издательство стандартов, 1988.

Контрольные вопросы

1. Дать определение понятий «опасный производственный фактор» (ОПФ) и «вредный производственный фактор» (ВПФ). Существует ли между ними четкая граница?
2. Как подразделяются опасные и вредные производственные факторы?
3. Дать определение понятий «безопасность труда», «производственная санитария», «техника безопасности», «пожарная и взрывная безопасность».
4. Что такое средства коллективной и индивидуальной защиты?
5. Какие основные нормативы безопасности труда вы знаете?

14

Влияние на организм человека метеорологических условий



14.1. Основные параметры микроклимата в производственных помещениях

В процессе труда в производственном помещении человек находится под влиянием определенных метеорологических условий, или микроклимата — климата внутренней среды этих помещений. К основным нормируемым показателям микроклимата воздуха рабочей зоны¹ относятся температура (t , °С), относительная влажность (φ , %), скорость движения воздуха (V , м/с). Существенное влияние на параметры микроклимата и состояние человеческого организма оказывает также интенсивность теплового излучения (I , Вт/м²) различных нагретых поверхностей, температура которых превышает температуру в производственном помещении.

Относительная влажность воздуха представляет собой отношение фактического количества паров воды в воздухе при данной температуре D (г/м³) к количеству водяного пара, насыщающего воздух при этой температуре, D_0 (г/м³): $\varphi = \left(\frac{D}{D_0} \right) \cdot 100\%$.

Если в производственном помещении находятся различные источники тепла, температура которых превышает температуру человеческого тела, то тепло от них самопроизвольно переходит к менее нагретому телу, т. е. к человеку. Известно, что различают три принципиально разных элементарных способа распро-

¹ Воздух рабочей зоны — это воздушная среда в пространстве высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, где находятся рабочие места.

странения тепла: теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение.

Теплопроводность представляет собой перенос тепла вследствие беспорядочного (теплого) движения микрочастиц (атомов, молекул или электронов), непосредственно соприкасающихся друг с другом. *Конвекцией* называется перенос тепла вследствие движения и перемешивания макроскопических объемов газа или жидкости. *Тепловое излучение* — это процесс распространения электромагнитных колебаний с различной длиной волны, обусловленный тепловым движением атомов или молекул излучающего тела. В реальных условиях тепло передается не каким-либо одним из указанных выше способов, а комбинированным.

Тепло, поступающее в производственное помещение от различных источников, влияет на температуру воздуха в нем. В производственных помещениях с большим тепловыделением приблизительно 2/3 тепла поступает за счет излучения, а практически все остальное количество приходится на долю конвекции. Количество тепла, переданного окружающему воздуху конвекцией (Q_k , Вт), при непрерывном процессе теплоотдачи может быть рассчитано по закону теплоотдачи Ньютона, который для непрерывного процесса теплоотдачи записывается в виде:

$$Q_k = \alpha S (t - t_b),$$

где α — коэффициент конвекции, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$;

S — площадь теплоотдачи, м^2 ;

t — температура источника, $^{\circ}\text{C}$;

t_b — температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Источником теплового излучения в производственных условиях является расплавленный или нагретый металл, открытое пламя, нагретые поверхности оборудования.

Количество тепла, переданного посредством излучения ($Q_{\text{и}}$, Дж) от более нагретого твердого тела с температурой T_1 К к менее нагретому телу с температурой T_2 К, определяется по уравнению:

$$Q_{\text{и}} = C_{1-2} \cdot S \tau \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \Theta,$$

где S — поверхность излучения, м^2 ;

τ — время, с;

C_{1-2} — коэффициент взаимного излучения, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$;

Θ — средний угловой коэффициент, определяемый формой и размерами участвующих в теплообмене поверхностей, их взаимным расположением в пространстве и расстоянием между ними.

Человек в процессе труда постоянно находится в состоянии теплового взаимодействия с окружающей средой. Для нормального протекания физиологических процессов в организме человека требуется поддержание практически постоянной температуры его внутренних органов (приблизительно 36,6°C). Способность человеческого организма к поддержанию постоянной температуры носит название *терморегуляции*. Терморегуляция достигается отводом выделяемого организмом тепла в процессе жизнедеятельности в окружающее пространство.

Величина тепловыделения организмом человека зависит от степени его физического напряжения и параметров микроклимата в производственном помещении и составляет в состоянии покоя 85 Вт, возрастая до 500 Вт при тяжелой физической работе.

Теплоотдача от организма человека в окружающую среду происходит следующими путями: в результате теплопроводности через одежду (Q_T); конвекции тела (Q_K), излучения на окружающие поверхности ($Q_{И}$), испарения влаги с поверхности кожи ($Q_{Исп}$), а также за счет нагрева выдыхаемого воздуха (Q_B), т. е.:

$$Q_{\text{общ}} = Q_T + Q_K + Q_{И} + Q_{\text{Исп}} + Q_B.$$

Представленное уравнение носит название *уравнения теплового баланса*. Вклад перечисленных выше путей передачи тепла непостоянен и зависит от параметров микроклимата в производственном помещении, а также от температуры окружающих человека поверхностей (стен, потолка, оборудования и др.). Если температура этих поверхностей ниже температуры человеческого тела, то теплообмен излучением идет от организма человека к холодным поверхностям. В противном случае теплообмен осуществляется в обратном направлении — от нагретых поверхностей к человеку. Теплоотдача конвекцией зависит от температуры воздуха в помещении и скорости его движения на рабочем месте, а отдача теплоты путем испарения — от относительной влажности и скорости движения воздуха. Основную долю в процессе отвода тепла от организма человека (порядка 90% общего количества тепла) вносят излучение, конвекция и испарение.

Нормальное тепловое самочувствие человека при выполнении им работы любой категории тяжести достигается при соблюдении теплового баланса, уравнение которого приведено выше. Рассмотрим, как влияют основные параметры микроклимата на теплоотдачу от организма человека в окружающую среду.

Влияние температуры окружающего воздуха на человеческий организм связано в первую очередь с сужением или расширением кровеносных сосудов кожи. Под действием низких температур воздуха кровеносные сосуды кожи сужаются, в результате чего замедляется поток крови к поверхности тела и снижается теплоотдача от поверхности тела за счет конвекции и излучения. При высоких температурах окружающего воздуха наблюдается обратная картина: за счет расширения кровеносных сосудов кожи и увеличения притока крови существенно увеличивается теплоотдача в окружающую среду.

Повышенная влажность ($\varphi > 85\%$) затрудняет теплообмен между организмом человека и внешней средой вследствие уменьшения испарения влаги с поверхности кожи, а низкая влажность ($\varphi < 20\%$) приводит к пересыханию слизистых оболочек дыхательных путей. Движение воздуха в производственном помещении улучшает теплообмен между телом человека и внешней средой, но излишняя скорость движения воздуха (сквозняки) повышает вероятность возникновения простудных заболеваний.

Постоянное отклонение от нормальных параметров микроклимата приводит к перегреву или переохлаждению человеческого организма и связанным с ними негативным последствиям: при перегреве — к обильному потоотделению, учащению пульса и дыхания, резкой слабости, головокружению, появлению судорог, а в тяжелых случаях — возникновению теплового удара. При переохлаждении возникают простудные заболевания, хронические воспаления суставов, мышц и др.

Для исключения перечисленных выше негативных последствий необходимо правильно выбирать параметры микроклимата в производственных помещениях.

В отечественных нормативных документах введены понятия оптимальных и допустимых параметров микроклимата. *Оптимальными микроклиматическими условиями* являются такие сочетания количественных параметров микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового

состояния организма без напряжения механизмов терморегуляции. Они обеспечивают ощущение теплового комфорта и создают предпосылки для высокого уровня работоспособности.

Допустимыми условиями являются такие сочетания количественных параметров микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать переходящие и быстро нормализующиеся изменения функционального и теплового состояния организма, сопровождающиеся напряжением механизмов терморегуляции, не выходящим за пределы физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникает повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут наблюдаться ухудшение самочувствия и снижение работоспособности.

В ГОСТе 12. 1.005-88 «Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования» представлены оптимальные и допустимые параметры микроклимата в производственном помещении в зависимости от тяжести выполняемых работ, количества избыточного тепла в помещении и сезона (времени года).

В соответствии с этим ГОСТом различают холодный и переходный периоды года (со среднесуточной температурой наружного воздуха ниже $+10^{\circ}\text{C}$), а также теплый период года (с температурой $+10^{\circ}\text{C}$ и выше). Все категории выполняемых работ подразделяются на: легкие (энергозатраты до 172 Вт), средней тяжести (энергозатраты до 172–293 Вт) и тяжелые (энергозатраты более 293 Вт). По количеству избыточного тепла все производственные помещения делятся на помещения с незначительными избытками явной теплоты¹ ($Q_{я\text{т}} \leq 23,2\text{Дж}/\text{м}^3\cdot\text{с}$) и помещения со значительным избытком явной теплоты ($Q_{я\text{т}} > 23,2\text{Дж}/\text{м}^3\cdot\text{с}$). Производственные помещения с незначительными избытками явной теплоты относятся к «холодным цехам», а со значительными — к «горячим».

В качестве примера определим оптимальные и допустимые параметры микроклимата на постоянных рабочих местах исходя из следующих показателей: категория работ — тяжелая, период года — холодный, помещения — с незначительным избытком явной теплоты.

¹ Явная теплота — это теплота, поступающая в производственное помещение от оборудования, отопительных приборов, солнечного нагрева, людей и других источников воздействия на температуру воздуха в этом помещении.

По ГОСТу 12.1.005-88 находим следующие параметры микроклимата:

<i>Параметр</i>	<i>Величина параметра</i>	
	<i>Оптимальная</i>	<i>Допустимая</i>
Температура воздуха, °С	16—18	13—19
Относительная влажность воздуха, %	40—60	Не более 75
Скорость движения воздуха, м/с	Не более 0,3	Не более 0,5

При постоянном тепловом облучении человеческого организма наступают нарушения в деятельности его основных систем и в первую очередь сердечно-сосудистой и нервной систем. Предельно допустимый уровень (нормируемое значение) интенсивности теплового излучения при облучении поверхности тела:

50% и более — 35,0 Вт/м²
 От 25 до 50% — 70,0 Вт/м²
 Не более 25% — 100 Вт/м²

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяют следующие основные мероприятия: механизацию и автоматизацию технологических процессов, защиту от источников теплового излучения, устройство систем вентиляции, кондиционирования воздуха и отопления.

Кроме того, важное значение имеет правильная организация труда и отдыха работников, выполняющих трудоемкие работы или работы в горячих цехах. Для этих категорий работников устраивают специальные места отдыха в помещениях с нормальной температурой, оснащенных системой вентиляции и снабжения питьевой водой.

Рассмотрим более подробно перечисленные мероприятия. Механизация и автоматизация производственного процесса позволяют либо резко снизить трудовую нагрузку на работающих (массу поднимаемого и перемещаемого вручную груза, расстояние перемещения груза, уменьшить переходы, обусловленные технологическим процессом, и др.), либо вовсе убрать человека из производственной среды, переложив его трудовые функции на автоматизированные машины и оборудование. Однако автоматизация технологических процессов требует значительных экономических затрат, что затрудняет внедрение указанных мероприятий в производственную практику.

Для защиты от теплового излучения используют различные теплоизолирующие материалы, устраивают теплозащитные экраны и специальные системы вентиляции (воздушное душирование). Перечисленные выше средства защиты носят обобщающее понятие *теплозащитных средств*. Теплозащитные средства должны обеспечивать тепловую облученность на рабочих местах не более 350 Вт/м^2 и температуру поверхности оборудования не выше 35°C при температуре внутри источника тепла до 100°C и не выше 45°C — при температуре внутри источника тепла выше 100°C .

Основным показателем, характеризующим эффективность теплоизоляционных материалов, является низкий коэффициент теплопроводности¹, который составляет для большинства из них $0,025\text{—}0,2 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

Для теплоизоляции используют различные материалы, например, асбестовую ткань и картон, специальные бетон и кирпич, минеральную и шлаковую вату, стеклоткань, углеродный войлок и др. Так, в качестве теплоизоляционных материалов для трубопроводов пара и горячей воды, а также для трубопроводов холодоснабжения, используемых в промышленных холодильниках, могут быть использованы материалы из минеральной ваты.

Теплозащитные экраны используют для локализации источников теплового излучения, снижения облученности на рабочих местах, а также для снижения температуры поверхностей, окружающих рабочее место. Часть теплового излучения экраны отражают, а часть поглощают.

Для количественной характеристики защитного действия экрана используют следующие показатели: кратность ослабления теплового потока (m), а также эффективность действия экрана ($\eta_э$). Эти характеристики выражаются следующими зависимостями:

$$m = \frac{E_1}{E_2} \text{ и } \eta_э = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \cdot 100 \%,$$

где E_1 и E_2 — интенсивность теплового облучения на рабочем месте соответственно до и после установки экранов, Вт/м^2 .

¹ Коэффициент теплопроводности или теплопроводность (λ) показывает, какое количество тепла проходит за счет теплопроводности в единицу времени через единичную площадь стенки при разности температур между поверхностями стенки один градус. В системе СИ размерность — $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$.

Таким образом, показатель m определяет, во сколько раз первоначальный тепловой поток на рабочем месте превышал тепловой поток на рабочем месте после установки экрана, а показатель η_3 — какая часть из первоначального теплового потока доходит до рабочего места, защищенного экраном. Эффективность η_3 для большинства экранов лежит в пределах 50—98,8%.

Различают теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие экраны. Теплоотражающие экраны изготавливаются из алюминия или стали, а также фольги или сетки на их основе. Теплопоглощающие экраны представляют собой конструкции из огнеупорного кирпича (типа шамота), асбестового картона или стекла (прозрачные экраны). Теплоотводящие экраны — это полые конструкции, охлаждаемые изнутри водой.

Своеобразным теплоотводящим прозрачным экраном служит так называемая водяная завеса, которую устраивают у технологических отверстий промышленных печей и через которую вводят внутрь печей инструменты, обрабатываемые материалы, загрузки и др.

14.2. Создание требуемых параметров микроклимата в производственных помещениях

Для создания требуемых параметров микроклимата в производственном помещении применяют системы вентиляции и кондиционирования воздуха, а также различные отопительные устройства. Вентиляция представляет собой смену воздуха в помещении, предназначенную поддерживать в нем соответствующие метеорологические условия и чистоту воздушной среды.

Вентиляция помещений достигается удалением из них нагретого или загрязненного воздуха и подачей чистого наружного воздуха. Поскольку в данной главе рассматриваем системы вентиляции, предназначенные для обеспечения заданных метеорологических условий, рассмотрим общеобменную вентиляцию, которая осуществляет смену воздуха во всем помещении. Другие типы вентиляции рассмотрены далее.

Общеобменная вентиляция предназначена для поддержания требуемых параметров воздушной среды во всем объеме помещения. Схема такой системы вентиляции представлена на рис. 14.1.

Для эффективной работы системы общеобменной вентиляции при поддержании требуемых параметров микроклимата количество воздуха, поступающего в помещение ($L_{\text{пр}}$), должно быть практически равно количеству воздуха, удаляемого из него ($L_{\text{выт}}$).

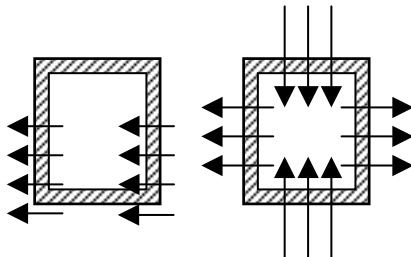


Рис. 14.1. Схема общеобменной вентиляции (стрелками показано направление движения воздуха)

Количество приточного воздуха, требуемого для удаления избытков явной теплоты из помещения ($Q_{\text{изб}}$, кДж/ч), определяется выражением:

$$L_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{изб}}}{C_{\rho_{\text{пр}}}(t_{\text{выт}} - t_{\text{пр}})}, \quad (14.1)$$

где: $L_{\text{пр}}$ — требуемое количество приточного воздуха, м³/ч; C — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, равная 1 кДж/(кг·град); $\rho_{\text{пр}}$ — плотность приточного воздуха, кг/м³; $t_{\text{выт}}$ — температура удаляемого воздуха, °С; $t_{\text{пр}}$ — температура приточного воздуха, °С.

Для эффективного удаления избытков явной теплоты температура приточного воздуха должна быть на 5—8°С ниже температуры воздуха в рабочей зоне.

Количество приточного воздуха, необходимого для удаления влаги, выделившейся в помещении, рассчитывают по формуле:

$$L_{\text{пр}} = \frac{G_{\text{ВП}}}{\rho_{\text{пр}}(d_{\text{вых}} - d_{\text{прит}})}, \quad (14.2)$$

где $G_{\text{ВП}}$ — масса водяных паров, выделяющихся в помещении, г/ч; $d_{\text{выт}}$ — содержание влаги в удаляемом из помещения воздухе, г/кг; $d_{\text{прит}}$ — содержание влаги в наружном воздухе, г/кг; $\rho_{\text{пр}}$ — плотность приточного воздуха, кг/м³.

При одновременном выделении в производственном помещении паров влаги и избыточной теплоты последовательно про-

водят расчет по формулам (14.1) и (14.2) и в качестве искомого результата используют большее из полученных значений.

По способу перемещения воздуха вентиляция может быть как естественной, так и с механическим побуждением, возможно также сочетание этих двух способов. При *естественной* вентиляции воздух перемещается за счет разности температур в помещении и наружного воздуха, а также в результате ветрового давления (действия ветра). Способы естественной вентиляции: инфильтрация, проветривание, аэрация, с использованием дефлекторов.

При *механической* вентиляции воздух перемещается с помощью специальных воздуходувных машин-вентиляторов, создающих определенное давление и служащих для перемещения воздуха в вентиляционной сети. Чаще всего на практике используют осевые и радиальные вентиляторы.

По месту действия вентиляция бывает общеобменной и местной. *Общеобменная* вентиляция обеспечивает поддержание требуемых параметров воздушной среды во всем объеме помещения, а *местная* – в определенной его части.

Воздух, всасываемый вентиляторами из атмосферы, после очистки и подогрева поступает в специальные каналы, называемые воздуховодами, и разводится по производственному помещению. Такая вентиляция называется *приточной*. Нагретый воздух из помещения, содержащий водяные пары, отводится из помещения с помощью системы вытяжной вентиляции.

Приточная и вытяжная ветвь вентиляции могут быть объединены, в этом случае система вентиляции называется *приточно-вытяжной*. Большое распространение на практике получила приточно-вытяжная вентиляция с рециркуляцией воздуха. Для нее характерно использование части воздуха, удаляемого из помещения и прошедшего очистку в системе приточной вентиляции. При этом рециркулирующий воздух разбавляется частью свежего воздуха, поступающего из атмосферы. Использование такой системы вентиляции позволяет снизить расходы на очистку воздуха, поступающего из атмосферы, и на его нагрев в холодное время года.

Как уже сказано выше, для создания требуемых параметров микроклимата на определенном участке производственного помещения служит местная приточная вентиляция. В отличие от

общеобменной приточной вентиляции она подает воздух не во все помещения, а лишь в ограниченную часть. Различают следующие устройства местной приточной вентиляции: воздушные души и оазисы, а также воздушно-тепловые завесы.

Воздушные души применяются для защиты работающих от воздействия теплового излучения интенсивностью 350 Вт/м^2 и более. Принцип действия этого устройства основан на обдуве работающего струей увлажненного воздушного потока, скорость которого составляет $1\text{--}3,5 \text{ м/с}$. При этом увеличивается теплоотдача от организма человека в окружающую среду.

В *воздушных оазисах*, представляющих собой часть производственного помещения, ограниченного со всех сторон переносными перегородками, создаются требуемые параметры микроклимата. Указанные источники используются в горячих цехах.

Для защиты людей от переохлаждения в холодное время года в дверных проемах и воротах устраивают *воздушные* и *воздушно-тепловые завесы*. Принцип их работы основан на том, что под углом к холодному воздушному потоку, поступающему в помещение, направлен воздушный поток (комнатной температуры или подогретый), который либо снижает скорость и изменяет направление холодного воздушного потока, уменьшая вероятность возникновения сквозняков в производственном помещении, либо подогревает холодный поток (в случае воздушно-тепловой завесы). Такие воздушно-тепловые завесы установлены на входах на станции метрополитена, а также в дверях крупных магазинов.

В настоящее время для поддержания требуемых параметров микроклимата широко применяются установки для кондиционирования воздуха (кондиционеры). *Кондиционированием воздуха* называется создание и автоматическое поддержание в производственных или бытовых помещениях независимо от внешних метеорологических условий постоянных или изменяющихся по определенной программе температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, сочетание которых создает комфортные условия труда или требуется для нормального протекания технологического процесса. Кондиционер — это автоматизированная вентиляционная установка, которая поддерживает в помещении заданные параметры микроклимата. Эксплуатация установок для кондиционирования воздуха обычно дороже, чем вентиляционных систем.

Для поддержания заданной температуры воздуха в помещениях в холодное время года используют различные системы отопления: водяная, паровая, воздушная и комбинированная.

В системах *водяного отопления* в качестве теплоносителя используется вода, нагретая либо до 100°С либо перегретая выше этой температуры. Эти системы отопления наиболее эффективны в санитарно-гигиеническом отношении.

Системы *парового отопления* используются, как правило, в промышленных помещениях. Теплоносителем в них является водяной пар низкого или высокого давления.

В *воздушных системах* для отопления используется нагретый в специальных установках (калориферах) воздух. *Комбинированные системы* отопления используют в качестве элементов расчлененные выше системы отопления.

Параметры микроклимата в производственных помещениях контролируются различными контрольно-измерительными приборами. Для измерения температуры воздуха в производственных помещениях применяют ртутные (для измерения температуры выше 0°С) и спиртовые (для измерения температуры ниже 0°С) термометры. Если требуется постоянная регистрация изменения температуры во времени, используют приборы, называемые термографами. Например, отечественный прибор — термограф типа М-16 — регистрирует изменение температуры за определенный период (сутки или неделю). Существуют и другие устройства для измерения температуры воздуха, например, термопары.

Для измерения относительной влажности воздуха используются приборы, называемые психрометрами и гигрометрами, а для регистрации изменения этого параметра во времени служит гигрограф.

Простейший психрометр — это устройство, состоящее из сухого и влажного термометров. У влажного термометра резервуар обернут гигроскопической тканью, конец которой опущен в стаканчик с дистиллированной водой. Сухой термометр показывает температуру воздуха в производственном помещении, а влажный — более низкую температуру, так как испаряющаяся с поверхности влажной ткани вода отнимает тепло у резервуара термометра. Существуют специальные переводные психрометрические таблицы, позволяющие по температурам сухого и влажного термометров определять относительную влажность воздуха в помещении.

Более сложным по конструкции, но и более точным является так называемый аспирационный психрометр, который также состоит из сухого и влажного термометров, помещенных в металлические трубки и обдуваемых воздухом со скоростью 3—4 м/с, в результате чего повышается стабильность показаний термометров и практически устраняется влияние теплового излучения. Определение относительной влажности осуществляется также с использованием психрометрических таблиц. Аспирационные психрометры, например МВ-4М или М-34, могут быть использованы для одновременного измерения в помещении температуры воздуха и относительной влажности.

Другим устройством для определения относительной влажности служит гигрометр, действие которого основано на свойстве некоторых органических веществ (органических мембран, человеческого волоса) удлиняться во влажном воздухе и укорачиваться в сухом. Измеряя деформацию чувствительного элемента (мембраны или волоса), можно судить о величине относительной влажности в производственном помещении. Гигрографы записывают изменения величины относительной влажности как функцию времени. Примером такого гигрографа может служить прибор типа М-21, который осуществляет суточную или недельную запись регистрируемого параметра.

Скорость движения воздуха в производственном помещении измеряется приборами — анемометрами.

Работа крыльчатого анемометра основана на изменении скорости вращения специального колеса, оснащенного алюминиевыми крыльями, расположенными под углом 45° к плоскости, перпендикулярной оси вращения колеса. Ось колеса соединена со счетчиком оборотов. При изменении скорости воздушного потока изменяется и скорость вращения колеса, т. е. увеличивается (уменьшается) число оборотов за определенный промежуток времени. По этой информации можно определить скорость воздушного потока.

Крыльчатые анемометры рекомендуется применять для измерения скорости воздушного потока в интервале 0,4—10 м/с, при скоростях 1—35 м/с применяются чашечные анемометры, в которых крылья заменены чашечками. Примером крыльчатого анемометра служит прибор АСО-3 тип Б, чашечного — тип МС-13.

Существуют и другие приборы для измерения скорости движения воздуха: шаровые или цилиндрические кататермометры и термоанемометры.

Интенсивность теплового излучения в отечественной практике измеряют актинометрами, действие которых основано на поглощении теплового излучения и регистрации выделившейся тепловой энергии. Простейший тепловой приемник — термопара. Она представляет собой электрический контур из двух проволок, изготовленных из различных материалов (как металлов, так и полупроводников), например медь—константан, серебро—палладий, серебро—висмут, висмут—сурьма, вольфрам—рений и др. Две проволоки из различных материалов сваривают или спаивают между собой. Тепловое излучение нагревает один из спаев двух проволок, в то время как другой спай служит для сравнения и поддерживается при постоянной температуре (T_0). Электрическая схема термопары представлена на рис. 14.2.

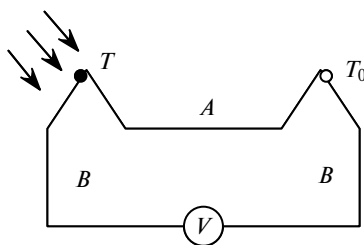


Рис. 14.2. Термопара, состоящая из материала *A* и *B*

Две проволоки из материалов *A* и *B* составляют электрический контур. При нагреве одного из спаев тепловым излучением до температуры T возникает термоЭДС V_{AB} , величина которой измеряется вольтметром. ТермоЭДС в большом интервале температур прямо пропорциональна разности $T - T_0$ (где T_0 — температура холодного слоя термопары):

$$V_{AB} = \varepsilon_{AB} (T - T_0).$$

Величина ε_{AB} носит название коэффициента Зеебека для веществ *A* и *B*. Этот эффект называют термоэлектрическим или эффектом Зеебека в честь его открывателя (1821 г.). Иногда n термопар соединяют между собой последовательно, получая при этом термоэлектрическую батарею. ТермоЭДС и соответственно чувствительность этого прибора в n раз выше, чем у обычной термопары, что позволяет измерять тепловое излучение малой интенсивности.

В основу промышленных приборов для измерения интенсивности теплового излучения — актинометров — положен принцип термоэлектрической батареи. Чувствительный элемент актинометра состоит из алюминиевой пластинки, на которой в шахматном порядке расположены зачерненные и блестящие секции. Зачерненные полосы интенсивно поглощают тепловое излучение, а блестящие отражают его, поэтому первые из них нагреваются значительно сильнее, чем вторые. Положительные спаи термопар, соединенные между собой последовательно, присоединены к зачерненным полоскам алюминиевой фольги и нагреваются под воздействием теплового излучения значительно сильнее, чем отрицательные спаи, присоединенные к блестящим полоскам. Под воздействием разности температур возникает термоЭДС, которая измеряется чувствительным прибором, отградуированным в единицах тепловой радиации ($Вт/м^2$).

При отклонении параметров микроклимата от величин, создающих комфортные условия, большое значение имеет правильный выбор спецодежды. При работе в помещениях с пониженной температурой воздуха необходимо использовать утепленную спецодежду. Для персонала, занятого в горячих цехах, используют спецодежду, изготовленную из материалов с низкой теплопроводностью.

Контрольные вопросы



1. Что такое воздух рабочей зоны?
2. Какие основные нормируемые показатели микроклимата воздуха рабочей зоны вы знаете?
3. Что является источниками теплового излучения?
4. Что такое терморегуляция человеческого организма?
5. Из каких основных процессов состоит теплоотдача человеческого организма в окружающую среду?
6. Как влияют на человеческий организм температура окружающего воздуха, его относительная влажность и скорость движения?
7. Как выбирают параметры микроклимата в производственном помещении?
8. Дайте определение понятий «оптимальные параметры микроклимата» и «допустимые параметры микроклимата».

9. Какие мероприятия используют для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне?
10. Дайте определение понятий «вентиляция воздуха» и «кондиционирование воздуха».
11. Как рассчитать количество приточного воздуха, требуемого для удаления избытков явной теплоты и влаги из помещения?
12. Что такое естественная вентиляция и вентиляция с механическим побуждением?
13. Дайте определение понятий «приточная вентиляция», «вытяжная вентиляция» и «приточно-вытяжная вентиляция».
14. Что такое воздушные души, воздушные оазисы, воздушные и воздушно-тепловые завесы?
15. Какие системы отопления вы знаете?
16. Назовите приборы и устройства для измерения метеорологических условий.

15

Воздействие на организм человека вредных веществ, содержащихся в воздухе рабочей зоны



15.1. Виды вредных веществ

Выполнение различных видов работ в промышленности сопровождается выделением в воздушную среду вредных веществ. *Вредное вещество* — это вещество, которое в случае нарушения требований безопасности может вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящих и последующих поколений.

Наиболее благоприятен для дыхания атмосферный воздух, содержащий (% по объему) азота — 78,08, кислорода — 20,95, инертных газов — 0,93, углекислого газа — 0,03, прочих газов — 0,01.

Необходимо обращать внимание и на содержание в воздухе заряженных частиц — ионов. Так, например, известно благотворное влияние на организм человека отрицательно заряженных ионов кислорода воздуха.

Вредные вещества, выделяющиеся в воздух рабочей зоны, изменяют его состав, в результате чего он существенно может отличаться от состава атмосферного воздуха.

При проведении различных технологических процессов в воздух выделяются твердые и жидкие частицы, а также пары и газы. Пары и газы образуют с воздухом смеси, а твердые и жидкие частицы — аэродисперсные системы — аэрозоли. *Аэрозолями* называют воздух или газ, содержащие в себе взвешенные твердые или жидкие частицы. Аэрозоли принято делить на пыль, дым, туман. Пыли или дымы — это системы, состоящие из воздуха или газа и распределенных в них частиц твердого вещества,

а туманы — системы, образованные воздухом или газом и частицами жидкости.

Размеры твердых частиц пылей превышают 1 мкм¹, а размеры твердых частиц дыма меньше этого значения. Различают крупнодисперсную (размер твердых частиц более 50 мкм), среднедисперсную (от 10 до 50 мкм) и мелкодисперсную (размер частиц менее 10 мкм) пыль. Размер жидких частиц, образующих туманы, обычно лежит в пределах от 0,3 до 5 мкм.

Проникновение вредных веществ в организм человека происходит через дыхательные пути (основной путь), а также через кожу и с пищей, если человек принимает ее, находясь на рабочем месте. Действие этих веществ следует рассматривать как воздействие опасных или вредных производственных факторов, так как они оказывают негативное (токсическое²) действие на организм человека. В результате воздействия этих веществ у человека возникает отравление — болезненное состояние, тяжесть которого зависит от продолжительности воздействия, концентрации и вида вредного вещества.

Существуют различные классификации вредных веществ, в основу которых положено их действие на человеческий организм. В соответствии с наиболее распространенной (по Е.Я. Юдину и С.В. Белову) классификацией вредные вещества делятся на шесть групп: общетоксические, раздражающие, сенсibiliзирующие, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную (детородную) функцию человеческого организма.

Общетоксические вещества вызывают отравление всего организма. Это оксид углерода, свинец, ртуть, мышьяк и его соединения, бензол и др.

Раздражающие вещества вызывают раздражение дыхательного тракта и слизистых оболочек человеческого организма. К этим веществам относятся: хлор, аммиак, пары ацетона, оксиды азота, озон и ряд других веществ.

*Сенсibiliзирующие*³ *вещества* действуют как аллергены, т.е. приводят к возникновению аллергии⁴ у человека. Этим свойст-

¹ 1 мкм (1 микрометр) = 10⁻⁶ м.

² Токсичность — ядовитость, способность некоторых химических и биологических веществ оказывать вредное воздействие на живые организмы.

³ Сенсibiliзация — повышение реактивной чувствительности клеток и тканей человеческого организма.

⁴ Аллергия — необычные, ненормальные, реакции организма, например появление сыпи.

вом обладают формальдегид, различные нитросоединения, никотинамид, гексахлоран и др.

Воздействие *канцерогенных веществ* на организм человека приводит к возникновению и развитию злокачественных опухолей (раковых заболеваний). Канцерогенными являются оксиды хрома, 3,4-бензпирен, бериллий и его соединения, асбест и др.

Мутагенные вещества при воздействии на организм вызывают изменение наследственной информации. Это радиоактивные вещества, марганец, свинец и т.д.

Среди *веществ, влияющих на репродуктивную функцию человеческого организма*, следует в первую очередь назвать ртуть, свинец, стирол, марганец, ряд радиоактивных веществ и др.

Пыль, попадая в организм человека, оказывает фиброгенное воздействие, заключающееся в раздражении слизистых оболочек дыхательных путей. Оседая в легких, пыль задерживается в них. При длительном вдыхании пыли возникают профессиональные заболевания легких — пневмокониозы. При вдыхании пыли, содержащей свободный диоксид кремния (SiO_2), развивается наиболее известная форма пневмокониоза — силикоз. Если диоксид кремния находится в связанном с другими соединениями состоянии, возникает профессиональное заболевание — силикатоз. Среди силикатозов наиболее распространены асбестоз, цементоз, талькоз.

Для воздуха рабочей зоны производственных помещений в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 устанавливают предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ. ПДК выражаются в миллиграммах (мг) вредного вещества, приходящегося на 1 кубический метр воздуха, т. е. мг/м³.

В соответствии с указанным выше ГОСТом установлены ПДК для более чем 1300 вредных веществ. Еще приблизительно для 500 вредных веществ установлены ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ).

По ГОСТ 12.1.005-88 все вредные вещества по степени воздействия на организм человека подразделяются на следующие классы: 1 — чрезвычайно опасные, 2 — высокоопасные, 3 — умеренно опасные, 4 — малоопасные. Опасность устанавливается в зависимости от величины ПДК, средней смертельной дозы и зоны острого или хронического действия.

Если в воздухе содержится вредное вещество, то его концентрация не должна превышать величины ПДК.

При одновременном присутствии в воздушной среде нескольких вредных веществ, обладающих односторонним действием, должно соблюдаться условие:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \frac{C_3}{ПДК_3} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1, \quad (15.1)$$

где $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ — фактические концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м³;

$ПДК_1, ПДК_2, ПДК_3, \dots, ПДК_n$ — предельно допустимые концентрации этих веществ в воздухе рабочей зоны.

Примеры предельно допустимых концентраций различных веществ представлены в табл. 15.1.

Т а б л и ц а 15.1. **Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ**

<i>Название вещества</i>	<i>Химическая формула</i>	<i>ПДК, мг/м³</i>	<i>Класс опасности</i>	<i>Агрегатное состояние</i>
Бензпирен (3,4-бензпирен)	C ₂₀ H ₁₂	0,00015	1	Пары
Бериллий и его соединения (в пересчете на бериллий)	Be	0,001	1	Аэрозоль
Свинец	Pb	0,01	1	Аэрозоль
Хлор	Cl ₂	1,0	2	Газ
Серная кислота	H ₂ SO ₄	1,0	2	Пары
Хлорид водорода	HCl	5,0	2	Газ
Диоксид азота	NO ₂	2,0	3	Газ
Спирт метиловый	CH ₃ OH	5,0	3	Пары
Оксид углерода	CO	20	4	Газ
Топливный бензин	C ₇ H ₁₆	100	4	Пары
Ацетон	CH ₃ COCH ₃	200	4	Пары

15.2. Оздоровление воздушной среды

Оздоровление воздушной среды достигается снижением содержания в ней вредных веществ до безопасных значений (не превышающих величины ПДК на данное вещество), а также поддержанием требуемых параметров микроклимата в производственном помещении.

Снизить содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны можно, используя технологические процессы и оборудование, при которых вредные вещества либо не образуются, либо не попадают в воздух рабочей зоны. Например, перевод различных термических установок и печей с жидкого топлива, при сжигании которого образуется значительное количество вредных веществ, на более чистое — газообразное топливо, а еще лучше — использование электрического нагрева.

Большое значение имеет надежная герметизация оборудования, которая исключает попадание различных вредных веществ в воздух рабочей зоны или значительно снижает в нем концентрацию их. Для поддержания в воздухе безопасной концентрации вредных веществ используют различные системы вентиляции. Если перечисленные мероприятия не дают ожидаемых результатов, рекомендуется автоматизировать производство или перейти к дистанционному управлению технологическими процессами. В ряде случаев для защиты от воздействия вредных веществ, находящихся в воздухе рабочей зоны, рекомендуется использовать индивидуальные средства защиты работающих (респираторы, противогазы), однако следует учитывать, что при этом существенно снижается производительность труда персонала.

Устройство и принцип работы общеобменной вентиляции, а также ее использование для поддержания требуемых параметров микроклимата рассмотрены в § 14.2.

В нем мы рассмотрели устройство общеобменной вентиляции, предназначенной для смены воздуха во всем помещении. Движение воздуха в этой системе достигается за счет использования специальных воздуходувных машин — вентиляторов. Такая система общеобменной вентиляции носит название механической. В ряде случаев, особенно в горячих цехах и помещениях со значительным избытком явной теплоты, может быть использован и другой тип общеобменной вентиляции — естественная. Перемещение воздуха при естественной вентиляции достигается за счет разности температур в производственном помещении и наружного воздуха (холодный воздух вытесняет из помещения теплый), а также в результате действия ветра (ветрового давления). Простейшим способом естественной вентиляции является проветривание помещений через окна, форточки или фрамуги. Кроме того, воздух может поступать в помещение и удаляться из него через различные щели и неплотности стен, окон и т.д.

(инфильтрация воздуха). Кроме того, естественная вентиляция производственных помещений может осуществляться с помощью специальных технических приемов: аэрацией и с использованием дефлекторов. Наиболее часто для снижения содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны используется механическая вентиляция, иногда возможно использование вентиляции, состоящей из естественной и механической систем.

Необходимое количество воздуха, подаваемого в помещение для снижения содержания в нем вредных веществ до нормы, может быть определено из выражения:

$$G + L_{\text{пр}}q_{\text{пр}} = L_{\text{выт}}q_{\text{выт}}, \quad (15.2)$$

где $L_{\text{пр}}$ — требуемое количество поступающего (приточного) воздуха, м³/ч; $L_{\text{выт}}$ — требуемое количество удаляемого (вытяжного) воздуха, м³/ч; $q_{\text{пр}}$ — концентрация вредного вещества в поступающем воздухе, мг/м³; $q_{\text{выт}}$ — концентрация вредного вещества в удаляемом воздухе, мг/м³; G — выделяющиеся в помещении с внутренним объемом V (м³) вредные пары или газы, мг/ч.

Учитывая, что $L_{\text{пр}} \approx L_{\text{выт}}$ и обозначая количество приточного или удаляемого воздуха через L (м³/ч), перепишем равенство (15.2):

$$G + L q_{\text{пр}} = L q_{\text{выт}}.$$

Отсюда находим:

$$L = \frac{G}{(q_{\text{выт}} - q_{\text{пр}})}. \quad (15.3)$$

Если наружный воздух не содержит вредного вещества (т. е. если $q_{\text{пр}} = 0$), то формула (15.3) упрощается:

$$L = \frac{G}{q_{\text{выт}}}.$$

Рассмотрим теперь, какие требования предъявляются к концентрациям $q_{\text{пр}}$ и $q_{\text{выт}}$. Для обеспечения безопасной концентрации вредного вещества в воздушных выбросах $q_{\text{выт}} \leq \text{ПДК}$. Для создания эффективной системы вентиляции должно соблюдаться условие $q_{\text{пр}} \leq 0,3 \text{ ПДК}$ вредного вещества.

Если в воздух рабочей зоны выделяется несколько веществ, не обладающих однонаправленным действием, то требуемое количество приточного воздуха L должно рассчитываться для каждого из этих веществ, после чего выбирают наибольшее из полученных значений L .

В случае выделения в воздух рабочей зоны нескольких веществ, обладающих однонаправленным действием (например, паров кислот), рассчитывают по уравнению (15.3) количество воздуха, требуемое для разбавления каждого вещества до его предельно допустимой концентрации при совместном действии вредных веществ, а затем суммируют полученные значения L . Сумма значений L и используется для расчетов вентиляции в этом случае.

Если неизвестны состав и концентрация выделяющихся в воздух рабочей зоны вредных веществ, для ориентировочных расчетов L может быть использовано выражение:

$$L = kV,$$

где k — кратность воздухообмена, показывающая, сколько раз в течение часа воздух меняется в помещении, ч⁻¹;

V — объем вентилируемого помещения, м³.

В качестве примера приведем рекомендуемые значения k для следующих технологических процессов и производств:

Участок окраски и сушки машин	— 17
Участок сварки	— 26
Участок ремонта электрооборудования	— 15
Кузнечное отделение	— 20
Помещение очистных сооружений	— 8

Для удаления вредных веществ у источников их образования служит местная вытяжная вентиляция. Использование устройств местной вытяжной вентиляции практически полностью позволяет удалить пыль и другие вредные вещества из производственного помещения. Устройства местной вентиляции изготавливают в виде отсосов открытого типа и отсосов от полных укрытий.

Отсосы открытого типа находятся за пределами источников выделения вредных веществ. Это вытяжные зонты, вытяжные панели, бортовые отсосы и другие устройства.

Отсосы от полных укрытий — это вытяжные шкафы, кожухи и вытяжные камеры, а также ряд других устройств, внутри которых находятся источники выделения вредных веществ.

Для более эффективного удаления из помещений вредных веществ система общеобменной вентиляции обычно комбинируется с местной.

В производственном помещении необходим постоянный контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей

зоны. Отбор проб на определение этих веществ обычно проводят на рабочем месте на уровне дыхания работающего.

Для контроля запыленности воздуха рабочей зоны могут быть использованы различные методы (фильтрационные, седиментационные, электрические) и др. Весьма перспективны новые методы измерения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны с использованием лазерной техники. В нашей стране наиболее распространен прямой весовой (гравиметрический) метод измерения концентрации пыли в воздухе рабочей зоны. Он заключается в отборе всей находящейся в зоне дыхания пыли на специальные аэрозольные фильтры типа АФА ВП. Отбор проб осуществляется с помощью различных аспираторов.

Определение концентрации вредных веществ, присутствующих в воздухе в виде паров и газов, может также осуществляться различными методами, например с использованием переносных газоанализаторов типа УГ-1 или УГ-2.

Рассмотрим основные индивидуальные средства защиты, предназначенные для защиты органов дыхания человека от вредных веществ, находящихся в воздухе рабочей зоны. Указанные средства защиты делятся на фильтрующие и изолирующие.

В *фильтрующих устройствах* вдыхаемый человеком загрязненный воздух предварительно фильтруется, а в *изолирующих* — чистый воздух подается по специальным шлангам к органам дыхания человека от автономных источников. Фильтрующими приборами (респираторами и противогазами) пользуются при невысоком содержании вредных веществ в воздухе рабочей зоны (не более 0,5% по объему) и при содержании кислорода в воздухе не менее 18%. Респираторы предназначены для защиты человека от пыли и делятся на фильтр-маски, в которых закрывающая лицо человека маска является одновременно фильтром, и патронные, в которых лицевая маска и фильтрующий элемент разделены.

Один из наиболее распространенных отечественных респираторов — бесклапанный респиратор ШБ-1 «Лепесток» — предназначен для защиты от воздействия мелкодисперсной и среднедисперсной пыли. Различные модификации «Лепестка» применяются для защиты от пыли, если ее концентрация в воздухе рабочей зоны в 5—200 раз превышает величину ПДК.

Промышленные фильтрующие противогазы предназначены для защиты органов дыхания от различных газов и паров. Они состоят из полумаски, к которой подведен шланг с загубником,

7. Как обеспечить поддержание в воздухе безопасной концентрации вредных веществ?
8. Перечислите индивидуальные средства защиты от воздействия вредных веществ.
9. Как рассчитать необходимое количество воздуха, подаваемого в помещение для снижения содержания в нем вредных веществ до нормы?
10. Что такое кратность воздухообмена?
11. Для чего служит местная вытяжная вентиляция?
12. Какие устройства местной вытяжной вентиляции вы знаете?
13. Как осуществляется контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны?
14. Как устроены фильтрующие и изолирующие противогазы? Какова область их применения?
15. Как маркируются и окрашиваются фильтрующие коробки отечественных фильтрующих противогазов?

16

Производственное освещение



16.1. Основные характеристики производственного освещения

Производственное освещение — неотъемлемый элемент условий трудовой деятельности человека. При правильно организованном освещении рабочего места обеспечивается сохранность зрения человека и нормальное состояние его нервной системы, а также безопасность в процессе производства. Производительность труда и качество выпускаемой продукции находятся в прямой зависимости от освещения.

Видимый свет — это электромагнитные волны с длиной волн от 770 до 380 нм¹. Он входит в оптическую область электромагнитного спектра, который ограничен длинами волн от 10 до 340 000 нм. Кроме видимого света в оптическую область входит ультрафиолетовое излучение (длины волн от 10 до 380 нм) и инфракрасное (тепловое) излучение (от 770 до 340 000 нм).

С физической точки зрения любой источник света — это скопление множества возбужденных или непрерывно возбуждаемых атомов. Каждый отдельный атом вещества является генератором световой волны.

С физиологической точки зрения свет является возбудителем органа зрения человека (зрительного анализатора). Человеческий глаз различает семь основных цветов и более сотни их оттенков. Приблизительные границы длин волн (нм) и соответствующие им ощущения (цвета) следующие:

380—455 — фиолетовый	540—590 — желтый
455—470 — синий	590—610 — оранжевый
470—500 — голубой	610—770 — красный
500—540 — зеленый	

¹ 1 нм (1 нанометр) = 10⁻⁹ м.

Наибольшая чувствительность органов зрения человека приходится на излучение с длиной волны 555 нм (желто-зеленый цвет).

Введем основные световые величины, позволяющие количественно описать видимое излучение.

Часть лучистого потока, воспринимаемая органами зрения человека как свет, называется *световым потоком*, обозначается буквой Φ и измеряется в люменах (лм). С физической точки зрения световой поток — это мощность видимого излучения, т.е. световая энергия, излучаемая по всем направлениям за единицу времени. Но так как измерение светового потока основывается на зрительном восприятии, то световой поток — величина не только физическая, но и физиологическая.

Пространственную плотность светового потока называют *силой света* и измеряют в канделах (кд). Она характеризует неравномерность распространения светового потока в пространстве и определяется выражением:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}, \quad (16.1)$$

где $d\Phi$ — световой поток, исходящий от источника света и распространяющийся равномерно внутри элементарного телесного угла;

$d\Omega$ — величина элементарного телесного угла.

Единицей меры телесного угла является телесный угол, вырезающий из сферы (с центром в вершине угла) площадь, равную площади квадрата, построенного на радиусе. Такой телесный угол называют стерадианом (ср). Полный телесный угол вокруг точки равен 4π ср, поэтому сила света точечного источника:

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}. \quad (16.2)$$

Следующая светотехническая величина — это освещенность. *Освещенностью* поверхности E называется величина, измеряемая отношением светового потока $d\Phi$, падающего на поверхность dS , к величине поверхности dS , т. е.

$$E = \frac{d\Phi}{dS}. \quad (16.3)$$

Освещенность измеряется в люксах (лк). Освещенность может быть выражена и через силу света. Так, для точечного источника света:

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}, \quad (16.4)$$

где I — сила света в направлении от источника на данную точку поверхности;

r — расстояние от светильника до поверхности;

α — угол между нормалью поверхности и направлением светового потока от источника.

Яркость используется для характеристики протяженного источника света, обладающего светящейся поверхностью dS . Яркость протяженного источника света L определяется отношением силы света в данном направлении dI к поверхности источника, видимой по этому направлению, либо отношением светового потока $d\Phi$ к произведению телесного угла $d\Omega$, внутри которого излучается поток, на видимую поверхность источника света:

$$L = \frac{dI}{dS \cdot \cos \varphi} = \frac{d\Phi}{d\Omega dS \cdot \cos \varphi}, \quad (16.5)$$

где φ — угол между нормалью к светящейся поверхности и глазом наблюдателя.

Яркость измеряется в кд/м².

Кроме перечисленных выше светотехнических величин используют коэффициент отражения, характеризующий способность поверхности отражать падающий на нее световой поток:

$$\rho = \frac{\Phi_{\text{отр}}}{\Phi_{\text{пад}}}, \quad (16.6)$$

где $\Phi_{\text{отр}}$ — отраженный от поверхности световой поток;

$\Phi_{\text{пад}}$ — падающий на поверхность световой поток.

Как следует из определения, ρ — безразмерная величина.

Рассмотренные светотехнические величины относятся к количественным показателям производственного освещения.

Различают следующие виды производственного освещения: естественное, искусственное и совмещенное. Естественное освещение осуществляется за счет прямого и отраженного света неба. С физиологической точки зрения естественное освещение наиболее благоприятно для человека. Естественное освещение в течение дня меняется в достаточно широких пределах в зависимости от состояния атмосферы (облачность).

Различают боковое естественное освещение — через световые проемы (окна) в наружных стенах и верхнее естественное

освещение, при котором световой поток поступает через световые проемы, расположенные в верхней части (крыше) здания (аэрационные и зенитные фонари и т.д.). Если используется оба вида освещения, то оно называется комбинированным.

Для характеристики естественного освещения используется коэффициент естественной освещенности (КЕО):

$$КЕО = \frac{E}{E_0} \cdot 100 \%, \quad (16.7)$$

где: E — освещенность на рабочем месте, лк;

E_0 — освещенность на улице (при среднем состоянии облачности), лк.

Величины КЕО для различных помещений лежат в пределах 0,1—12%.

Искусственное освещение осуществляется электрическими лампами или прожекторами. Оно может быть общим, местным или комбинированным. Общее предназначено для освещения всего производственного помещения. Местное при необходимости дополняет общее и концентрирует дополнительный световой поток на рабочих местах. Сочетание местного и общего освещения называют комбинированным.

Если в светлое время суток уровень естественного освещения не соответствует нормам, то его дополняют искусственным. Такой вид освещения называют *совмещенным*.

По функциональному назначению различают следующие виды искусственного освещения: рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное и дежурное.

16.2. Создание требуемых условий освещения на рабочем месте

Для создания наилучших условий для видения в процессе труда рабочие места должны быть нормально освещены. Требуемый уровень освещенности в первую очередь определяется точностью выполняемых работ и степенью опасности травмирования. Для характеристики точности выполняемых работ вводится понятие объекта различения — это наименьший размер рассматриваемого предмета, который необходимо различить в процессе работы. Например, при выполнении чертежных работ объектом различения служит толщина самой тонкой линии на

чертеже, при работе с печатной документацией — наименьший размер в тексте имеет точка и т.д.

Большое значение имеет характер фона, на котором рассматриваются объекты, т. е. поверхности, непосредственно прилегающей к объекту различения, и контраст объекта с фоном, который определяется соотношением яркостей рассматриваемых объекта и фона.

Количественно фон может быть охарактеризован коэффициентом отражения ρ светового потока от поверхности, образующей фон. Значение ρ лежит в пределах 0,02—0,95. Если оно превышает 0,4, то фон называется светлым, при $\rho = 0,2—0,4$ — средним, при $\rho < 0,2$ — темным.

Контраст объекта с фоном (K) определяется по формуле:

$$K = \frac{|L_0 - L_{\Phi}|}{L_{\Phi}}, \quad (16.8)$$

где L_{Φ} и L_0 — яркость соответственно фона и объекта.

При $K > 0,5$ контраст объекта с фоном считается большим, при $K = 0,2—0,5$ — средним, при $K < 0,2$ — малым.

Большое значение имеет также равномерность распределения яркости на рабочей поверхности, отсутствие на ней резких теней, постоянство величины освещенности во времени и ряд других факторов.

Все электрические элементы осветительных установок должны быть электро-, пожаро- и взрывобезопасными, экономичными и долговечными.

Для создания искусственного освещения применяются различные электрические источники света: лампы накаливания и разрядные источники света. Кратко рассмотрим основные параметры электрических источников света. К числу наиболее важных из них относятся показатели, характеризующие излучение, электрический режим и конструктивные параметры.

Излучение электрических источников света характеризуется световым потоком, силой света (силой излучения), энергетической (световой) яркостью и ее распределением, распределением излучения по спектру, а также изменением этих величин в зависимости от времени работы на переменном токе. Для характеристики цвета излучения осветительных ламп дополнительно вводятся цветовые параметры.

Электрический режим характеризуется мощностью лампы, рабочим напряжением на лампе, напряжением питания, силой тока и родом тока (постоянный, переменный с определенной частотой и др.).

К конструктивным параметрам ламп относятся их габаритные и присоединительные размеры, высота светового центра, размеры излучающего света, форма колбы, ее оптические свойства (прозрачная, матированная, зеркализированная и т.д.), конструкция ввода и др.

К эксплуатационным параметрам электрических источников света относятся эффективность, надежность, экономичность и др.

Эффективность источника света определяется как энергетическим КПД преобразования электрической энергии в оптическое излучение, так и эффективным КПД лампы, который представляет собой долю энергии оптического излучения, превращаемую в эффективную энергию приемника (человеческого глаза), т. е. эффективная энергия приемника (человеческого глаза) представляет собой ту часть энергии оптического излучения, которая вызывает в зрительном анализаторе человека определенные ощущения.

Надежность источников оптического излучения характеризуют полным сроком службы или продолжительностью горения и полезным сроком службы, т. е. временем экономически целесообразной эксплуатации лампы. Обычно за эту характеристику выбирают время, в течение которого световой поток, излучаемый лампой, изменяется не более чем на 20%.

Источники света массового применения должны обладать *экономичностью*, за которую обычно принимают стоимость их эксплуатации, отнесенную к одному люмен-часу.

Для освещения производственных помещений используют либо лампы накаливания (источники теплового излучения), либо разрядные лампы.

К преимуществам ламп накаливания следует отнести простоту их изготовления, удобство в эксплуатации. Эти лампы включаются в электрическую сеть без использования каких-либо дополнительных устройств. Основные недостатки — небольшой срок службы ($\approx 2,5$ тыс. ч) и невысокая светоотдача. Кроме того, спектр ламп накаливания, в котором преобладают желтые и красные лучи, значительно отличается от спектра естественного

(солнечного) света, что вызывает искажение цветопередачи и не позволяет использовать данные лампы для освещения тех работ, для которых требуется различие оттенков цветов.

Для освещения производственных помещений в настоящее время используют лампы накаливания следующих типов: вакуумные (НВ), газонаполненные биспиральные (НБК), рефлекторные (НР), являющиеся лампами-светильниками (часть колбы такой лампы покрыта зеркальным слоем), обладающие большой мощностью кварцевые галогенные лампы (КГ) и др.

Разрядные лампы также широко применяются для освещения производственных помещений. По сравнению с лампами накаливания они обладают повышенной световой отдачей, большим сроком службы (до 10 000 ч). Спектр их излучения близок к спектру естественного света.

К недостаткам разрядных ламп в первую очередь следует отнести пульсацию светового потока (периодическое его изменение при работе лампы), ухудшающую условия зрительной работы. Для стабилизации светового потока необходимо использовать дополнительную аппаратуру. Специальные пусковые устройства применяют для включения разрядных ламп. Кроме того, эти лампы при работе могут создавать радиопомехи, для подавления которых устанавливают фильтры. Все это приводит к повышению затрат при монтаже осветительной сети из разрядных ламп по сравнению с лампами накаливания.

Из разрядных источников света на промышленных предприятиях широко применяют различные люминесцентные лампы (ЛЛ), дуговые ртутные лампы (ДРЛ), рефлекторные дуговые ртутные лампы с отражающим слоем (ДРЛР) и ряд других.

За рубежом разработаны и используются для освещения компактные люминесцентные лампы. Особенностью этих разрядных ламп является то, что они предназначены для непосредственной замены ламп накаливания, так как снабжены стандартным резьбовым цоколем и могут вворачиваться в электрический патрон, как обыкновенные лампы накаливания. Компактные люминесцентные лампы дают большую экономию электроэнергии. Современные разрядные источники света постепенно вытесняют из обихода лампы накаливания. В развитых странах мира разрядные лампы создают более половины светового потока и предполагается, что в будущем эта доля будет возрастать.

Источники света располагаются в специальной осветительной аппаратуре, основная функция которой — перераспреде-

ние светового потока лампы с целью повышения эффективности осветительной установки. Комплекс, состоящий из источника света и осветительной арматуры, называют светильником или осветительным прибором.

Нормирование освещенности производится в соответствии со СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение». В соответствии с данным нормативным документом в зависимости от степени зрительного напряжения все работы делятся на восемь разрядов (I—VIII) и четыре подразряда (а, б, в, г).

Для определения величин нормированного естественного и искусственного освещения по табл. 1 СНиПа необходимо задать наименьший размер объекта различения, а также характеристику фона и контраст объекта с фоном. Предположим, выполняется работа средней точности. Фрагмент табл. 1 СНиПа для этого случая представлен в табл. 16.1.

Работа средней точности характеризуется тем, что размер наименьшего объекта различения лежит в пределах от 0,5 до 1 мм. Условимся, что в процессе зрительной работы фон и контраст объекта с фоном средний. По этим данным можно определить разряд и подразряд зрительной работы (IVB), а также нормированные величины освещения. При искусственном освещении величина комбинированной освещенности должна составлять 400 лк, а общей — 200 лк. Соответственно величина КЕО при верхнем или комбинированном естественном освещении должна быть равна 4%, а при боковом — 1,5%. Аналогичные характеристики при совмещенном освещении составят 2,4 и 0,9%.

Для определения норм освещенности можно воспользоваться и табл. 2 СНиПа, фрагмент которой приведен в табл. 16.2.

В отличие от табл. 16.1 для определения норм освещенности необходимо задать характеристику помещения. Предположим, нас интересует норма освещенности в учебной аудитории вуза. По табл. 2 СНиПа 23-05-95 (табл. 16.2) находим, что освещенность доски в аудитории при искусственном освещении должна составлять 500 лк, а освещенность на рабочих столах и партах, расположенных на высоте 0,8 м от уровня пола, — 300 лк. Соответственно величина КЕО должна составлять 1,5% при боковом освещении и 4% — при верхнем или комбинированном освещении.

Кроме перечисленных параметров, в табл. 2 СНиПа представлены такие качественные показатели производственного освещения, как показатель дискомфорта и коэффициент пульсации освещенности.

Т а б л и ц а 16.1. Нормы проектирования естественного и искусственного освещения для работ средней точности (по СНиП 23-05-95, табл. 1)

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст различения с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		Естественное освещение		Совмещенное освещение						
						Освещенность, лк	Общее	Верхнее или комбинированное	Боковое	Верхнее или комбинированное	Боковое	КЕО, %				
													КЕО, %	КЕО, %		
Средней точности	Свыше 0,5 до 1	IV	а	Малый	Темный	750	300	4	1,5	2,4	0,9					
												б	Средний	Средний	500	200
												г	Большой	Средний	300	150

Т а б л и ц а 16.2. Нормы естественного и искусственного освещения (по СНиП 23-05-95, табл. 2)

№ п/п	Помещение	Плоскость, нормирование освещенности и КЕО — вы- сота плоско- сти над полом, М	Искусст- венное ос- вещение	Естественное освещение	
			Освещен- ность рабо- чих поверх- ностей, ЛК	КЕО, %	
				Верхнее или комбиниро- ванное	Боко- вое
24	Общеобразовательные школы и школы- интернаты, профес- сионально-техничес- кие, средние специ- альные и высшие учебные заведения Классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты, лаборато- рии, лаборантские: а) на доске (середина) б) на рабочих столах и партах	В — на доске	500	—	—
		Г — 0,8			

П р и м е ч а н и е. Плоскость Г — горизонтальная, В — вертикальная.

Определив по СНиП 23-05-95 нормативную величину освещенности в помещении при использовании электрических источников света, необходимо рассчитать общую мощность электрической осветительной установки.

Для расчета искусственного освещения применяют метод светового потока, точечный метод и метод удельной мощности. Рассмотрим в качестве примера расчет с применением метода светового потока, который используется для определения общего равномерного освещения на горизонтальной поверхности.

Световой поток от лампы накаливания или группы разрядных ламп, образующих светильник, рассчитывают по формуле:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{100E_{\text{н}}Sz k}{N\eta}, \quad (16.9)$$

где $\Phi_{\text{л}}$ — световой поток лампы или группы ламп, лм; N — число светильников в помещении, шт.; $E_{\text{н}}$ — нормированная минимальная ос-

вещность, лк; S — площадь освещаемого помещения, м²; z — коэффициент минимальной освещенности, равный отношению $E_{\text{ср}}/E_{\text{мин}}$, значение которого для ламп накаливания составляет 1,15, а для люминесцентных ламп — 1,1; k — коэффициент запаса, составляющий для ламп накаливания 1,3—1,6 и для разрядных ламп — 1,4—1,8; η — коэффициент использования светового потока ламп (справочные данные).

Рассчитав по формуле (16.9) световой поток лампы $\Phi_{\text{л}}$, по справочнику подбирают ближайшую стандартную лампу, после чего определяют электрическую мощность всей осветительной системы.

Для правильной организации рабочих мест в производственном помещении требуется проводить расчеты коэффициентов естественной освещенности. КЕО рассчитывают при боковом освещении ($e_{\text{р}}^{\text{б}}$) или при верхнем ($e_{\text{р}}^{\text{в}}$), используя следующие выражения:

$$e_{\text{р}}^{\text{б}} = \frac{(\varepsilon_{\text{б}}q + \varepsilon_{\text{зд}}R)r_1\tau_0}{k_3}, \quad (16.10)$$

$$e_{\text{р}}^{\text{в}} = \frac{[\varepsilon_{\text{в}} + \varepsilon_{\text{ср}}(r_2k_{\text{ф}} - 1)]\tau_0}{k_3}, \quad (16.11)$$

где $\varepsilon_{\text{б}}$ и $\varepsilon_{\text{в}}$ — соответственно геометрический КЕО в расчетной точке при боковом или верхнем освещении; q — коэффициент, учитывающий неравномерную яркость облачного неба; $\varepsilon_{\text{зд}}$ — геометрический КЕО, учитывающий отражение света от противостоящих зданий; R — коэффициент, учитывающий относительную яркость противостоящих зданий; $\varepsilon_{\text{ср}}$ — среднее значение геометрического КЕО; r_1 и r_2 — коэффициенты, учитывающие повышение КЕО из-за отражения от поверхностей помещения; τ_0 — общий коэффициент светопропускания; k_3 — коэффициент запаса, находящийся в пределах 1,2—2,0; $k_{\text{ф}}$ — коэффициент, учитывающий тип фонаря.

Все величины и коэффициенты, входящие в представленные формулы для определения КЕО, определяются в соответствии со СНиП 23-05-95.

Для измерения освещенности в производственных помещениях применяют приборы, называемые люксометрами. В отечественной практике наиболее часто применяют люксометры марок Ю-16, Ю-116, Ю-117. Эти приборы измеряют фототок, возникающий в цепи селенового фотоэлемента и соединенного с ним измерительного прибора под влиянием падающего на чув-

ствительный слой светового потока. Чем больше световой поток, тем сильнее отклоняется стрелка прибора от нулевой точки. Прибор градуирован в люксах.

Для измерения яркости используют промышленно выпускаемый яркометр типа ФПЧ.

К средствам индивидуальной защиты органов зрения относятся различные защитные очки, щитки и шлемы. Все они должны защищать органы зрения от ультрафиолетового и инфракрасного излучений, повышенной яркости видимого излучения и ряда других факторов. Указанные средства защиты снабжены специальными светофильтрами, которые подбираются в зависимости от характера и интенсивности излучения в соответствии с ГОСТ 12.4.080-79. Так, например, для газо- и электросварщиков используют светофильтры типа Г и Э, для защиты глаз работающих у сталеплавильных и доменных печей — светофильтры П и Д.

Контрольные вопросы



1. Охарактеризуйте основные световые величины.
2. Какие виды производственного освещения вы знаете?
3. Что такое коэффициент естественного освещения (КЕО)?
4. Какие разновидности имеет искусственное освещение?
5. Охарактеризуйте источники искусственного освещения.
6. Как нормируется производственное освещение?
7. Как рассчитывается световой поток от лампы или группы ламп?
8. Как измеряется освещенность в производственном помещении?

17

Защита от шума, ультра- и инфразвука, вибрации



17.1. Действие шума, ультра- и инфразвука, а также вибрации на организм человека

Эксплуатация современного промышленного оборудования и средств транспорта сопровождается значительным уровнем шума и вибрации, негативно влияющих на состояние здоровья работающих. С точки зрения безопасности труда шум и вибрация — одни из наиболее распространенных вредных производственных факторов на производстве, которые при определенных условиях могут выступать как опасные производственные факторы. Кроме шумового и вибрационного воздействия, вредное влияние на человека в процессе труда могут оказывать инфразвуковые и ультразвуковые колебания.

Рассмотрим основные физические характеристики шума, вибрации, ультра- и инфразвука.

Шум — это сочетание звуков различной частоты и интенсивности. С физиологической точки зрения шумом называют любой нежелательный звук, оказывающий вредное воздействие на организм человека.

Звуковые колебания, воспринимаемые органами слуха человека, являются механическими колебаниями, распространяющимися в упругой среде (твердой, жидкой или газообразной).

Основным признаком механических колебаний является повторность процесса движения через определенный промежуток времени. Минимальный интервал времени, через который происходит повторение движения тела, называют *периодом колеба-*

ний (T), а обратную ему величину — частотой колебаний (f). Эти величины связаны между собой простым соотношением:

$$f = \frac{1}{T}, \quad (17.1)$$

где f — частота колебаний в герцах (Гц);
 T — период колебаний в секундах, с.

Таким образом, частота колебаний определяет число колебаний, произошедших за 1 секунду. Единица измерения частоты — герц (Гц), $1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$.

Для характеристики колебаний используют также *циклическую частоту* (ω , с^{-1}), которая определяется как число колебаний, происходящих за 2π секунд. Между обычной и циклической частотами существует следующая связь:

$$\omega = 2\pi f. \quad (17.2)$$

Циклическая частота и период колебаний связаны следующим соотношением:

$$\omega = 2\pi/T. \quad (17.3)$$

Одним из наиболее частых видов колебаний, существующих в природе, являются гармонические колебания (рис. 17.1), описываемые уравнением:

$$x = x_m \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (17.4)$$

где x — смещение тела от положения равновесия;
 ω — циклическая частота колебаний;
 t — время.

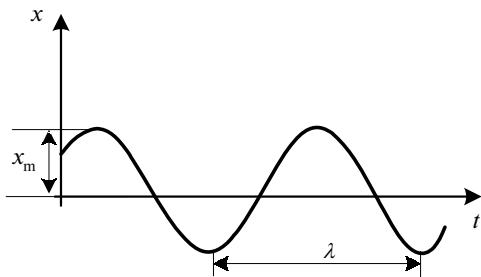


Рис. 17.1. Гармонические колебания

Максимальное значение смещения от положения равновесия (x_m) называется амплитудой колебания. Величина, стоящая под знаком косинуса, называется фазой гармонического колебания:

$$\varphi = \omega t + \varphi_0. \quad (17.5)$$

Фаза колебаний φ_0 в начальный момент времени $t = 0$ называется начальной фазой. Фаза колебания характеризуется вели-

чиной и направлением отклонения колебания от положения равновесия в зависимости от времени.

Колебания в упругой среде не ограничиваются центром возбуждения этих колебаний. Колеблющиеся частицы среды передают свою энергию соседним частицам. Процесс распространения колебаний в упругой среде называется *волной*. Каждая из частиц среды при этом колеблется около положения устойчивого равновесия. Поверхность, которая отделяет колеблющиеся частицы от частиц, пока еще не пришедших в колебательное движение, называют фронтом волны. Совокупность точек, колеблющихся в одинаковых фазах, образует волновую поверхность. Все точки фронта волны имеют нулевую фазу. Отсюда следует, что фронт волны представляет собой одну из волновых поверхностей. Фронт волны расположен перпендикулярно к направлению распространения волны. По форме фронта волны различают плоские и сферические (рис. 17.2). Расстояние между двумя соседними частицами, находящимися в одинаковом режиме движения или в одинаковой фазе, называется длиной волны λ . На рис. 17.1 представлено графическое изображение гармонических колебаний и также показана длина волны.

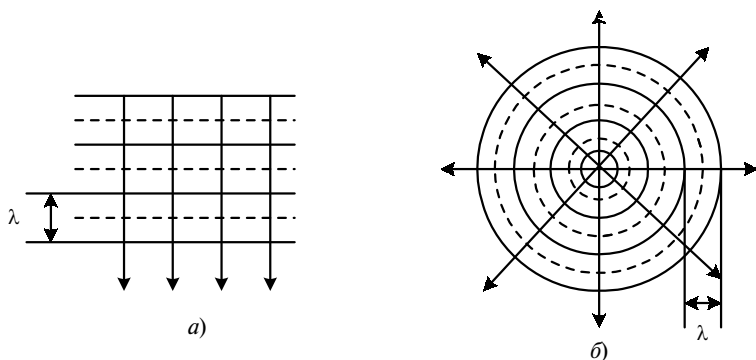


Рис. 17.2. Виды волн: а) плоская; б) сферическая

Источник звуковых колебаний, возбуждающий *плоские волны*, представляет собой плоскую поверхность, размер которой существенно больше длины волны. Фронты этих волн расположены параллельно плоскости возбуждения.

Сферическая волна создается маленьким по сравнению с длиной волны возбудителем колебаний — точечным источником звуковых колебаний. При очень большом (бесконечном) удалении источника звуковых колебаний сферические волны могут частично становиться плоскими.

Тип распространяющейся в звукопроводящем материале волны зависит от его вида и размеров, а также от длины волны. Рассмотрим важный с практической точки зрения случай распространения звуковых волн в неограниченных средах, размеры которых значительно больше длины волны. В этих средах распространяются продольные и поперечные волны. В продольной волне меняются местами зоны сжатия (области с повышенным давлением) и зоны растяжения (области с пониженным давлением). Поэтому другое название этих волн — волны сжатия (волны давления). Для этих волн направление колебания частиц совпадает с направлением распространения волны. В природе такой тип волн распространяется в твердых, жидких и газообразных средах, например слышимый звук в воздухе.

Для поперечных волн направление колебания частиц перпендикулярно направлению распространения волны. Эти волны также носят название сдвиговых волн, так как вызывают в звукопроводящем материале сдвиг. Они могут распространяться только в твердой среде.

Скорость V распространения колебаний в пространстве называется скоростью волны. Связь между длиной волны λ , скоростью волны V и периодом колебания T дается выражением:

$$\lambda = VT, \quad (17.6)$$

$$\text{откуда } V = \frac{\lambda}{T}. \quad (17.7)$$

Учитывая, что частота колебания связана с периодом соотношением (17.1), скорость волны можно выразить через частоту: $V = \lambda f$.

Скорость распространения звуковых волн в газообразной среде (идеальный газ) определяется выражением:

$$C_{\text{газ}} = \sqrt{\chi(P/\rho)}, \quad (17.8)$$

где χ — показатель адиабаты (постоянная величина, для воздуха равная 1,41);

P — давление газа;

ρ — плотность газа.

По современным измерениям скорость звука в воздухе при нормальных условиях равна 331 м/с. В табл. 17.1 приведены скорости распространения звуковых волн в различных веществах при комнатной температуре.

Т а б л и ц а 17.1. Скорость распространения продольных и поперечных волн для различных веществ

<i>Вещество</i>	<i>Скорость распространения волн, м/с</i>	
	<i>Продольных</i>	<i>Поперечных</i>
Алюминий	6320	3130
Свинец	2160	700
Железо	5900	3230
Медь	4730	2300
Никель	5894	3219
Цинк	4120	2350
Кварцевое стекло	5570	3520
Вода (273К)	1481	—
Воздух	331	—

Звуковые волны переносят энергию. Для характеристики среднего потока энергии в какой-либо точке среды вводят понятие интенсивности звука — это количество энергии, переносимое звуковой волной за единицу времени через единицу площади поверхности, нормальной (расположенной под углом 90°) к направлению распространения волны. Интенсивность звука выражается следующим образом:

$$I = \frac{P^2}{\rho \cdot C}, \quad (17.9)$$

где I — интенсивность звука, Вт/м²;

P — звуковое давление (разность между мгновенным значением полного давления и средним значением давления, которое наблюдается в среде при отсутствии звукового поля), Па;

ρ — плотность среды, кг/м³;

C — скорость звука в среде, м/с.

Сила воздействия звуковой волны на барабанную перепонку человеческого уха и вызываемое ею ощущение громкости зависят от звукового давления. Звуковое давление — это дополнительное давление, возникающее в газе или жидкости при нахождении там звуковой волны.

В природе величины звукового давления и интенсивности звука, генерируемые различными источниками шума, меняются в широких пределах: по давлению — до 10^8 раз, а по интенсивности — до 10^{16} раз. В соответствии с законом Вебера — Фехнера прирост силы ощущения анализатора человека, в том числе и слухового, пропорционален логарифму отношения энергий двух сравниваемых раздражений. Поэтому для характеристики уровня шума используют не непосредственно значения интенсивности звука и звукового давления, которыми неудобно оперировать, а их логарифмические значения, называемые уровнем интенсивности звука или уровнем звукового давления.

Уровень интенсивности звука определяют по формуле:

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \quad (17.10)$$

где L_I — уровень интенсивности в децибелах (дБ);

I — интенсивность звука, Вт/м²;

I_0 — интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости человеческого уха (I_0 — постоянная величина; $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² на частоте 1000 Гц).

Человеческое ухо, а также многие акустические приборы реагируют не на интенсивность звука, а на звуковое давление, уровень которого определяется по формуле:

$$L_p = 10 \lg \left(\frac{P^2}{P_0^2} \right) = 20 \lg \left(\frac{P}{P_0} \right), \quad (17.11)$$

где P — звуковое давление, Па;

P_0 — пороговое звуковое давление (P_0 — постоянная величина, $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па на частоте 1000 Гц).

Связь между уровнем интенсивности и уровнем звукового давления определяется следующим выражением:

$$\begin{aligned} L_I &= 10 \lg \left(\frac{I}{I_0} \right) = 10 \lg \left[\frac{P^2 \rho_0 C_0}{P_0^2 \rho C} \right] = 10 \lg \left(\frac{P^2}{P_0^2} \right) + 10 \lg \left[\frac{\rho_0 C_0}{\rho C} \right] = \\ &= L_p + 10 \lg \left[\frac{\rho_0 C_0}{\rho C} \right], \end{aligned} \quad (17.12)$$

где ρ_0 и C_0 — соответственно плотность среды и скорость звука при нормальных атмосферных условиях, т. е. при $t = 20$ °С и $P_0 = 10^5$ Па;

ρ и C — плотность среды и скорость звука в условиях измерения.

При распространении звука в нормальных атмосферных условиях $L_I = L_p$. При расчетах уровня шума используют величину интенсивности звука, а для оценки воздействия шума на человека — уровень звукового давления.

Человеческое ухо воспринимает как слышимые колебания, лежащие в пределах от 20 до 20 000 гц. Звуковой диапазон принято подразделять на низкочастотный (20—400 гц), среднечастотный (400—1000 гц) и высокочастотный (свыше 1000 гц). Звуковые волны с частотой менее 20 гц называются инфразвуковыми, а с частотами более 20 000 гц — ультразвуковыми. Инфразвуковые и ультразвуковые колебания органами слуха человека не воспринимаются.

Ультразвуковой диапазон частот делится на два поддиапазона — низкочастотный (20—100 кГц) и высокочастотный (100 кГц—1000 МГц). Ультразвуки весьма сильно поглощаются газами и во много раз слабее — жидкостями. Так, например, коэффициент поглощения ультразвука в воздухе приблизительно в 1000 раз больше, чем в воде. Ультразвуки применяются в промышленности для контрольно-измерительных целей (дефектоскопия, измерение толщины стенок трубопроводов и др.), а также для осуществления и интенсификации различных технологических процессов (очистка деталей, сварка, пайка, дробление и т.д.). Ультразвуки ускоряют протекание процессов диффузии, растворения и химических реакций.

Инфразвук — это область акустических колебаний в диапазоне ниже 20 Гц. В производственных условиях инфразвук, как правило, сочетается с низкочастотным шумом, а в ряде случаев и с низкочастотной вибрацией. Источниками инфразвука в промышленности являются компрессоры, дизельные двигатели, вентиляторы, реактивные двигатели, транспортные средства и др.

Характеристиками ультразвуковых и инфразвуковых колебаний, как и в случае звуковых волн, являются уровень интенсивности ($Вт/м^2$), уровень звукового давления (Па) и частота (Гц).

Рассмотрим, как действуют шум, ультра- и инфразвук, а также вибрация на организм человека.

Звуки очень большой силы, уровень которых превышает 120÷130 дБ, вызывают болевое ощущение и повреждения в слуховом аппарате (акустическая травма). В табл. 17.2 представлены уровни различных звуков.

Т а б л и ц а 17.2. Уровни различных звуков в зависимости от источника шума и расстояния

<i>Источник шума</i>	<i>Расстояние, м</i>	<i>Уровень шума, дБ</i>
Жилая комната	—	35
Речь средней громкости	1	60
Машинописное бюро	—	65
Металлорежущие станки	На рабочем месте	80—96
Дизельный грузовик	7	90
Пневмоперфоратор	1	100
Реактивный двигатель	25	140
Выстрел из артиллерийского орудия	1—2	160—170

Разрыв барабанных перепонок в органах слуха человека происходит под воздействием шума, уровень звукового давления которого составляет ≈ 186 дБ. Воздействие на организм человека шума, уровень которого около 196 дБ, приведет к повреждению легочной ткани (порог легочного повреждения).

Однако не только сильные шумы, приводящие к мгновенной глухоте или повреждению органов слуха человека, вредно отражаются на здоровье и работоспособности людей. Шумы небольшой интенсивности, порядка 50—60 дБА¹, негативно воздействуют на нервную систему человека, вызывают бессонницу, неспособность сосредоточиться, что ведет к снижению производительности труда и повышает вероятность возникновения несчастных случаев на производстве. Если шум постоянно действует на человека в процессе труда, то могут возникнуть различные психические нарушения, сердечно-сосудистые, желудочно-кишечные и кожные заболевания, тугоухость.

Последствия воздействия шума небольшой интенсивности на организм человека зависят от ряда факторов, в том числе возраста и состояния здоровья работающего, вида трудовой деятельности, психологического и физического состояния человека в момент действия шума и ряда других факторов. Шум, производимый самим человеком, обычно не беспокоит его. В отличие от этого посторонние шумы часто вызывают сильный раздра-

¹ В дБА выражается уровень шума, замеренный по шкале А шумомера, конструкция и принцип работы которого изложены далее.

жающий эффект. Если сравнивать шумы с одинаковым уровнем звукового давления, то высокочастотные шумы ($f > 1000$ Гц) более неприятны для человека, чем низкочастотные ($f < 400$ Гц). В ночное время шум с уровнем 30—40 дБА является серьезным беспокоящим фактором.

При постоянном воздействии шума на организм человека могут возникнуть патологические изменения, называемые шумовой болезнью, которая является профессиональным заболеванием.

Инфразвук также оказывает негативное влияние на органы слуха, вызывая утомление, чувство страха, головные боли и головокружения, а также снижает остроту зрения. Особенно неблагоприятно воздействие на организм человека инфразвуковых колебаний с частотой 4—12 Гц.

Вредное воздействие ультразвука на организм человека выражается в нарушении деятельности нервной системы, снижении болевой чувствительности, изменении сосудистого давления, а также состава и свойств крови. Ультразвук передается либо через воздушную среду, либо контактным путем через жидкую и твердую среду (действие на руки работающих). Контактный путь передачи ультразвука наиболее опасен для организма человека.

Рассмотрим воздействие вибрации на организм человека.

Вибрация — это совокупность механических колебаний, простейшим видом которых являются гармонические. В ГОСТе 24346-80 «Вибрация. Термины и определения» вибрация определяется как движение точки или механической системы, при котором происходит поочередное возрастание и убывание во времени значений по крайней мере одной координаты. Вибрацию вызывают неуравновешенные силовые воздействия, возникающие при работе различных машин и механизмов. Примером таких устройств могут служить ручные перфораторы, кривошипно-шатунные механизмы и другие, детали которых совершают возвратно-поступательные движения. Вибрацию также создают неуравновешенные вращающиеся механизмы (электродрели, ручные шлифовальные машины, металлообрабатывающие станки, вентиляторы и т.д.), а также устройства, в которых движущиеся детали совершают ударные воздействия (зубчатые передачи, подшипники и т.д.). В промышленности также используются специальные вибрационные установки, в частности, при уплотнении бетонных смесей, при дроблении, измельчении и сорти-

ровке сыпучих материалов, при разгрузке транспортных средств и в ряде других случаев.

Если вибрирующая система совершает гармонические колебания (17.2), то для ее описания используют следующие характеристики:

- амплитуду виброперемещения, т. е. наибольшее отклонение колеблющейся точки от положения равновесия, X_m , м;
- колебательную скорость, или виброскорость, V_m , м/с;
- ускорение колебаний, или виброускорение, a_m , м/с²;
- период колебаний, T , с;
- частоту колебаний, f , гц.

Если вибрации имеют несинусоидальный характер, то их можно представить в виде суммы синусоидальных (гармонических) составляющих с помощью разложения в ряд Фурье.

Значения виброскорости и виброускорения для различных источников изменяются в очень широких пределах, поэтому, как и для шума, удобнее пользоваться их логарифмическими характеристиками. Так, логарифмический уровень виброскорости (или просто уровень виброскорости) определяется по формуле:

$$L_v = 20 \lg \frac{V}{V_0}, \quad (17.13)$$

где L_v — уровень виброскорости, дБ;

V — колебательная скорость, м/с;

V_0 — пороговое значение колебательной скорости, стандартизованное в международном масштабе ($V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с).

По аналогии логарифмический уровень виброускорения может быть определен следующим образом:

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{a_0}, \quad (17.14)$$

где L_a — уровень виброускорения, дБ;

a — ускорение колебаний, м/с²;

a_0 — пороговое значение ускорения колебаний, стандартизованное в международном масштабе ($a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ м²/с).

Необходимо различать общую и местную вибрации. Общая вибрация действует на весь организм в целом, а местная — только на отдельные части его (верхние конечности, плечевой пояс, сосуды сердца).

При воздействии общей вибрации наблюдаются нарушение сердечной деятельности, расстройство нервной системы, спазмы

сосудов, изменения в суставах, приводящие к ограничению подвижности. Если частоты колебания рабочих мест совпадают с собственными частотами колебаний внутренних органов человека¹ (явление резонанса), то возможно механическое повреждение данных органов вплоть до разрыва.

При действии на руки работающих местной вибрации (вибрирующий инструмент) происходит нарушение чувствительности кожи, окостенение сухожилий, потеря упругости кровеносных сосудов и чувствительности нервных волокон, отложение солей в суставах кистей рук и пальцев и другие негативные явления. Длительное воздействие вибрации приводит к профессиональному заболеванию — вибрационной болезни, эффективное лечение которой возможно лишь на начальной стадии ее развития.

Рассмотрим теперь вопросы, связанные с нормированием шума, инфра- и ультразвука, вибрации.

Шум нормируется на рабочих местах согласно ГОСТу 12.1.003-83 и СН № 3223-85 «Санитарные нормы допустимых уровней шума на рабочих местах». В указанных нормативных документах предусмотрены два метода нормирования шума: по предельному спектру шума и по интегральному показателю — эквивалентному уровню шума в дБА. Выбор метода нормирования в первую очередь зависит от временных характеристик шума. По этим характеристикам все шумы подразделяются на постоянные, уровень звука которых за 8-часовой рабочий день изменяется не более чем на 5 дБА, и непостоянные, аналогичная характеристика которых изменяется за рабочий день более чем на 5 дБА.

Нормирование по предельному спектру шума является основным для постоянных шумов. *Предельный спектр шума* — это совокупность нормативных значений звукового давления на следующих стандартных среднегеометрических частотах: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. В табл. 17.3 представлены допустимые уровни шума на различных рабочих местах.

Сокращенно предельные спектры шума обозначаются ПС (предельный спектр) с указанием допустимого уровня звукового давления на частоте 1000 Гц, например: ПС-45, ПС-55, ПС-75 и др. Постоянный шум на рабочих местах не должен превышать нормированных уровней, представленных в ГОСТе 12.003-83.

¹ Для большинства внутренних органов человека частоты собственных колебаний составляют 6—9 Гц.

Т а б л и ц а 17.3. Допустимые уровни шума
(фрагмент таблицы из ГОСТ 12.003-83)

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами (Гц)								Уровни звука и эквивалентные уровни звука (дБА)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Помещения конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, лабораторий для теоретических работ и обработки экспериментальных данных, приема больных в здравпунктах	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2. Помещения управления, рабочие комнаты	79	70	68	58	55	52	50	49	60
3. Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, помещения для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	94	87	82	78	75	73	71	70	80

Существует и другой метод нормирования шума, устанавливающий предельно допустимые уровни как постоянного, так и непостоянного шума. Он основан на измерении шума по стандартной шкале А шумомера¹. Эта шкала имитирует частотную чувствительность человеческого уха. Уровень шума, измеренный по шкале А шумомера, обозначается дБА. Постоянные шумы предпочтительно характеризовать по предельному спектру шума, а непостоянные — только в дБА.

Рассмотрим, как определяются предельные значения инфразвука. Чаще всего в условиях производства инфразвук сочетается

¹ Как следует из названия, шумомером называют прибор для измерения шума. Устройство этого прибора описано в § 17.2.

сы с низкочастотным шумом и вибрацией. Как и в случае шума, инфразвук измеряется шумомерами.

Инфразвук подразделяется на постоянный, уровень звукового давления которого, измеренного по стандартной шкале «линейная» шумомера, изменяется не более чем на 10 дБ за время наблюдения 1 мин, и непостоянный, аналогичная характеристика которого изменяется не менее чем на 10 дБ за тот же период наблюдения. Для постоянного инфразвука нормируется уровень звукового давления на частотах 2, 4, 8, 16 и 31,5 Гц, а для непостоянного — общий уровень звукового давления по стандартной шкале «линейная» шумомера, дБ. Предельно допустимые уровни инфразвука, установленные «Гигиеническими нормами инфразвука на рабочих местах», показаны в табл. 17.4.

Т а б л и ц а 17.4. Предельно допустимые уровни инфразвука на рабочих местах

<i>Уровни звукового давления, дБ, на средне-геометрических частотах (Гц)</i>					<i>Общий уровень звукового давления, измеренный по шкале «линейная» шумомера, дБ</i>
2	4	8	16	31,5	
105	105	105	105	102	110

Допустимый уровень ультразвука нормируется в соответствии с ГОСТом 12.1.003-83 и Санитарными нормами № 2282-80¹. Весь ультразвуковой диапазон частот принято подразделять на низкочастотный с частотой колебаний до 100 кГц и высокочастотный (от 100 до 1 000 000 кГц). Низкочастотные колебания распространяются как воздушным, так и контактным путем, а высокочастотные — только контактным. Для низкочастотных ультразвуковых колебаний в соответствии с названными выше нормативными документами установлены следующие предельные значения звукового давления на рабочих местах:

¹ Полные названия этих нормативных документов: ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Ультразвук. Общие требования безопасности» и СН № 2282-80 «Санитарные нормы и правила при работе с оборудованием, создающим ультразвук, передаваемый локальным путем на руки работающих».

<i>Среднегеометрическая частота, Гц</i>	<i>Уровень звукового давления, дБ</i>
12,5	80
16,0	90
20,0	100
25,0	105
31,5—100,0	110

Если ультразвуковые колебания передаются на руки и другие части тела работающих контактным путем, то уровень звукового давления не должен превышать 110 дБ.

Как уже сказано выше, различают общую вибрацию, передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека, и локальную (местную), передающуюся через руки человека.

В зависимости от источника возникновения выделяют три категории вибрации:

- транспортная;
- транспортно-технологическая;
- технологическая.

Вибрацию нормируют в соответствии с ГОСТом 12.1.012-78 «ССБТ. Вибрация. Общие требования безопасности», а также в соответствии с СН № 3044-84 «Санитарные нормы вибрации рабочих мест» (общая вибрация) и СН № 3041-84 «Санитарные нормы и правила при работе с машинами и оборудованием, создающими локальную вибрацию, передающуюся на руки работающих».

Для каждой из трех категорий вибрации нормируют величины виброскорости и виброускорения как в линейных единицах (м/с и м/с²), так и в логарифмических (дБ) в зависимости от частоты вибрации. Общая вибрация нормируется в диапазоне частот 0,8—80 Гц, а местная (локальная) — в диапазоне частот 8—1000 Гц. Обычно вибрация включает как горизонтальную, так и вертикальную составляющие, поэтому при ее нормировании учитывают направление действия вибрации. При этом используют следующие обозначения: *Z* — вертикальная ось, а *X* и *Y* — горизонтальные оси. В табл. 17.5 и 17.6 представлены примеры нормирования как общей, так и локальной вибрации.

Т а б л и ц а 17.5. Допустимые уровни общей вибрации категории 1 (фрагмент таблиц из ГОСТа 12.1.012-78 и СН 3044-84)

Среднегеометрическая частота, f	Допустимые значения виброскорости				Допустимые значения виброускорения			
	$м/с \cdot 10^{-2}$		дБ		$м/с^2$		дБ	
	Z	X,Y	Z	X,Y	Z	X,Y	Z	X,Y
1,0	20,0	6,3	132	122	1,12	0,4	71	62
2,0	7,1	3,5	123	117	0,8	0,4	68	62
4,0	2,5	3,2	114	116	0,56	0,8	65	68
8,0	1,3	3,2	108	116	0,56	1,6	65	74
16,0	1,1	3,2	107	116	1,12	3,15	71	80
.....								
63	1,1	3,2	107	116	4,50	12,50	83	92

Т а б л и ц а 17.6. Допустимые уровни локальной вибрации (по ГОСТу 12.1.012-78 и СН 3041-84)

Среднегеометрическая частота, Гц	Допустимые значения по осям Z, X, Y			
	Виброускорения		Виброскорости	
	$м/с^2$	дБ	$м/с$	дБ
8	1,4	73	2,8	115
16	1,4	73	1,4	109
31,5	2,7	79	1,4	109
63	5,4	85	1,4	109
125	10,7	91	1,4	109
250	21,3	97	1,4	109
500	42,5	103	1,4	109
1000	85,0	109	1,4	109

17.2. Основные методы борьбы с шумом, инфра- и ультразвуком и вибрацией

Рассмотрим основные методы борьбы с шумом, инфра- и ультразвуком, а также с вибрацией.

Различные механические, аэродинамические и электромагнитные явления являются причиной возникновения шумов. Ме-

ханические шумы возникают при работе различных машин и механизмов и вызваны трением и соударениями составляющих их деталей, ударными процессами, используемыми в производстве (ковка, штамповка) и рядом других факторов. Аэродинамические и гидродинамические шумы возникают при течении газов и жидкостей. Электромагнитные шумы обычно сопровождают работу различных электрических установок. Перечислим основные способы, используемые для снижения шума в производственных помещениях.

Наиболее рациональный способ уменьшения шума — снижение звуковой мощности его источника (машины, установки, агрегата и т.д.). Уровень звуковой мощности (L_p) рассчитывается по следующей формуле:

$$L_p = 10 \text{ Lg} P/P_0, \quad (17.15)$$

где P — звуковая мощность, Вт;

P_0 — пороговая звуковая мощность, равная 10^{-12} Вт;

L_p — уровень звуковой мощности, дБ.

Этот способ борьбы с шумом носит название *уменьшения шума в источнике его возникновения*. Снижение механических шумов достигается: улучшением конструкции машин и механизмов, заменой деталей из металлических материалов на пластмассовые, заменой ударных технологических процессов на безударные (например, клепку рекомендуется заменять сваркой, штамповку — прессованием и т.д.), применением вместо зубчатых передач в машинах и механизмах других видов передач (например, клиноременных) или использованием зубчатых передач, не издающих громких звуков (например, при использовании не прямозубых, а косозубых или шевронных шестерен), нанесением смазки на трущиеся детали и рядом других мероприятий.

Эффективность некоторых из перечисленных мероприятий по снижению уровня шума представлена ниже:

<i>Мероприятия</i>	<i>Снижение уровня шума, дБ</i>
Замена прямозубых шестерен шевронными	5
Замена зубчатой передачи на клиноременную	10—15
Замена металлических корпусов машин на пластмассовые:	
в области высоких частот	7—15
в области средних частот	2—6

Как уже сказано выше, аэродинамические и гидродинамические шумы сопровождают течение жидкости или газа. Эти шумы также возникают при работе вентиляторов, компрессоров, газовых турбин, двигателей внутреннего сгорания, при выпуске пара или воздуха в атмосферу, при вращении винтов самолета, при работе насосов для перекачки жидкостей и др.

Для уменьшения аэродинамических и гидродинамических шумов рекомендуются снижение скорости обтекания газовыми или воздушными потоками препятствий, улучшение аэродинамики тел, работающих в контакте с потоками; снижение скорости истечения газовой струи и уменьшение диаметра отверстия, из которого эта струя истекает; выбор оптимальных режимов работы насосов для перекачивания жидкостей; правильное проектирование и эксплуатация гидросистем и ряд других мероприятий. Часто не удается уменьшить аэродинамические шумы в источнике их возникновения, поэтому приходится использовать другие методы борьбы с этими шумами (использование звукоизоляции источника, установка глушителей).

Для борьбы с шумами электромагнитного происхождения рекомендуется тщательно уравнивать вращающиеся детали электромашин (ротор, подшипники), осуществлять тщательную притирку щеток электродвигателей, применять плотную пресовку пакетов трансформаторов и т.д.

Следующим способом снижения шума является *изменение направленности его излучения*. Этот способ применяется в том случае, когда работающее устройство (машина, агрегат, установка) направленно излучает шум. Примером такого устройства может служить труба для сброса в атмосферу сжатого воздуха. Правильное расположение этой трубы представлено на рис. 17.3. Направленная звуковая волна должна быть ориентирована в противоположную от рабочего места или жилого строения сторону.

Если на территории предприятия расположен один или несколько шумных цехов, то их рекомендуется сосредоточить в одном-двух местах, максимально удаленных от остальных производств. При расположении предприятия на территории города шумные производства должны находиться на значительном удалении от жилых домов. Это мероприятие по борьбе с шумом называется *рациональной планировкой предприятий и цехов*.

Следующий способ борьбы с шумом связан с *уменьшением звуковой мощности по пути распространения шума (звукоизоляция*

ция). Практически это достигается использованием звукоизолирующих ограждений, звукоизолирующих кабин и пультов управления, звукоизолирующих кожухов и акустических экранов.

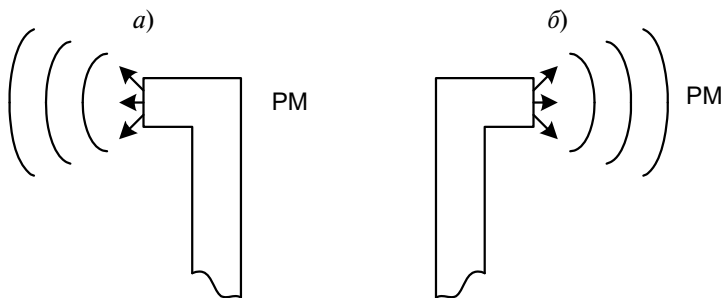


Рис. 17.3. Расположение трубы для сжатого воздуха в атмосфере:
а) правильное; б) неправильное (PM — рабочее место)

К звукоизолирующим ограждениям относятся стены, перекрытия, перегородки, остекленные проемы, окна, двери. Основная количественная характеристика эффективности звукоизолирующих свойств ограждений — коэффициент звукопроницаемости τ (безразмерная величина), который может быть рассчитан по следующей формуле:

$$\tau = \frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{пад}}} = \frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{пад}}}, \quad (17.16)$$

где $I_{\text{пр}}$ и $I_{\text{пад}}$ — интенсивности прошедшего через ограждение и падающего звука, Вт/м²;

$P_{\text{пр}}$ и $P_{\text{пад}}$ — звуковое давление прошедшего через ограждение и падающего звука, Па.

Используется и другая величина, называемая звукоизолирующей способностью ограждения (R , дБ). Она находится из следующего выражения:

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau}. \quad (17.17)$$

Для практических расчетов звукоизолирующей способности однослойных ограждений применяется формула:

$$R = 20 \text{ Lg} (m_0 f) - 47,5, \quad (17.18)$$

где m_0 — масса 1 м² ограждения, кг;

f — частота звука, Гц.

Из формулы (17.18) следует, что звукоизолирующая способность конструкции тем выше, чем больше ее поверхностная плотность (чем тяжелее материал, из которого изготовлена конструкция). Кроме того, звукоизолирующие свойства ограждения возрастают с повышением частоты звука. Однако пользоваться формулой (17.18) для расчета R следует со значительной долей осторожности, так как в ней не учтено влияние жесткости и размеров ограждения. Для корректного расчета R необходимо пользоваться методиками, изложенными в специальной литературе¹.

В качестве материалов для звукоизолирующих ограждений рекомендуется использовать бетон, железобетон, кирпич, керамические блоки, деревянные полотна (для изготовления дверей), стекло и т.д.

Звукоизолирующими кожухами обычно полностью закрывают издающее шум устройство (машину, агрегат, установку и т.д.). Кожухи изготавливают из листового металла (сталь, дюралюминий и т.д.) или пластмассы. Как и в случае звукоизолирующих ограждений, кожухи более эффективно снижают уровень шума на высоких частотах, чем на низких. Так, например, стальной кожух с размером стенки 4x4 м и толщиной стенки 1,5—2 мм обеспечивает снижение шума на частоте $f = 63$ Гц на 21 дБ, а на частоте $f = 4000$ Гц — на 50 дБ.

Звукоизолирующие кабины применяют для размещения пультов управления и рабочих мест в шумных цехах. Их изготавливают из кирпича, бетона и подобных материалов или из металлических панелей.

Акустические экраны представляют собой конструкцию, изготовленную из сплошных твердых листов (металлических и т.п.) толщиной 1,5—2 мм, с покрытой звукопоглощающим материалом поверхностью. Эти экраны устанавливаются на пути распространения звука. За ними возникает зона звуковой тени. Основным акустический эффект (снижение уровня шума) достигается в результате отражения звука от этих конструкций.

В производственных помещениях уровень звука существенно повышается из-за отражения шума от строительных конструкций и оборудования. Для снижения уровня отраженного звука применяют специальную акустическую обработку помещения с

¹ Хорошим пособием для расчета может служить специальный справочник «Средства защиты в машиностроении»/ Под ред. С.В.Белова. — М.: Машиностроение, 1989. — 368 с.

использованием средств звукопоглощения, к которым относятся звукопоглощающие облицовки и штучные звукопоглотители. Как следует из названия этих материалов, они не отражают шум, а поглощают его. При этом колебательная энергия звуковой волны переходит в тепловую (диссипирует) вследствие потерь на трение в звукопоглотителе. Для звукопоглощения используют пористые материалы (т. е. материалы, обладающие несплошной структурой), так как потери на трение в них наиболее значительны. (И наоборот, звукоизолирующие конструкции, отражающие шум, изготавливают из массивных, твердых и плотных материалов).

Количественной характеристикой звукопоглощающих материалов является коэффициент звукопоглощения α , который определяется выражением:

$$\alpha = \frac{E_{\text{погл}}}{E_{\text{пад}}} = E_{\text{пад}} - \frac{E_{\text{отр}}}{E_{\text{пад}}}, \quad (17.19)$$

где $E_{\text{пад}}$ — падающая звуковая энергия;
 $E_{\text{погл}}$ — поглощенная звуковая энергия;
 $E_{\text{отр}}$ — отраженная звуковая энергия.

Звукопоглощающими называют материалы, у которых величина α превышает 0,2. Примером этих материалов могут служить плиты и маты из минеральной ваты, базальтового и стеклянного волокна, акустические плиты с зернистой или волокнистой структурой типа «Акмигран», «Акминит», «Силак-пор» и др.

Штучные звукопоглотители представляют собой объемные звукопоглощающие тела, изготовленные в виде конуса, куба, параллелепипеда и подвешенные к потолку помещения.

Остановимся на способах *борьбы с аэродинамическим шумом*. Для этого используют устройства, называемые глушителями шума. Различают абсорбционные, реактивные и комбинированные глушители. В первом из них затухание аэродинамического шума происходит в порах звукопоглощающих материалов, заполняющих глушитель.

Реактивные глушители отражают звуковую энергию обратно к источнику. В комбинированных глушителях снижение шума достигается за счет сочетания поглощения и отражения звука.

Некоторые способы *защиты от инфразвука* аналогичны способам защиты от шума. К ним следует отнести снижение уровня

инфразвука в его источнике, увеличение жесткости колеблющихся конструкций, применение глушителей реактивного типа. Вместе с тем такие известные методы борьбы с шумом, как звукоизоляция и звукопоглощение, малоэффективны при инфразвуке. Значительно более эффективный подход — борьба с инфразвуком в источнике его возникновения.

Как известно, одним из основных промышленных источников инфразвука являются различные тихоходные машины, число рабочих циклов которых не превышает 20 в секунду (двигатели внутреннего сгорания, компрессоры, вентиляторы и т.д.). Если существует техническая возможность повышения быстроходности этих машин, то возможно обеспечить перевод максимума их звуковой мощности в диапазон слышимых частот, после чего применяют описанные выше методы борьбы с шумом.

Для *снижения или исключения вредного воздействия ультразвука*, передающегося воздушным путем, ультразвуковые установки рекомендуется размещать в специальных помещениях, используя для проведения технологических процессов на них системы дистанционного управления. Большой эффект дает автоматизация этих установок.

Более экономичный способ защиты от воздействия ультразвука заключается в использовании звукоизолирующих кожухов, которыми закрываются ультразвуковые установки, или экранов, располагающихся на пути распространения ультразвука. Эти экраны изготавливают из листовой стали или дюралюминия, пластмассы (гетинакса) либо из специальной резины. Например, применение кожухов на некоторых ультразвуковых установках позволяет снизить уровень ультразвука на 60—80 дБ.

Основные методы защиты от вибрации делятся на две большие группы:

- снижение вибрации в источнике ее возникновения;
- уменьшение параметров вибрации по пути ее распространения от источника.

Для того чтобы снизить вибрацию в источнике ее возникновения, необходимо уменьшить действующие в системе переменные силы. Это достигается заменой динамических технологических процессов статическими (например, ковку и штамповку рекомендуется заменять прессованием, операцию ударной правки — вальцовкой, пневматическую клепку — сваркой и т.д.). Рекомендуется также тщательно выбирать режимы работы обо-

рудования, чтобы вибрация была минимальной. Большой эффект дает тщательная балансировка вращающихся механизмов, применение специальных редукторов с низким уровнем вибрации и другие мероприятия.

Важно, чтобы собственные частоты вибрации агрегата или установки не совпадали с частотами переменных сил, вызывающих вибрацию. В противном случае может возникнуть резонанс, в результате чего резко увеличится амплитуда колебаний (виброперемещение) устройства, что может привести к его поломке или разрушению. Исключить резонансные режимы работы оборудования и тем самым снизить уровень вибрации можно путем изменения массы и жесткости вибрирующей системы, либо установлением нового режима работы агрегата.

Следующий метод защиты от вибрации называется вибродемпфированием (вибропоглощением), под которым понимают превращение энергии механических колебаний системы в тепловую. Это достигается использованием в конструкциях вибрирующих агрегатов специальных материалов (например, сплавов систем медь–никель, никель–титан, титан–кобальт), применением двухслойных материалов типа сталь–алюминий, сталь–медь. Хорошей вибродемпфирующей способностью обладают и традиционные материалы: пластмассы, дерево, резина. Значительный эффект достигается при нанесении на колеблющиеся детали вибропоглощающих покрытий. Пример таких покрытий — различные упруговязкие материалы, такие, как пластмасса или резина, а также различные мастики. Известными вибропоглощающими мастиками являются так называемые «Антивибри-ты» («Антивибрит–2», «Антивибрит–3»), изготавливаемые на основе эпоксидных смол.

Виброгашение, или динамическое гашение, колебаний достигается в первую очередь установкой вибрирующих машин и механизмов на прочные массивные фундаменты. Массу фундамента рассчитывают таким образом, чтобы амплитуда колебаний его подошвы была в пределах 0,1–0,2 мм, а для особо важных сооружений — 0,005 мм.

Если какой-либо агрегат колеблется с определенной частотой, то снизить его вибрацию можно установкой на агрегат динамического виброгасителя — самостоятельной колебательной системы, обладающей массой m и жесткостью q . При этом для вибрации защищаемого агрегата его частота колебаний f и час-

тота колебаний виброгасителя f_0 должны находиться в следующем соотношении:

$$f_0 = \left(\frac{1}{2\pi} \right) \sqrt{q/m} = f. \quad (17.20)$$

Закрепленный жестко на защищаемом агрегате виброгаситель колеблется в противофазе с основной установкой, в результате чего снижается уровень вибрации. Однако он действует на определенной (фиксированной) частоте колебаний, соответствующей резонансному режиму работы. При изменении частоты колебаний основной установки резонанс между ней и виброгасителем пропадает, в результате резко снижается эффективность его работы.

Достаточно эффективным способом защиты является виброизоляция, которая заключается в уменьшении передачи колебания от вибрирующего устройства к защищаемому объекту помещением между ними упругих устройств. Эти устройства называются виброизоляторами. Эффективность виброизоляторов характеризуется коэффициентом передачи (КП), который рассчитывается по следующей формуле:

$$КП = \frac{Fm_{осн}}{Fm_{маш}}, \quad (17.21)$$

где $F_{осн}$ — амплитуда силы, передаваемой на несущую конструкцию;
 $F_{маш}$ — амплитуда переменной силы, создаваемой вибрирующим агрегатом.

В качестве виброизоляторов используют пружинные опоры либо упругие прокладки из резины, пробки и т.д. Возможно использование сочетания этих устройств (комбинированные виброизоляторы).

Для уменьшения вибрации ручного инструмента его ручки выполняются с использованием упругих элементов — виброизоляторов, снижающих уровень вибрации.

Рассмотренные выше методы защиты от шума, инфра- и ультразвука, а также от вибрации относятся к коллективным методам защиты.

К средствам индивидуальной защиты от шума относятся противошумные вкладыши, наушники и шлемы. Противошумные вкладыши вставляют в слуховой канал и перекрывают его. В зависимости от частоты они обеспечивают снижение уровня шума на 5—20 дБ. Их изготавливают из специального ультратонкого

волокна, а также из резины или эбонита. Это наиболее дешевые и компактные индивидуальные средства защиты слуха человека, однако они могут вызвать раздражение слухового прохода.

Акустические характеристики противошумных наушников более эффективны, чем вкладышей. В зависимости от частоты они обеспечивают снижение шума на 7—47 дБ. Наиболее эффективно наушники обеспечивают защиты на высоких частотах.

При очень высоких уровнях шума (более 120 дБ) применяют шлемы.

В качестве индивидуальных средств защиты от контактного действия ультразвука можно рекомендовать применение специальных инструментов с изолированными ручками (покрытыми пористой резиной или поролоном), а также использовать резиновые перчатки.

К средствам индивидуальной защиты от вибраций относятся специальные рукавицы, перчатки и прокладки. Для защиты ног используют виброзащитную обувь, снабженную прокладками из упругодемпфирующих материалов (пластмассы, резины или войлока). С целью профилактики вибрационной болезни персонала, работающего с вибрирующим оборудованием, необходимо строго соблюдать режимы труда и отдыха, чередуя при этом рабочие операции, связанные с воздействием вибрации, и без нее.

Для измерения уровня шума, инфра- и ультразвука, а также вибрации используют различные приборы, позволяющие определять основные характеристики виброакустических факторов. Принципиальная схема шумомера представлена на рис. 17.4.

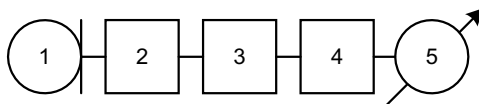


Рис. 17.4. Схема шумомера

(1 — измерительный микрофон; 2 — усилитель; 3 — анализатор частоты (фильтр); 4 — детектор; 5 — регистратор)

В шумомерах используют конденсаторные или пьезоэлектрические микрофоны, преобразующие звуковые колебания в электрические, которые затем усиливаются, проходят через корректирующие фильтры и выпрямитель и поступают на прибор — регистратор.

Среди отечественных приборов для измерения шума можно указать ВШВ-003, позволяющий проводить измерения в частотном диапазоне 10—20 000 Гц (уровень измеряемого звука 25—140 дБ), и ШВК-1 с фильтрами ФЭ-2 (уровень измеряемого звука 30—140 дБ в частотном диапазоне 2—40 000 Гц.). Как следует из их частотных характеристик, эти приборы захватывают и инфразвуковой диапазон.

Контрольные вопросы



1. Дайте определение понятий «шум», «ультразвук», «инфразвук», «вибрация».
2. Какими физическими параметрами характеризуется шум?
3. Какими физическими параметрами характеризуются ультразвуковые и инфразвуковые колебания?
4. Каково действие шума, ультра- и инфразвука, а также вибрации на организм человека?
5. В чем заключается нормирование шума, ультра- и инфразвука, а также вибрации?
6. Перечислите основные методы защиты от воздействия шума, ультра- и инфразвука, вибрации.
7. Что такое звукоизоляция, звукопоглощение?
8. Что такое виброизоляция?
9. Что такое глушители шума? Для защиты от каких шумов их используют?
10. Перечислите индивидуальные средства защиты от шума, ультразвука и вибрации.
11. Какими приборами измеряют шум, ультра- и инфразвук, а также вибрацию?

18

Защита от электромагнитных полей и лазерного излучения



Электромагнитные волны возникают при ускоренном движении электрических зарядов. Электромагнитные волны — это взаимосвязанное распространение в пространстве изменяющихся электрического и магнитного полей. Совокупность этих полей, неразрывно связанных друг с другом, называется *электромагнитным полем*. Несмотря на то, что длина электромагнитных волн и их свойства различны, все они, начиная от радиоволн и заканчивая гамма-излучением, — одной физической природы. Исследованный в настоящее время диапазон электромагнитных волн состоит из волн с длинами, соответствующими частотам от 10^3 до 10^{24} Гц. По мере убывания длины волны в диапазон включаются радиоволны, инфракрасное излучение, видимый свет (световые лучи), ультрафиолетовое излучение, рентгеновское излучение и гамма-излучение.

Источниками электромагнитных полей являются атмосферное электричество, космические лучи, излучение солнца, а также искусственные источники: различные генераторы, трансформаторы, антенны, лазерные установки, микроволновые печи, мониторы компьютеров и др. На предприятиях источниками электромагнитных полей промышленной частоты являются высоковольтные линии электропередач (ЛЭП), измерительные приборы, устройства защиты и автоматики, соединительные шины и др. В зависимости от длины волны электромагнитное излучение делят на ряд диапазонов (табл. 18.1).

Т а б л и ц а 18.1. Диапазоны электромагнитных излучений в области радиочастот

Номер диапазона	Диапазон частот*	Диапазоны длин волн**	Соответствующее метрическое подразделение
5	30—300 КГц	10^4 — 10^3 м	Километровые волны (низкие частоты — НЧ)
6	300—3000 КГц	10^3 — 10^2 м	Гектометровые волны (средние частоты — СЧ)
7	3—30 МГц	10^2 —10 м	Декаметровые волны (высокие частоты — ВЧ)
8	30—300 МГц	10—1 м	Метровые волны (очень высокие частоты — ОВЧ)
9	300—3000 МГц	1—0,1 м	Дециметровые волны (ультра-высокие частоты — УВЧ)
10	3—30 ГГц	10—1 см	Сантиметровые волны (сверх-высокие частоты — СВЧ)
11	30—300 ГГц	1—0,1 см	Миллиметровые волны (крайне высокие частоты — КВЧ)

* Представленные в таблице диапазоны частот включают верхние пределы и исключают нижние.

** Представленные в таблице диапазоны длин волн включают нижние пределы и исключают верхние.

Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме не зависит от длины волны и равна: $C = 2,997925 \cdot 10^8$ м/с.

Электромагнитная волна, распространяясь в неограниченном пространстве со скоростью света, создает переменное электромагнитное поле, которое способно воздействовать на заряженные частицы и токи, в результате чего происходит превращение энергии поля в другие виды энергии. Как уже сказано выше, переменное электромагнитное поле представляет собой совокупность магнитного и электрического полей, количественной характеристикой которых являются напряженность электрического поля E (размерность — вольт на метр, или, сокращенно, В/м) и напряженность магнитного поля H (размерность — ампер на метр, или, сокращенно, А/м). Величины E и H — векторные, их колебания происходят во взаимоперпендикулярных плоскостях.

При распространении в воздухе или в вакууме $E = 377H$.

Плотность потока энергии (I) может быть записана (в векторной форме) как $\vec{I} = \vec{E}\vec{H}$. Эти величины показывают, какое количество энергии протекает за 1 с через площадку, расположенную перпендикулярно движению волны.

Если сформировавшаяся электромагнитная волна имеет сферическую форму, то справедливо следующее равенство:

$$I = \frac{P_{\text{ист}}}{4\pi r^2} = \overline{EH} = \frac{E^2}{377}, \quad (18.1)$$

где $P_{\text{ист}}$ — мощность источника излучения, Вт;
 r — расстояние от источника излучения, м.

Отсюда можно определить напряженность электрического поля по формуле:

$$E = \frac{\sqrt{30P_{\text{ист}}}}{r}. \quad (18.2)$$

Начиная от источника излучения всю область распространения электромагнитных волн принято условно разделять на три зоны: ближнюю, промежуточную и дальнюю. Радиус ближней зоны приблизительно составляет 1/6 волны от источника излучения, а дальняя зона начинается на расстоянии, равном примерно 6 длинам волн; промежуточная зона находится между ними.

Переменные электромагнитные поля способны оказывать негативное воздействие на организм человека, последствия которого зависят от напряженности электрического и магнитного полей, частоты излучения, плотности потока энергии, размера облучаемой поверхности тела человека и индивидуальных способностей его организма. Ткани человеческого организма поглощают энергию электромагнитного поля¹, в результате этого происходит нагрев тела человека. Интенсивнее всего электромагнитные поля воздействуют на органы и ткани с большим содержанием воды: мозг, желудок, желчный и мочевой пузырь, почки. При воздействии электромагнитного излучения на глаза человека возможно помутнение хрусталика (катаракта).

Как известно, человеческий организм обладает свойством терморегуляции, т. е. поддержания постоянной температуры те-

¹ Проводящие электрический ток ткани человеческого организма (жидкие составляющие тканей, кровь и т.д.) нагреваются в результате возникновения в них вихревых токов, а непроводящие, т.е. диэлектрики (хрящи, сухожилия и т.д.) — в результате возбуждаемых электромагнитным полем колебаний молекул диэлектрика с последующей их поляризацией, происходящих с выделением тепла.

ла. При нагреве человеческого организма в электромагнитном поле происходит отвод избыточной теплоты до плотности потока энергии $I = 10 \text{ мВт/см}^2$. Эта величина называется *тепловым порогом*, начиная с которого система терморегуляции не справляется с отводом генерируемого тепла, происходит перегрев организма человека, что негативно сказывается на его здоровье.

Воздействие электромагнитных полей с интенсивностью, меньшей теплового порога, также небезопасно для здоровья человека. Оно нарушает функции сердечно-сосудистой системы, ухудшает обмен веществ, приводит к изменению состава крови, снижает биохимическую активность белковых молекул. При длительном воздействии на работающих электромагнитного излучения различной частоты возникают повышенная утомляемость, сонливость или нарушение сна, боли в области сердца, торможение рефлексов и т.д.

Произошедшие под действием электромагнитных полей нарушения в организме обратимы, если в нем не произошло патологических изменений. Для этого необходимо либо прекратить контакт с излучением, либо разработать мероприятия по защите от него.

При воздействии на организм человека постоянных магнитных и электростатических полей с интенсивностью, превышающей безопасный уровень, могут развиваться нарушения в деятельности сердечно-сосудистой системы, органов дыхания и пищеварения, возможно изменение состава крови и др. Электрические поля промышленной частоты ($f = 50 \text{ Гц}$) воздействуют на мозг и центральную нервную систему.

Между человеком, находящимся в таком поле и обладающим определенным потенциалом, и металлическим проводником с меньшим потенциалом может возникнуть электрический заряд, приводящий к судорожным сокращениям мышц или иным, более тяжелым последствиям (см. гл. 20).

Предельно допустимые уровни облучения в диапазоне радиочастот определяются ГОСТом 12.1.006-84 «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля». В соответствии с этим нормативным документом установлена предельно допустимая напряженность электрического поля ($E_{\text{пд}}$, В/м) в диапазоне 0,06–300 МГц и предельно допустимая энергетическая нагрузка за рабочий день [$\mathcal{E}N_{E_{\text{пд}}}$, (В/м) $^2 \cdot \text{ч}$]. Между этими величинами существует следующая связь:

$$E_{\text{ПД}} = \sqrt{\frac{\partial H_{E_{\text{ПД}}}}{T}}, \quad (18.3)$$

где T — время воздействия в течение рабочего дня, ч.

Для частот 0,06—3,0 МГц: $E_{\text{ПД}} = 500$ В/м, $\partial H_{E_{\text{ПД}}} = 20\,000$ (В/м)²ч

Для частот 3,0—30 МГц: $E_{\text{ПД}} = 300$ В/м, $\partial H_{E_{\text{ПД}}} = 7000$ (В/м)²ч

Для частот 30—300 МГц: $E_{\text{ПД}} = 80$ В/м, $\partial H_{E_{\text{ПД}}} = 800$ (В/м)²ч

Предельно допустимая напряженность магнитного поля в диапазоне частот 0,06 — 3 МГц в соответствии с названным выше ГОСТом должна составлять $H_{\text{ПД}} = 50$ А/м. Между этой характеристикой и предельно допустимой энергетической нагрузкой за рабочий день [$\partial H_{H_{\text{ПД}}}$, (А/м)²ч] существует следующая зависимость:

$$H_{\text{ПД}} = \sqrt{\frac{\partial H_{H_{\text{ПД}}}}{T}}, \quad (18.4)$$

где T — время воздействия, ч (величина $\partial H_{H_{\text{ПД}}}$ не должна превышать 200 А/м²).

Предельно допустимые уровни воздействия постоянных магнитных полей нормируются в соответствии с СН № 1742-77. Напряженность такого поля (H) не должна превышать 8000 А/м.

Электрические поля промышленной частоты нормируются в соответствии с ГОСТом 12.1.002-84 «Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряжения и требования к проведению контроля на рабочих местах». В соответствии с этим нормативным документом предельно допустимый уровень напряженности электрического поля (E) составляет 25 000 В/м. Кроме того, оговаривается допустимое время пребывания (T , ч) в электрическом поле с различной напряженностью:

E , в/м	До 5000 В/м	5000—20 000 В/м	От 20 000 до 25 000 В/м
T , ч	В течение рабочего дня	Вычисляются по формуле	1/6
		$T = \frac{50}{E} - 2$	

В нашей стране разработаны также гигиенические нормативы для электростатических полей, электрических полей диапазона частот 1—12 кГц, магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) и др.

Рассмотрим *основные методы защиты от электромагнитных излучений*. К ним следует отнести рациональное размещение излучающих и облучаемых объектов, исключаящее или ослабляющее воздействие излучения на персонал; ограничение места и времени нахождения работающих в электромагнитном поле; защита расстоянием, т. е. удаление рабочего места от источника электромагнитных излучений; уменьшение мощности источника излучений; использование поглощающих или отражающих экранов; применение средств индивидуальной защиты и некоторые др.

Из перечисленных выше методов защиты чаще всего применяются экранирование или рабочих мест, или непосредственно источника излучения. Различают отражающие и поглощающие экраны. Первые изготавливают из материалов с низким электросопротивлением, чаще всего из металлов или их сплавов (меди, латуни, алюминия и его сплавов, стали). Весьма эффективно и экономично использовать не сплошные экраны, а изготовленные из проволочной сетки или из тонкой (толщиной 0,01—0,05 мм) алюминиевой, латунной или цинковой фольги. Хорошей экранирующей способностью обладают токопроводящие краски (в качестве токопроводящих элементов используют коллоидное серебро, порошковый графит, сажу и др.), а также металлические покрытия, нанесенные на поверхность защитного материала. Экраны должны заземляться.

Защитные действия таких экранов заключаются в следующем. Под действием электромагнитного поля в материале экрана возникают вихревые токи (токи Фуко), которые наводят в нем вторичное поле. Амплитуда наведенного поля приблизительно равна амплитуде экранируемого поля, а фазы этих полей противоположны. Поэтому результирующее поле, возникающее в результате суперпозиции (сложения) двух рассмотренных полей, быстро затухает в материале экрана, проникая в него на малую глубину.

Эффективность действия экрана, или эффективность экранирования (\mathcal{E}), может быть рассчитана по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{I_0}{I}, \quad (18.5)$$

где I_0 — плотность потока энергии в данной точке при отсутствии экрана Вт/м²;

I — плотность потока энергии в той же точке при наличии экрана, Вт/м²;

или выражена в децибелах:

$$\mathcal{A} = 10 \lg \frac{I_0}{I}, \text{ дБ.} \quad (18.6)$$

Например, замкнутый экран, сваренный из листовой стали непрерывным швом, имеет эффективность экранирования в диапазоне частот 0,15—10 000 МГц примерно 100 дБ.

Другой вид экранов — поглощающие. Их действие сводится к поглощению электромагнитных волн. Эти экраны изготавливаются в виде эластичных и жестких пенопластов, резиновых ковриков, листов поролона или волокнистой древесины, обработанной специальным составом, а также из ферромагнитных пластин. Отраженная мощность излучения от этих экранов не превышает 4%. Например, радиопоглощающий материал «Луч», изготовленный из древесных волокон, в диапазоне длин волн излучения 0,15—1,5 м имеет отраженную мощность 1—3%.

Существуют и другие типы экранов, например, многослойные.

Экранами могут защищаться оконные проемы и стены зданий и сооружений, находящихся под воздействием электромагнитного излучения (ЭМИ). Строительные конструкции (стены, перекрытия зданий), а также отделочные материалы (краски и т.д.) могут либо поглощать, либо отражать электромагнитные волны.

Для защиты от электрических полей промышленной частоты, возникающих вдоль линий высоковольтных электропередач (ЛЭП), необходимо увеличивать высоту подвеса проводов линий, уменьшать расстояние между ними, создавать санитарно-защитные зоны вдоль трассы ЛЭП на населенной территории (табл. 18.2). В этих зонах ограничивается длительность работ, а также заземляются машины и оборудование.

Особым видом электромагнитного излучения является лазерное излучение, которое генерируется в специальных устройствах, называемых оптическими квантовыми генераторами или лазерами. Эти устройства широко применяются в различных областях науки и техники, в том числе для обработки различных материалов (получение отверстий, резка и т.д.), в медицине (проведение различных операций), в системах связи для передачи сигналов по лазерному лучу, для измерения расстояний, для получения объемных изображений предметов — голограмм и в ряде других областей.

Т а б л и ц а 18.2. Размеры санитарно-защитных зон вдоль высоковольтных линий (по СН № 2963-84)

<i>Напряжение высоковольтной линии, кВ</i>	<i>Расстояние от проекции на землю крайних фаз проводов, м</i>	<i>Напряжение высоковольтной линии, кВ</i>	<i>Расстояние от проекции на землю крайних фаз проводов, м</i>
1150	300 (55)	220	25
750	250 (40)	110	20
500	150 (30)	35	15
330	75 (20)	До 20	10

П р и м е ч а н и е. Значения, представленные в скобках, допускаются в порядке исключения для сельской местности.

Рубиновые лазеры излучают в оптической части спектра. Длительность импульсов составляет от нескольких миллисекунд (мс) до сотен наносекунд (нс). Энергия одного импульса может достигать сотен джоулей при мощности в сотни мегаватт (1МВт = 10^6 Вт). В настоящее время разработан ряд оптических квантовых генераторов, использующих различные оптические среды (фтористый кальций, вольфрамат кальция, различные газы и др.). Эти лазеры могут работать как в импульсном, так и в непрерывном режимах.

Лазерное излучение — электромагнитное излучение, генерируемое в диапазоне волн 0,2—1000 мкм. Этот диапазон делится на следующие области спектра в соответствии с биологическим действием лазерного луча: 0,2—0,4 мкм — ультрафиолетовая область, 0,4—0,75 — видимая, 0,75—1,4 мкм — ближняя инфракрасная, свыше 1,4 мкм — дальняя инфракрасная область. Наиболее часто используют в технике лазеры с длинами волн, мкм: 0,34, 0,49—0,51, 0,53, 0,694, 1,06 и 10,6.

Воздействие излучения лазера на организм человека до конца не изучено. При работе лазерных установок на организм человека могут воздействовать следующие опасные и вредные производственные факторы: мощное световое излучение от ламп накачки, ионизирующее излучение, высокочастотные и сверхвысокочастотные электромагнитные поля, инфракрасное излучение, шум, вибрация, возникающие при работе лазерных установок, и др.

При воздействии лазерного излучения на организм человека возникают различные биологические эффекты, которые зависят

от энергетических и временных параметров излучения и в первую очередь от энергетической экспозиции в импульсе, длины волны и времени воздействия лазерного излучения, вида облучаемой ткани человеческого организма и ряда других факторов. Энергетическая экспозиция может быть рассчитана по формуле:

$$H = E_e t, \quad (18.7)$$

где H – энергетическая экспозиция;

E_e – энергетическая освещенность (отношение энергии излучения, падающей на рассматриваемый участок поверхности, к его площади);

t – время воздействия лазерного излучения.

Таким образом, с физической точки зрения энергетическая экспозиция — это отношение энергии излучения, падающей на рассматриваемый участок поверхности, к площади этого участка, умноженное на длительность облучения.

Различают первичные и вторичные биологические эффекты, возникающие под действием лазерного излучения. Первичные изменения происходят в тканях человека непосредственно под действием излучения (ожоги, кровоизлияния и т.д.), а вторичные (побочные явления) вызываются различными нарушениями в человеческом организме, развившимися вследствие облучения.

Наиболее чувствителен к воздействию лазерного излучения глаз человека. Воздействие на него лазерного излучения может привести к ожогам сетчатки и даже к потере зрения. Опасно попадание лазерного луча и на кожу человека, в результате чего могут возникнуть ожоги различной степени тяжести и даже обугливание кожи. Лазерные лучи высокой интенсивности могут вызвать не только повреждения кожи, но и поражение различных внутренних тканей и органов человека, что выражается в виде кровоизлияний, отеков, а также свертывания или распада крови.

Нормирование лазерного излучения производят в соответствии с СН № 2392-81 «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров». Основным нормируемым параметром является *энергетическая экспозиция* (H , Дж/см²) облучаемых тканей за определенное время воздействия лазерного излучения. Если нормируемая величина H (предельно допустимый уровень) не превышена, то у работающих под воздействием лазерного излучения не будут вызываться первичные и вторичные биологические эффекты. Величина предельной энергетической экспозиции зависит от длины

волны лазерного излучения и длительности его воздействия на работающего. Пример такого нормирования для лазерного излучения с длиной волны от 0,2 до 0,4 мкм представлен в табл. 18.3. Общее время облучения в этом случае составляет рабочий день. Энергетическая экспозиция нормируется на роговице глаза и коже.

Т а б л и ц а 18.3. Предельно допустимый уровень лазерного излучения (энергетической экспозиции) с длиной волны 0,2—0,4 мкм (ультрафиолетовая область)

<i>Длина волны лазерного излучения, мкм</i>	<i>Энергетическая экспозиция, Дж/см²</i>	<i>Длина волны лазерного излучения, мкм</i>	<i>Энергетическая экспозиция Дж/см²</i>
От 0,200 до 0,210	$1 \cdot 10^{-8}$	Свыше 0,290 до 0,300	$1 \cdot 10^{-5}$
Свыше 0,210 до 0,215	$1 \cdot 10^{-7}$	Свыше 0,300 до 0,370	$1 \cdot 10^{-4}$
Свыше 0,215 до 0,290	$1 \cdot 10^{-6}$	Свыше 0,370	$2 \cdot 10^{-3}$

Предельно допустимые уровни лазерного излучения (энергетической экспозиции) относятся к длинам волн от 0,2 до 20 мкм. Кроме того, в Санитарных нормах для длин волн от 0,4 до 1,4 мкм установлены предельно допустимые уровни энергетической экспозиции сетчатки глаза. Для видимой части спектра (0,4—0,75 мкм), кроме рассмотренных характеристик, дополнительно нормируется энергия излучения (Q , Дж) на сетчатке глаза.

К основным коллективным средствам защиты от лазерного излучения относятся применение защитных экранов и кожухов; использование телевизионных систем наблюдения за ходом технологического процесса с использованием лазера, а также систем блокировки и сигнализации; ограждение лазерно-опасной зоны, размеры которой определяют или расчетным, или экспериментальным путем. Следует защищаться не только от прямого излучения лазера, но и от рассеянного и отраженного излучений.

Напряженность постоянного магнитного поля может быть измерена отечественными приборами Ш1-8 или Ф-4355. Магнитное поле промышленной частоты при напряженности до 15 кА/м измеряют отечественным прибором Г-79, а в диапазоне частот 0,01—30 МГц — приборами ПЗ-15, ПЗ-16 и ПЗ-17. Три последних прибора могут быть рекомендованы и для измерения напряженности

электрического поля в диапазоне частот 0,01—300 МГц. Для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля применяют отечественные приборы ПЗ-9, ПЗ-18, ПЗ-19 и ПЗ-20, которые перекрывают частотный диапазон 0,3—400 ГГц.

Для измерения характеристик лазерного излучения применяются дозиметры типа ИЛД-2М и ЛДМ-2. Первый обеспечивает измерение параметров лазерного излучения в спектральных диапазонах 0,49—1,15 и 2—11 мкм, он дает прямые показания измеряемых параметров при работе на длинах волн 0,53; 0,63; 0,69; 1,06 и 10,6 мкм. На остальных длинах волн (0,49—1,15 мкм) дозиметр обеспечивает косвенные измерения. Прибор ЛДМ-2 предназначен для определения параметров лазерного излучения в спектральных диапазонах 0,49—1,15 и 2—11 мкм. Прямые измерения этот дозиметр осуществляет на длинах волн 0,53; 0,63; 0,69; 0,91; 1,06 и 10,6 мкм.

Для индивидуальной защиты от электромагнитного излучения применяют специальные комбинезоны и халаты, изготовленные из металлизированной ткани (экранируют электромагнитные поля), а для защиты от действия лазера обслуживающий персонал должен работать в технологических халатах, изготовленных из хлопчатобумажной или бязевой ткани светло-зеленого или голубого цвета.

Для защиты глаз от воздействия электромагнитного излучения применяют очки марки ЗП5-90, стекла которых покрыты диоксидом олова (SnO_2), обладающим полупроводниковыми свойствами; марки стекол, применяемых для защиты глаз от воздействия лазерного излучения, представлены в табл. 18.4.

Т а б л и ц а 18.4. Марки стекол, применяемые в противолазерных очках и светофильтрах

Длина волны лазерного излучения, мкм	0,48—0,51	0,53	0,69	0,84	1,06	1,54	10,6
Марка стекла	ОС-12 ОС-13	ОС-12 ОС-13	СЗС-21 СЗС-22	СЗС-21 СЗС-22	СЗС-21 СЗС-22 СЗС-24	СЗС-24 СЗС-25 СЗС-26	БС-15

Примечание. ОС — оранжевое стекло; СЗС — сине-зеленое стекло; БС — бесцветное стекло.

Контрольные вопросы



1. Дайте определение понятия «электромагнитное поле».
2. Какими физическими параметрами характеризуется электромагнитное излучение?
3. Какие источники электромагнитных полей вы знаете?
4. Каково действие электромагнитных полей на организм человека?
5. Что такое нормирование электромагнитных полей?
6. Перечислите и охарактеризуйте основные методы защиты от электромагнитных излучений.
7. Как генерируется лазерное излучение?
8. Охарактеризуйте воздействие лазера на организм человека.
9. Как нормируется лазерное излучение?
10. Каковы методы защиты от лазерного излучения?
11. Каковы индивидуальные средства защиты от воздействия электромагнитного и лазерного излучений?
12. Какими приборами измеряют электромагнитное и лазерное излучения?

19

Защита от ионизирующих излучений



19.1. Основные характеристики ионизирующих излучений

Ионизирующими называют излучения, взаимодействие которых со средой приводит к образованию электрических зарядов различных знаков. Источники этих излучений широко используются в технике, химии, медицине, сельском хозяйстве и других областях, например, при измерении плотности почв, обнаружении течей в газопроводах, измерении толщины листов, труб и стержней, антистатической обработке тканей, полимеризации пластмасс, радиационной терапии злокачественных опухолей и др. Однако следует помнить, что источники ионизирующего излучения представляют существенную угрозу здоровью и жизни использующих их людей.

Существуют два вида ионизирующих излучений:

- корпускулярное, состоящее из частиц с массой покоя, отличной от нуля (альфа- и бета¹-излучение и нейтронное излучение);
- электромагнитное (гамма(γ)-излучение и рентгеновское) с очень малой длиной волны.

Рассмотрим основные характеристики указанных излучений.

Альфа(α)-излучение представляет собой поток ядер гелия, обладающих большой скоростью. Эти ядра имеют массу 4 и заряд +2. Они образуются при радиоактивном распаде ядер или при ядерных реакциях. В настоящее время известно более 120 ис-

¹ В литературе принято обозначать альфа- и бета-частицы с помощью соответствующих греческих букв — α -частицы и β -частицы.

кусственных и естественных альфа-радиоактивных ядер, которые, испуская альфа-частицу, теряют 2 протона и 2 нейтрона.

Энергия альфа-частиц не превышает нескольких МэВ¹. Излучаемые альфа-частицы движутся практически прямолинейно со скоростью примерно 20 000 км/с.

Под длиной пробега частицы в воздухе или других средах принято называть наибольшее расстояние от источника излучения, при котором еще можно обнаружить частицу до ее поглощения веществом. Длина пробега частицы зависит от заряда, массы, начальной энергии и среды, в которой происходит движение. С возрастанием начальной энергии частицы и уменьшением плотности среды длина пробега увеличивается. Если начальная энергия излучаемых частиц одинакова, то тяжелые частицы обладают меньшими скоростями, чем легкие. Если частицы движутся медленно, то их взаимодействие с атомами вещества среды более эффективно и частицы быстрее растрачивают имеющийся у них запас энергии.

Длина пробега альфа-частиц в воздухе обычно менее 10 см. Так, например, альфа-частицы с энергией 4 МэВ обладают длиной пробега в воздухе примерно в 2,5 см. В воде или в мягких тканях человеческого тела, плотность которых более чем в 700 раз превышает плотность воздуха, длина пробега альфа-частиц составляет несколько десятков микрометров. За счет своей большой массы при взаимодействии с веществом альфа-частицы быстро теряют свою энергию. Это объясняет их низкую проникающую способность и высокую удельную ионизацию: при движении в воздушной среде альфа-частица на 1 см своего пути образует несколько десятков тысяч пар заряженных частиц — ионов.

Бета-излучение представляет собой поток электронов (β^- -излучение, или, чаще всего, просто β -излучение) или позитронов (β^+ -излучение), возникающих при радиоактивном распаде. В настоящее время известно около 900 бета-радиоактивных изотопов.

Масса бета-частиц в несколько десятков тысяч раз меньше массы альфа-частиц. В зависимости от природы источника бета-

¹ МэВ — единица энергии (мега-электрон-вольт), применяемая в атомной и ядерной физике. $1\text{МэВ} = 10^6\text{ эВ}$ (электрон-вольт). Для перевода значений энергии излучения в систему СИ пользуются следующими соотношениями: $1\text{ эВ} = 1,60206 \cdot 10^{-19}\text{ Дж}$; $1\text{ МэВ} = 1,60206 \cdot 10^{-13}\text{ Дж}$.

излучений скорость этих частиц может лежать в пределах 0,3—0,99 скорости света. Энергия бета-частиц не превышает нескольких МэВ, длина пробега в воздухе составляет приблизительно 1800 см, а в мягких тканях человеческого тела ~ 2,5 см. Проникающая способность бета-частиц выше, чем альфа-частиц (из-за меньших массы и заряда). Например, для полного поглощения потока бета-частиц, обладающих максимальной энергией 2 МэВ, требуется защитный слой алюминия толщиной 3,5 мм. Ионизирующая способность бета-излучения ниже, чем альфа-излучения: на 1 см пробега бета-частиц в среде образуется несколько десятков пар заряженных ионов.

Нейтронное излучение представляет собой поток ядерных частиц, не имеющих электрического заряда. Масса нейтрона приблизительно в 4 раза меньше массы альфа-частиц. В зависимости от энергии различают медленные нейтроны (с энергией менее 1 КэВ¹), нейтроны промежуточных энергий (от 1 до 500 КэВ) и быстрые нейтроны (от 500 КэВ до 20 МэВ). Среди медленных нейтронов различают тепловые нейтроны с энергией менее 0,2 эВ. Тепловые нейтроны находятся по существу в состоянии термодинамического равновесия с тепловым движением атомов среды. Наиболее вероятная скорость движения таких нейтронов при комнатной температуре составляет 2200 м/с. При неупругом взаимодействии нейтронов с ядрами атомов среды возникает вторичное излучение, состоящее из заряженных частиц и гамма-квантов (гамма-излучение). При упругих взаимодействиях нейтронов с ядрами может наблюдаться обычная ионизация вещества. Проникающая способность нейтронов зависит от их энергии, но она существенно выше, чем у альфа- или бета-частиц. Так, длина пробега нейтронов промежуточных энергий составляет около 15 м в воздушной среде и 3 см в биологической ткани, аналогичные показатели для быстрых нейтронов — соответственно 120 м и 10 см. Таким образом, нейтронное излучение обладает высокой проникающей способностью и представляет для человека наибольшую опасность из всех видов корпускулярного излучения. Мощность нейтронного потока измеряется плотностью потока нейтронов (нейтр./см² · с).

Гамма-излучение (γ -излучение) представляет собой электромагнитное излучение с высокой энергией и с малой длиной

¹ 1 КэВ (кило-электрон-Вольт) = 10³ эВ.

волны¹. Оно испускается при ядерных превращениях или взаимодействии частиц. Высокая энергия (0,01—3МэВ) и малая длина волны обуславливает большую проникающую способность гамма-излучения. Гамма-лучи не отклоняются в электрических и магнитных полях. Это излучение обладает меньшей ионизирующей способностью, чем альфа- и бета-излучение.

Рентгеновское излучение может быть получено в специальных рентгеновских трубах, в ускорителях электронов, в среде, окружающей источник бета-излучения, и др. Рентгеновские лучи представляют собой один из видов электромагнитного излучения. Энергия его обычно не превышает 1 МэВ.

В качестве примера определим длину волны γ -излучения с энергией 0,048 МэВ.

Используя известное соотношение $1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$, выразим энергию γ -излучения в джоулях:

$$E = 0,048 \cdot 10^{-6} (\text{эВ}) \frac{1,602 \cdot 10^{-19} (\text{Дж})}{1 (\text{эВ})} = 0,077 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}. \quad (19.1)$$

Энергия γ -излучения определяется следующей формулой:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad (19.2)$$

где h — постоянная планка ($h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$);

ν — частота кванта электромагнитной энергии, гц;

c — скорость света ($c \approx 3,00 \cdot 10^8 \text{ м/с}$);

λ — длина волны, м.

$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с} \cdot 3,00 \cdot 10^8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}}{0,077 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}} = 0,26 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 2,6 \text{ нм}.$$

Рентгеновское излучение, как и гамма-излучение, обладает малой ионизирующей способностью и большой глубиной проникновения.

Рассмотрим основные показатели и единицы измерения, применяемые для характеристики ионизирующих излучений. Как уже сказано выше, при распаде ядер атомов его продукты вылетают с большой скоростью. Встречая на своем пути ту или иную преграду, они производят в ее веществе различные изме-

¹ Начиная от длины волны $2 \cdot 10^{-2} \text{ нм}$ в сторону коротких длин волн расположены гамма-лучи, возникающие при радиоактивном распаде атомов. Таким образом, электромагнитные излучения различного происхождения в этой области длин волн перекрываются, и их называют гамма-излучением или рентгеновским излучением в зависимости от источника.

нения. Воздействие излучения на вещество будет тем больше, чем больше распадов происходит в единицу времени. Для характеристики числа распадов вводится понятие *активности* (A) радиоактивного вещества, под которым понимают число самопроизвольных ядерных превращений dN в этом веществе за малый промежуток времени dt , деленное на этот промежуток времени:

$$A = \frac{dN}{dt}. \quad (19.3)$$

Единицей измерения активности является Кюри (Ки), соответствующая $3,7 \cdot 10^{10}$ ядерных превращений в секунду. Такая активность соответствует активности 1 г радия-226. Гораздо реже используется единица активности беккерель (Бк)

$$1\text{Ки} = 3,7 \cdot 10^{11} \text{Бк}.$$

Для характеристики воздействия ионизирующего излучения на вещество введено понятие дозы излучения. *Дозой излучения* называется часть энергии, переданная излучением веществу и поглощенная им. Количественной характеристикой взаимодействия ионизирующего излучения и вещества является *поглощенная доза излучения* (D), равная отношению средней энергии dE , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе облученного вещества в этом объеме dm :

$$D = \frac{dE}{dm}. \quad (19.4)$$

Поглощенная доза является основной дозиметрической величиной. В системе СИ в качестве единицы поглощенной дозы принят грей (Гр). 1 Гр соответствует поглощению в среднем 1 Дж энергии ионизирующего излучения в массе вещества, равной 1 кг, т. е. $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}^1$.

До недавнего времени за количественную характеристику только рентгеновского и гамма-излучения, основанную на их ионизирующем действии, принималась *экспозиционная доза* X — отношение полного электрического заряда dQ ионов одного знака, возникающих в малом объеме сухого воздуха, к массе воздуха dm в этом объеме, т. е.

¹ Ранее в качестве единицы поглощенной дозы использовался рад (рд). Он соответствовал поглощению в среднем 100 эрг.

$$X = \frac{dQ}{dm}. \quad (19.5)$$

Единицей экспозиционной дозы в системе СИ является кулон на килограмм (Кл/кг)¹.

Для оценки возможного ущерба здоровью при хроническом воздействии ионизирующего излучения произвольного состава введено понятие *эквивалентной дозы (H)*. Эта величина определяется как произведение поглощенной дозы D на средний коэффициент качества излучения \bar{Q} (безразмерный) в данной точке ткани человеческого тела, т. е.:

$$H = D \cdot \bar{Q}. \quad (19.6)$$

Единицей эквивалентной дозы в системе СИ является зиверт² (Зв). В табл. 19.1 представлены сведения о величинах коэффициента \bar{Q} .

Т а б л и ц а 19.1. Значения \bar{Q} для различных видов излучения

Вид излучения	\bar{Q}
Рентгеновское излучение	1
Электроны и позитроны, бета-излучение	1
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10
Нейтроны с энергией меньше 20 МэВ	3
Нейтроны с энергией 0,1—10 МэВ	10
Альфа-излучение с энергией меньше 10 МэВ	20
Тяжелые ядра отдачи	20

Существует еще одна характеристика ионизирующего излучения — *мощность дозы X* (соответственно поглощенной, экспозиционной или эквивалентной), представляющая собой прира-

¹ внесистемной единицей дозы рентгеновского и гамма-излучения является рентген (р) — доза излучения, при которой суммарный заряд положительных или отрицательных ионов, образующихся в $1,293 \cdot 10^{-6}$ кг воздуха, равен $0,33 \cdot 10^{-9}$ кулонов. Это соответствует образованию $2,08 \cdot 10^9$ пар одновалентных ионов в 1 см^3 воздуха при нормальных условиях ($T = 273 \text{ К}$, $P = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па}$) и связано с затратой энергии около $87 \cdot 10^{-7} \text{ Дж/кг}$; $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг} = 0,88 \text{ рад}$.

² Существует специальная единица эквивалентной дозы — биологический эквивалент рентгена (бэр). 1 бэр — это количество энергии любого вида излучения, поглощенного в биологической ткани, биологическое действие которого эквивалентно действию 1 рад рентгеновского или гамма-излучения; $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$.

шение дозы за малый промежуток времени dx , деленное на этот промежуток dt . Так, мощность экспозиционной дозы (\dot{X} или W , Кл/кг·с) составит:

$$\dot{X} = W = \frac{dX}{dt}. \quad (19.7)$$

Аналогично рассчитывают мощность поглощенной (Гр/с) или эквивалентной (Зв/с) доз.

Биологическое действие рассмотренных излучений на организм человека различно.

Альфа-частицы, проходя через вещество и сталкиваясь с атомами, ионизируют (заряжают) их, выбивая электроны. В редких случаях эти частицы поглощаются ядрами атомов, переводя их в состояние с большей энергией. Эта избыточная энергия способствует протеканию различных химических реакций, которые без облучения не идут или идут очень медленно. Альфа-излучение производит сильное действие на органические вещества, из которых состоит человеческий организм (жиры, белки и углеводы). На слизистых оболочках это излучение вызывает ожоги и другие воспалительные процессы.

Под действием бета-излучений происходит радиолиз (разложение) воды, содержащейся в биологических тканях, с образованием водорода, кислорода, пероксида водорода H_2O_2 , заряженных частиц (ионов) OH^- и HO_2^- . Продукты разложения воды обладают окислительными свойствами и вызывают разрушение многих органических веществ, из которых состоят ткани человеческого организма.

Действие гамма- и рентгеновского излучений на биологические ткани обусловлено в основном образующимися свободными электронами. Нейтроны, проходя через вещество, производят в нем наиболее сильные изменения по сравнению с другими ионизирующими излучениями.

Таким образом, биологическое действие ионизирующих излучений сводится к изменению структуры или разрушению различных органических веществ (молекул), из которых состоит организм человека. Это приводит к нарушению биохимических процессов, протекающих в клетках, или даже к их гибели¹, в результате чего происходит поражение организма в целом.

¹ Биологическое действие ионизирующих излучений зависит от числа образовавшихся пар ионов, которое определяется поглощенной энергией излучения.

Различают внешнее и внутреннее облучение организма. Под внешним облучением понимают воздействие на организм ионизирующих излучений от внешних по отношению к нему источников. Внутреннее облучение осуществляется радиоактивными веществами, попавшими внутрь организма через дыхательные органы, желудочно-кишечный тракт или через кожные покровы. Источники внешнего излучения — космические лучи, естественные радиоактивные источники, находящиеся в атмосфере, воде, почве, продуктах питания и др., источники альфа-, бета-, гамма-, рентгеновского и нейтронного излучений, используемые в технике и медицине, ускорители заряженных частиц, ядерные реакторы (в том числе и аварии на ядерных реакторах) и ряд других.

Радиоактивные вещества, вызывающие внутреннее облучение организма, попадают в него при приеме пищи, курении, питье загрязненной воды. Поступление радиоактивных веществ в человеческий организм через кожу происходит в редких случаях (если кожа имеет повреждения или открытые раны). Внутреннее облучение организма длится до тех пор, пока радиоактивное вещество не распадется или не будет выведено из организма в результате процессов физиологического обмена. Внутреннее облучение опасно тем, что вызывает длительно незаживающие язвы различных органов и злокачественные опухоли.

При работе с радиоактивными веществами значительному облучению подвергаются руки операторов. Под действием ионизирующих излучений развивается хроническое или острое (лучевой ожог) поражение кожи рук. Хроническое поражение характеризуется сухостью кожи, появлением на ней трещин, изъязвлением и другими симптомами. При остром поражении кистей рук возникают отеки, омертвление тканей, язвы, на месте образования которых возможно развитие злокачественных опухолей.

Под влиянием ионизирующих излучений у человека возникает лучевая болезнь. Различают три степени ее: первая (легкая), вторая и третья (тяжелая).

Симптомами лучевой болезни первой степени являются слабость, головные боли, нарушение сна и аппетита, которые усиливаются на второй стадии заболевания, но к ним дополнительно присоединяются нарушения в деятельности сердечно-сосу-

дистой системы, изменяется обмен веществ и состав крови, происходит расстройство пищеварительных органов. На третьей стадии болезни наблюдаются кровоизлияния и выпадение волос, нарушается деятельность центральной нервной системы и половых желез. У людей, перенесших лучевую болезнь, повышается вероятность развития злокачественных опухолей и заболеваний кроветворных органов. Лучевая болезнь в острой (тяжелой) форме развивается в результате облучения организма большими дозами ионизирующих излучений за короткий промежуток времени. Опасно воздействие на организм человека и малых доз радиации, так как при этом могут произойти нарушение наследственной информации человеческого организма, возникнуть мутации¹.

Нижний уровень развития легкой формы лучевой болезни возникает при эквивалентной дозе облучения приблизительно 1 Зв, тяжелая форма лучевой болезни, при которой погибает половина всех облученных, наступает при эквивалентной дозе облучения 4,5 Зв. 100%-ный смертельный исход лучевой болезни соответствует эквивалентной дозе облучения 5,5—7,0 Зв.

В настоящее время разработан ряд химических препаратов (протекторов), существенно снижающих негативный эффект воздействия ионизирующего излучения на организм человека.

В России предельно допустимые уровни ионизирующего облучения и принципы радиационной безопасности регламентируются «Нормами радиационной безопасности» НРБ-76, «Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» ОСП72-80. В соответствии с этими нормативными документами нормы облучения установлены для следующих трех категорий лиц:

- категория А — персонал, постоянно или временно работающий с источниками ионизирующих излучений;
- категория Б — ограниченная часть населения, которая по условиям размещения рабочих мест или по условиям проживания может подвергаться воздействию источников излучения;

¹ Мутация — резкое наследственное изменение организмов, меняющее их основные признаки.

- категория В — население страны, республики, края и области.

Для лиц категории А основным дозовым пределом является *индивидуальная эквивалентная доза внешнего и внутреннего излучения за год* (Зв/год) в зависимости от радиочувствительности органов (критические органы). Это предельно допустимая доза (ПДД) — наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы за год, которое при равномерном воздействии в течение 50 лет не вызовет в состоянии здоровья персонала неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.

Для персонала категории А индивидуальная эквивалентная доза (H , Зв), накопленная в критическом органе за время T (лет) с начала профессиональной работы, не должна превышать значения, определяемого по формуле: $H = ПДД \cdot T$.

Кроме того, доза, накопленная к 30 годам, не должна превышать 12 ПДД.

Для категории Б установлен предел дозы за год (ПД, Зв/год), под которым понимают наибольшее среднее значение индивидуальной эквивалентной дозы за календарный год у критической группы лиц, при котором равномерное облучение в течение 70 лет не может вызвать в состоянии здоровья неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами. В табл. 19.2 приведены основные дозовые пределы внешнего и внутреннего облучений в зависимости от радиочувствительности органов.

19.2. Защита от действия ионизирующих излучений

Основные принципы радиационной безопасности заключаются в непревышении установленного основного дозового предела, исключении всякого необоснованного облучения и снижении дозы излучения до возможно низкого уровня. С целью реализа-

Т а б л и ц а 19.2. Основные значения дозовых пределов внешнего и внутреннего облучений

<i>Группа критических органов</i>	<i>Органы и ткани человеческого организма</i>	<i>ПДД для категории А, Зв/год</i>	<i>ПДД для категории Б, Зв/год</i>
1	Все тело, гонады (половые органы), красный костный мозг	0,05	0,005
2	Любой отдельный орган, кроме гонад, красного костного мозга, костной ткани, щитовидной железы, кожи, кистей, предплечий, лодыжек и стоп	0,15	0,015
3	Костная ткань, щитовидная железа, кожный покров, кисти, предплечья, лодыжки и стопы	0,30	0,03

ции этих принципов на практике обязательно контролируются дозы облучения, полученные персоналом при работе с источниками ионизирующих излучений, работа проводится в специально оборудованных помещениях, используется защита расстоянием и временем, применяются различные средства коллективной и индивидуальной защиты.

Для определения индивидуальных доз облучения персонала необходимо систематически проводить радиационный (дозиметрический) контроль, объем которого зависит от характера работы с радиоактивными веществами. Каждому оператору, имеющему контакт с источниками ионизирующих излучений, выдается индивидуальный дозиметр¹ для контроля полученной дозы гамма-излучений. В помещениях, где проводится работа с радиоактивными веществами, необходимо обеспечить и общий контроль за интенсивностью различных видов излучений. Эти помещения должны быть изолированы от прочих помещений, оснащены системой приточно-вытяжной вентиляции с кратностью воздухообмена не менее пяти. Окраска стен, потолка и дверей в этих помещениях, а также устройство пола выполня-

¹ Устройство дозиметров описано ниже.

ются таким образом, чтобы исключить накопление радиоактивной пыли и избежать поглощения радиоактивных аэрозолей, паров и жидкостей отделочными материалами (окраска стен, дверей и в некоторых случаях потолков должна производиться масляными красками, полы покрываются материалами, не впитывающими жидкости, — линолеумом, полихлорвиниловым пластиком и др.). Все строительные конструкции в помещениях, где проводится работа с радиоактивными веществами, не должны иметь трещин и несплошностей; углы закругляют для того, чтобы не допустить скопления в них радиоактивной пыли и облегчить уборку. Не менее одного раза в месяц проводят генеральную уборку помещений с обязательным мытьем горячей мыльной водой стен, окон, дверей, мебели и оборудования. Текущая влажная уборка помещений проводится ежедневно.

Для уменьшения облучения персонала все работы с этими источниками проводят с использованием длинных захватов или держателей. Защита временем заключается в том, что работу с радиоактивными источниками проводят за такой период времени, чтобы доза облучения, полученная персоналом, не превышала предельно допустимого уровня.

Коллективные средства защиты от ионизирующих излучений регламентируются ГОСТом 12.4.120-83 «Средства коллективной защиты от ионизирующих излучений. Общие требования». В соответствии с этим нормативным документом основными средствами защиты являются стационарные и передвижные защитные экраны, контейнеры для транспортирования и хранения источников ионизирующих излучений, а также для сбора и транспортировки радиоактивных отходов, защитные сейфы и боксы и др.

Стационарные и передвижные защитные экраны предназначены для снижения уровня излучения на рабочем месте до допустимой величины. Если работу с источниками ионизирующих излучений проводят в специальном помещении — рабочей камере, то экранами служат ее стены, пол и потолок, изготовленные из защитных материалов. Такие экраны носят название стационарных. Для устройства передвижных экранов используют различные щиты, поглощающие или ослабляющие излучение.

Экраны изготавливают из различных материалов. Их толщина зависит от вида ионизирующего излучения, свойств защитно-

го материала и необходимой кратности ослабления излучения k . Величина k показывает, во сколько раз необходимо понизить энергетические показатели излучения (мощность экспозиционной дозы, поглощенную дозу, плотность потока частиц и др.), чтобы получить допустимые значения перечисленных характеристик. Например, для случая поглощенной дозы k выражается следующим образом:

$$k = \frac{D}{D_0}, \quad (19.8)$$

где D — мощность поглощенной дозы;

D_0 — допустимый уровень поглощенной дозы.

Для сооружения стационарных средств защиты стен, перекрытий, потолков и т. д. используют кирпич, бетон, баритобетон и баритовую штукатурку (в их состав входит сульфат бария — BaSO_4). Эти материалы надежно защищают персонал от воздействия гамма- и рентгеновского излучения.

Для создания передвижных экранов используют различные материалы. Защита от альфа-излучения достигается применением экранов из обычного или органического стекла толщиной несколько миллиметров. Достаточной защитой от этого вида излучения является слой воздуха в несколько сантиметров. Для защиты от бета-излучения экраны изготавливают из алюминия или пластмассы (органическое стекло). От гамма- и рентгеновского излучения эффективно защищают свинец, сталь, вольфрамовые сплавы. Смотровые системы изготавливают из специальных прозрачных материалов, например, свинцового стекла. От нейтронного излучения защищают материалы, содержащие в составе водород (вода, парафин), а также бериллий, графит, соединения бора и т.д. Бетон также можно использовать для защиты от нейтронов.

Защитные сейфы применяются для хранения источников гамма-излучения. Они изготавливаются из свинца и стали.

Для работы с радиоактивными веществами, обладающими альфа- и бета-активностью, используют защитные перчаточные боксы.

Защитные контейнеры и сборники для радиоактивных отходов изготавливаются из тех же материалов, что и экраны — органического стекла, стали, свинца и др.

При проведении работ с источниками ионизирующих излучений опасная зона¹ должна быть ограничена предупреждающими надписями.

Принцип действия приборов, предназначенных для контроля за персоналом, который подвергается воздействию ионизирующих излучений, основан на различных эффектах, возникающих при взаимодействии этих излучений с веществом. Основные методы обнаружения и измерения радиоактивности — ионизация газа, сцинтилляционные и фотохимические методы. Наиболее часто используется ионизационный метод, основанный на измерении степени ионизации среды, через которую прошло излучение.

Сцинтилляционные методы регистрации излучений основаны на способности некоторых материалов, поглощая энергию ионизирующего излучения, превращать ее в световое излучение. Примером такого материала может служить сульфид цинка (ZnS). Сцинтилляционный счетчик представляет собой фотоэлектронную трубку с окошком, покрытым сульфидом цинка. При попадании внутрь этой трубки излучения возникает слабая вспышка света, которая приводит к возникновению в фотоэлектронной трубке импульсов электрического тока. Эти импульсы усиливаются и подсчитываются.

Фотохимические методы, или методы автордиографии, основаны на воздействии радиоактивного образца на слой фотоэмульсии, содержащий галогениды серебра. Уровень радиоактивности образца оценивают после проявления пленки.

Существуют и другие методы определения ионизирующих излучений, например калориметрические, которые основаны на измерении количества тепла, выделяющегося при взаимодействии излучения с поглощающим веществом.

Приборы дозиметрического контроля делятся на две группы: дозиметры, используемые для количественного измерения мощности дозы, и радиометры или индикаторы излучения, применяемые для быстрого обнаружения радиоактивных загрязнений.

Из отечественных приборов применяются, например, дозиметры марок ДРГЗ-04 и ДКС-04. Первый используется для измерения гамма- и рентгеновского излучения в диапазоне энер-

¹ Опасная зона — это пространство, в котором возможно воздействие на работающего опасного и (или) вредного производственных факторов (в данном случае — ионизирующих излучений).

гий 0,03—3,0 МэВ. Шкала прибора проградуирована в микро-рентген/секунду (мкР/с). Вторым прибором используется для измерения гамма- и бета-излучения в энергетическом диапазоне 0,5—3,0 МэВ, а также нейтронного излучения (жесткие и тепловые нейтроны). Шкала прибора проградуирована в миллирентгенах в час (мР/ч). Промышленность выпускает также бытовые дозиметры, предназначенные для населения, например, бытовой дозиметр «Мастер-1» (предназначен для измерения дозы гамма-излучения), дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01 («Сосна»).

К средствам индивидуальной защиты от ионизирующих излучений относятся спецодежда — халаты, комбинезоны, полукombineзоны и шапочки, изготовленные из хлопчатобумажной ткани. При значительном загрязнении производственного помещения радиоактивными веществами на спецодежду из ткани дополнительно надевают пленочную одежду (нарукавники, брюки, фартук, халат и т.д.), изготовленную из пластика. Как уже сказано выше, для защиты рук следует использовать просвинцованные резиновые перчатки.

В тех случаях, когда приходится работать в условиях значительного радиационного загрязнения, для защиты персонала используют пневмокостюмы (скафандры) из пластмассовых материалов с поддувом по гибким шлангам воздуха или снабженные кислородным аппаратом. Для поддержания нормальных температурных условий в скафандре расход воздуха должен составлять 150—200 л/мин.

Для защиты органов зрения от излучения применяют очки со стеклами, содержащими специальные добавки (фосфат вольфрама или свинец), а при работе с источниками альфа- и бета-излучения глаза защищают щитками из органического стекла.

Если в воздухе находятся радиоактивные аэрозоли, то надежным средством защиты органов дыхания являются респираторы и противогазы.

Контрольные вопросы



1. Назовите виды ионизирующих излучений и их основные физические характеристики.
2. Назовите основные единицы измерения ионизирующих излучений.

3. Что такое поглощенная, экспозиционная и эквивалентная дозы излучения?
4. Охарактеризуйте биологическое действие ионизирующих излучений на организм человека.
5. Какими документами регламентируются уровни облучений?
6. Каковы способы защиты от ионизирующих излучений?
7. Каковы индивидуальные средства защиты от ионизирующих излучений?
8. Какими приборами измеряют ионизирующие излучения?
9. Что такое индивидуальные дозиметры?
10. Из каких материалов изготавливают экраны для защиты от ионизирующих излучений?

20

Электробезопасность и молниезащита зданий и сооружений



20.1. Основные понятия

Электрические установки, приборы и агрегаты широко распространены в различных отраслях техники и в быту. При работе с ними необходимо соблюдать требования электробезопасности, которые представляют собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Напомним некоторые основные понятия, используемые при описании электрических явлений. Электрическим током называют всякое упорядоченное движение носителей зарядов. В металлах носителями зарядов являются электроны — отрицательно заряженные частицы с элементарным зарядом. За направление электрического тока условно принимается направление, противоположное направлению движения отрицательных зарядов. Силой тока i называют количество электричества dq , проходящее через поперечное сечение проводника за бесконечно малый промежуток времени dt :

$$i = \frac{dq}{dt}. \quad (20.1)$$

Если за любые равные промежутки времени через поперечное сечение проводника проходят одинаковые заряды, ток называют постоянным (по величине и направлению) и обозначают буквой I . За единицу тока в системе СИ принят ампер (А).

Переменным называется такой ток, сила или направление которого (или и то и другое) изменяются во времени. Токи, изменяющиеся только по величине, называются пульсирующими.

На рис. 20.1 представлены графики зависимости величины тока от времени для трех видов тока. В практике наиболее часто используют переменный синусоидальный ток.

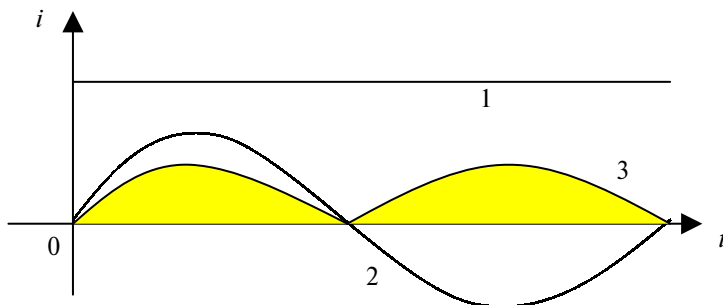


Рис. 20.1. Зависимость величины тока от времени:
1 — постоянный ток; 2 — переменный синусоидальный ток;
3 — пульсирующий ток

Электрической дугой называют длительный самостоятельный электрический разряд в газах, поддерживающийся за счет термоэлектронной эмиссии¹ с отрицательно заряженного электрода — катода.

Статическое электричество — это совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией (ослаблением) свободного электрического заряда на поверхности и в объеме диэлектрических и полупроводниковых² веществ, материалов, изделий или на изолированных проводниках.

Молниезащита — это система защитных устройств и мероприятий, применяемых в промышленных и гражданских сооружениях для защиты их от аварии, пожаров при попадании в них молнии. Молния — особый вид прохождения электрического тока через огромные воздушные промежутки, источник которого — атмосферный заряд, накопленный грозовым облаком.

Поражение электрическим током организма человека носит название *электротравмы*. На производстве число травм, вы-

¹ Термоэлектронной эмиссией называют выход электронов из металла под действием теплового движения (при нагреве).

² Диэлектриками называют вещества, практически не проводящие электрического тока, а полупроводниками — большой класс веществ, сопротивление которых изменяется в широких пределах и в очень сильной степени уменьшается с повышением температуры.

званных электрическим током, относительно невелико и составляет 11—12% их общего числа, однако из всех случаев травм со смертельным исходом на долю электротравм приходится наибольшее количество (порядка 40%). До 80% всех случаев поражения электрическим током со смертельным исходом приходится на электроустановки напряжением до 1000 В (в первую очередь работающих под напряжением 220—380 В).

Проходя через организм человека, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое действие. Первое заключается в нагреве и ожогах различных частей и участков тела человека, второе — в изменении состава (разложении) и свойств крови и других органических жидкостей. Биологическое действие электрического тока выражается в раздражении и возбуждении живых тканей организма и в нарушении протекания в нем различных внутренних биоэлектрических процессов. Примером таких нарушений может служить прекращение процесса дыхания и остановка сердца.

Электротравмы принято делить на общие (электрические удары) и местные, под которыми понимают четко выраженные местные повреждения тканей организма, вызванные воздействием электрического тока или электрической дуги. Местные электротравмы — это электрические ожоги, электрические знаки на коже, металлизация кожи, механические повреждения и электрофтальмия.

Электрические ожоги вызываются протеканием тока через тело человека, особенно при непосредственном контакте тела с электрическим проводом, а также под воздействием на тело человека электрической дуги (дуговой ожог), температура которой достигает нескольких тысяч градусов. Приблизительно 2/3 всех электротравм сопровождается ожогами.

На коже в тех местах, где проходил электрический ток, появляются электрические знаки, представляющие собой пятна серого или бледно-желтого цвета. Эти пятна, как правило, излечиваются, и с течением времени пораженная кожа приобретает нормальный вид. Такие знаки встречаются примерно у каждого пятого получившего электротравму.

Под действием электрической дуги в верхние слои кожи человека могут проникнуть мелкие расплавленные частицы металла. Такая электротравма носит название металлизации

к о ж и и встречается приблизительно у каждого десятого пострадавшего.

Довольно редко могут возникнуть механические повреждения органов и тканей человеческого тела (разрывы кожи и различных тканей, вывихи, переломы костей и др.) в результате судорожных сокращений мышц, вызываемых действием тока.

Еще одним видом местной электротравмы является электроофтальмия — возникающее под действием ультрафиолетового излучения электрической дуги воспаление наружных оболочек глаз. В ряде случаев лечение этого профессионального заболевания является сложным и длительным.

Более трети всех электротравм приходится на электрический удар, под которым понимают возбуждение живых тканей организма электрическим током, проходящим через него, сопровождающееся судорожными сокращениями мышц тела. По тяжести последствий электроудары делятся на четыре степени:

- первая — судорожное сокращение мышц без потери сознания;
- вторая — судорожное сокращение мышц с потерей сознания; дыхание и деятельность сердца сохраняются;
- третья — потеря сознания, нарушение сердечной деятельности и дыхания или того и другого;
- четвертая — клиническая (мнимая) смерть, т. е. отсутствие дыхания и кровообращения.

Следует различать понятие клинической (мнимой) и биологической (истинной) смерти. У здоровых людей, подвергшихся воздействию электрического тока, длительность клинической смерти¹ составляет 7—8 минут. За этот период средствами современной медицины (реанимация) возможно оживление организма. В более поздние сроки в клетках и тканях организма возникают необратимые изменения, т. е. наступает биологическая (истинная) смерть.

Последствия действия тока на организм человека зависят от силы тока (основной фактор), длительности его действия, рода и частоты тока, пути тока в теле человека и индивидуальных

¹ У человека в состоянии клинической смерти наблюдается отсутствие дыхания и остановка сердца. Он не реагирует на болевые раздражители, а зрачки его глаз (расширенные) — на воздействие света.

свойств человека. Важной характеристикой, определяющей исход воздействия тока, является электрическое сопротивление тела человека, которое является суммой сопротивления кожи и сопротивления внутренних тканей. Ток, проходящий через тело человека ($I_{\text{чел}}$, А), условно определяют по закону Ома:

$$I_{\text{чел}} \approx \frac{V_{\text{пр}}}{R_{\text{чел}}}, \quad (20.2)$$

где $V_{\text{пр}}$ — приложенное напряжение;
 $R_{\text{чел}}$ — сопротивление тела человека, Ом.

Для расчетов обычно принимают, что $R_{\text{чел}} = 1000$ Ом. Основное сопротивление распространению тока оказывает кожа человека. В том случае, если кожа повреждена, увлажнена или загрязнена токопроводящей пылью (металлической или углеродной), сопротивление тела человека может быть и ниже 1000 Ом.

Как уже сказано выше, основным физическим фактором, вызывающим тяжесть электротравмы, является сила тока — количество электричества, проходящего через тело человека в единицу времени. Принято различать три ступени воздействия тока на организм человека и соответствующие им три пороговых значения: ощутимое, отпускающее и фибрилляционное.

Пока сила тока не достигла ощутимого значения, человек не чувствует его воздействия. Если человек попал под воздействие переменного тока промышленной частоты ($f = 50$ Гц), он начинает ощущать протекающий через него ток, когда его значение достигнет 0,6—1,5 мА. Для постоянного тока это пороговое значение составляет 6—7 мА. Ощутимый ток вызывает у человека малоболезненные (или безболезненные) раздражения, и человек может самостоятельно освободиться от провода или токопроводящей части, находящейся под напряжением.

Если сила переменного тока, протекающего через организм, составляет 10—15 мА и более, а постоянного — 50—70 мА (или более), то такие токи называют *не отпускающими*, так как они вызывают непреодолимые и болезненные судорожные сокращения мышц рук при касании ими (захвате) токопроводящих частей или проводов. Человек не может самостоятельно разжать руку и освободиться от воздействия тока. При повышении силы переменного тока промышленной частоты до 25—50 мА затрудняется или даже прекращается процесс дыхания (при воздействии этого тока в течение нескольких минут).

Ф и б р и л л я ц и о н н ы м и называют токи, вызывающие быстрые хаотические и одновременные сокращения волокон сердечной мышцы (фибрилл), в результате чего сердце теряет способность перекачивать кровь, в организме прекращаются процессы кровообращения и дыхания и наступает смерть. При воздействии переменного тока промышленной частоты величина порогового фибрилляционного тока составляет 100 мА (при продолжительности воздействия более 0,5 с), а для постоянного тока — 300 мА при той же продолжительности.

Степень поражения электрическим током зависит также от рода и частоты тока. Переменный ток с частотой от 20—100 Гц наиболее опасен для человека. Токи с частотой выше 500 000 Гц могут вызвать лишь термические ожоги и не оказывают раздражающего действия на ткани организма. Известно, что при напряжениях, превышающих 500 В, наиболее опасен постоянный ток, а при меньших напряжениях — переменный.

Чем больше время воздействия тока, тем сильнее будет поражение и тем меньше вероятность восстановления жизненных функций организма. В табл. 20.1 представлены значения предельно допустимых уровней напряжения и тока в зависимости от продолжительности воздействия на организм человека.

Т а б л и ц а 20.1. Предельно допустимые уровни напряжения и тока

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые уровни, не более, при продолжительности воздействия тока, с											Св. 1,0
		0,01—0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Переменный 50 Гц	Напряжение, В	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	36
	Ток, мА												6
Переменный 400 Гц	Напряжение, В	650	500	500	330	250	200	170	140	110	100	100	36
	Ток, мА												8
Постоянный	Напряжение, В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
	Ток, мА												15

Существенное влияние на тяжесть поражения человека электрическим током оказывает путь, по которому он распространяется в организме. Так, опасность поражения резко увеличивается, если на пути тока оказываются мозг, сердце или легкие.

Цепь тока через тело человека зависит от места его прикосновения к оголенным проводам или токоведущим частям. Наиболее характерны следующие цепи: руки—ноги, рука—рука и рука—туловище.

К индивидуальным качествам человека в первую очередь относятся состояние его здоровья, обученность правильной и безопасной работе на электроустановках (с присвоением соответствующей квалификационной группы) и др.

Условия, в которых работает человек, могут увеличивать или уменьшать опасность его поражения электрическим током. К ним относятся сырость, высокая температура воздуха, наличие в помещениях токопроводящей пыли, химически активной или органической среды и др. Для учета условий, в которых находится работающий, все помещения принято делить по степени опасности поражения током на три категории: без повышенной опасности, с повышенной опасностью, особо опасные.

Помещениями без повышенной опасности называют сухие (с относительной влажностью воздуха, не превышающей 60%), безпыльные, с нормальной температурой воздуха и с изолирующими (например, деревянными) полами. К ним относятся жилые помещения и такие производственные помещения, как цеха приборных предприятий и радиозаводов, лаборатории, конструкторские бюро, заводоуправление, конторские помещения и др.

Для помещений с повышенной опасностью характерно наличие одного из следующих условий: сырость (помещения называют сырыми, если относительная влажность в них превышает 75%); токопроводящая пыль (металлическая, углеродная и т.д.); токопроводящие полы — металлические, земляные, железобетонные, кирпичные; высокая температура, длительно превышающая 35°С или кратковременно 40°С¹; возможность одновременного прикосновения к металлическим деталям и корпусам электрооборудования, которые при повреждении изоляции могут оказаться под напряжением, и заземленным металлоконструкциям. Примером таких помещений могут служить лестничные клетки различных зданий с токопроводящими полами, цеха механической обработки материалов, складские неотапливаемые помещения и др.

¹ Помещения с такой температурой называют жаркими.

О с о б о о п а с н ы е п о м е щ е н и я характеризуются наличием одного из следующих условий; особая сырость (стены, пол и потолок таких помещений покрыты влагой; относительная влажность воздуха в них близка к 100%); наличие химически активной (агрессивные газы, пары, жидкости) или органической (плесень и т.д.) среды, которые разрушающе действуют на электроизоляцию и токоведущие части электрооборудования. При наличии двух или более условий повышенной опасности (например, высокая температура и токопроводящая пыль) в помещении его следует относить к особо опасным. Примером таких помещений могут служить помещения гальванических цехов, моечные отделения, замкнутые металлические емкости, в которых производится работа, и др.

Человек может получить электротравму в следующих случаях:

- при двухфазном прикосновении, т. е. при одновременном прикосновении к двум фазам сети переменного тока;
- при двухполюсном прикосновении, т.е. при одновременном прикосновении к двум полюсам сети постоянного тока;
- при приближении на опасные расстояния к неизолированным токопроводящим частям, находящимся под напряжением;
- в результате прикосновения к оболочке (корпусу) электрооборудования, оказавшейся под напряжением;
- в результате попадания под напряжение шага в зоне растекания тока;
- при попадании под напряжение при освобождении человека от воздействия тока;
- при воздействии атмосферного электричества, грозových разрядов и статического электричества или электрической дуги.

Ток, проходящий через тело человека (ток поражения), зависит от напряжения и схемы питания электроустановок, сопротивления элементов электрической сети и условий включения человека в цепь тока. Рассмотрим эти вопросы подробнее.

Все электроустановки условно делят на работающие под напряжением до 1000 В и выше 1000 В. Если установки работают под напряжением выше 1000 В, то прикосновение к токопроводящим частям опасно в любых условиях. При эксплуатации установок, работающих под напряжением до 1000 В, человек может быть поражен током в результате случайного прикосно-

вения к токопроводящим частям или корпусам электрооборудования, оказавшимися под напряжением при замыкании на них тока.

Чаще всего электроустановки напряжением до 1000 В работают от четырехпроводных сетей с глухозаземленной нейтралью¹.

Электрические сети с глухозаземленной нейтралью используются для питания основной массы электроустановок, работающих под напряжением 380/220 В (электродвигатели, осветительные приборы, установки электронагрева, бытовая электроаппаратура и др.).

При повышенных требованиях безопасности используют сети с изолированной от земли нейтралью. Они используются для питания электроустановок, работающих под напряжением до 1000 В, но гораздо менее распространены, чем предыдущие.

При работе с электроустановками возможно прикосновение операторов к токоведущим частям оборудования. Наиболее часто встречаются две схемы включения человека в электрическую сеть: двухфазная — присоединение человека к двум проводам и однофазная — включение человека между проводом и землей.

Ток, протекающий через тело человека при двухфазном включении, независимо от режима нейтрали (глухозаземленная или изолированная), может быть рассчитан по закону Ома:

$$I_{\text{чел}} \approx \frac{V_{\text{лин}}}{R_{\text{чел}}}, \quad (20.3)$$

где $V_{\text{лин}}$ — линейное напряжение сети, В;

$R_{\text{чел}}$ — сопротивление тела человека, Ом ($R_{\text{чел}} = 1000$ Ом).

Для сети с линейным напряжением 380 В ток поражения составит: $I_{\text{чел}} = 380 \text{ В} / 1000 \text{ Ом} = 0,38 \text{ А} = 380 \text{ мА}$. Этот ток, безусловно, смертелен для человека, так как величина фибрилляционного тока составляет всего 100 мА. На практике случаи двухфазного включения человека в электрическую сеть происходят гораздо реже, чем однофазного включения, и могут происходить при замене плавких предохранителей, в случае прикосновения к двум проводникам с поврежденной изоляцией и в ряде других случаев.

Чаще на практике встречается однофазное включение человека в электрическую сеть. В этом случае ток поражения $I_{\text{чел}}$ за-

¹ Нейтралью называется нейтральная точка источника питания (генератора, трансформатора).

висит оттого, заземлена нейтраль источника тока или нет. Если человек прикоснется к фазному проводу с нарушенной изоляцией при заземленной нейтрали, то через него пройдет ток, определяемый выражением:

$$I_{\text{чел}} = \frac{V_{\Phi}}{R_{\text{чел}} + R_{\Pi} + R_{\text{об}} + R_0} \approx \frac{V_{\Phi}}{R_{\text{чел}} + R_{\Pi} + R_{\text{об}}}, \quad (20.4)$$

где V_{Φ} — фазное напряжение¹, В; R_{Π} — сопротивление участка пола, имеющего соприкосновение со ступнями ног, Ом; $R_{\text{чел}}$ — сопротивление тела человека, Ом; $R_{\text{об}}$ — сопротивление обуви, Ом; R_0 — сопротивление заземления нейтрали, Ом.

Рассчитаем величину тока поражения для случая, когда человек стоит на мокром металлическом полу ($R_{\Pi} = 0$) во влажной обуви ($R_{\text{об}} = 0$), по следующей формуле:

$$I_{\text{чел}} \approx \frac{V_{\Phi}}{R_{\text{чел}}} = \frac{V_{\text{л}}/\sqrt{3}}{R_{\text{чел}}} = \frac{380/\sqrt{3}}{1000} = \frac{220}{1000} = 0,22 \text{ А} = 220 \text{ мА}. \quad (20.5)$$

Этот ток является опасным, так как существенно превышает уровень фибрилляционного тока.

Рассмотрим теперь, как определяется ток поражения ($I_{\text{чел}}$) в электрических сетях с изолированной нейтралью при однофазном включении человека в сеть. Если сеть имеет небольшую протяженность и емкостью проводов относительно земли можно пренебречь, $I_{\text{чел}}$ можно рассчитать по формуле:

$$I_{\text{чел}} = \frac{3V_{\Phi}}{3R_{\text{чел}} + R_{\text{из}}}, \quad (20.6)$$

где $R_{\text{из}}$ — сопротивление изоляции проводов, Ом.

Если сопротивление изоляции стремится к нулю (оголенные провода), то данное выражение сводится к предыдущему ($I_{\text{чел}} = V_{\Phi}/R_{\text{чел}}$), и ток поражения (при $V_{\Phi} = 220$ В и $R_{\text{чел}} = 1000$ Ом) составит 220 мА. Рассмотрим, как влияет сопротивление изоляции на $I_{\text{чел}}$. Пусть сопротивление изоляции мало ($R_{\text{из}} = 3000$ Ом). То-

¹ Фазное напряжение — это напряжение между началом и концом одной обмотки источника тока (трансформатора, генератора) или между фазным и нулевым проводами. Существует следующая связь между линейным ($V_{\text{л}}$) и фазным (V_{Φ})

напряжениями: $V_{\text{л}} = \frac{V_{\Phi}}{\sqrt{3}} = \frac{V_{\Phi}}{1,73}$.

гда $I_{\text{чел}} = \frac{3 \cdot 220}{3 \cdot 1000 + 3000} = 0,11 \text{ A} = 110 \text{ мА}$. Этот ток также опасен, так как превышает величину фибрилляционного тока.

Если сопротивление изоляции имеет большое значение (например, $R_{\text{из}} = 300\,000 \text{ Ом}$), то

$$I_{\text{чел}} = \frac{3 \cdot 220}{3 \cdot 1000 + 300\,000} = 0,002 \text{ A} = 2 \text{ мА}, \quad (20.7)$$

т. е. опасность поражения электрическим током значительно уменьшается.

Из представленного примера следует, что изоляция токопроводов является одной из основных мер электробезопасности.

В производственных условиях возможны случаи обрыва электрических проводов и падения их на землю или нарушение изоляции кабеля, находящегося в земле. При этом вокруг любого проводника, оказавшегося на земле или в земле, образуется зона растекания тока. Если человек окажется в этой зоне и будет стоять на поверхности земли, имеющей различные электрические потенциалы в местах, где расположены ступни его ног, то по длине шага возникает шаговое напряжение $V_{\text{ш}}$ (рис. 20.2). Шаговым напряжением или напряжением шага называется напряжение между двумя точками цепи тока, находящимися на расстоянии шага (0,8—1,0 м), на которых одновременно стоит человек.

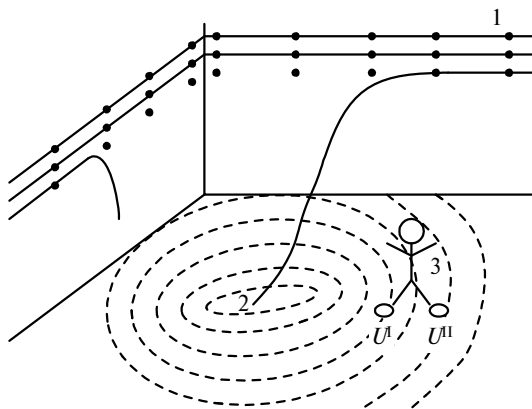


Рис. 20.2. Схема возникновения шагового напряжения:

1 — электрическая сеть; 3 — человек, находящийся под действием шагового напряжения; 2 — точка падения провода на землю

Напряжение шага $V_{\text{ш}}$ определяется по формуле:

$$V_{\text{ш}} = U^I - U^{II}, \quad (20.8)$$

где U^I — потенциал в точке касания земли одной ноги человека, В;
 U^{II} — потенциал в точке касания земли второй ноги человека, В.

Наибольший электрический потенциал возникает в точке соприкосновения провода с землей. Опасность поражения человека шаговым напряжением повышается по мере приближения человека к месту замыкания провода на землю и при увеличении величины шага. Практически напряжение шага падает до нуля на расстоянии 20 м от точки падения провода. Выходить из зоны поражения следует мелкими шагами. Защитное действие оказывает обувь, обладающая изоляционными свойствами, например резиновая.

20.2. Защита человека от поражения электрическим током

Безопасность при работе с электроустановками обеспечивается применением различных технических и организационных мер. Они регламентированы действующими правилами устройства электроустановок (ПУЭ). Технические средства защиты от поражения электрическим током делятся на коллективные и индивидуальные, на средства, предупреждающие прикосновение людей к элементам сети, находящимся под напряжением, и средства, которые обеспечивают безопасность, если прикосновение все-таки произошло.

Основные способы и средства *электрозащиты*:

- изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль;
- установка оградительных устройств;
- предупредительная сигнализация и блокировки;
- использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов;
- использование малых напряжений;
- электрическое разделение сетей;
- защитное заземление;
- выравнивание потенциалов;
- зануление;
- защитное отключение;
- средства индивидуальной электрозащиты.

Изоляция токопроводящих частей — одна из основных мер электробезопасности. Согласно ПУЭ сопротивление изоляции токопроводящих частей электрических установок относительно земли должно быть не менее 0,5—10 МОм¹. Различают рабочую, двойную и усиленную рабочую изоляцию.

Рабочей называется изоляция, обеспечивающая нормальную работу электрической установки и защиту персонала от поражения электрическим током. **Двойная** изоляция, состоящая из рабочей и дополнительной, используется в тех случаях, когда требуется обеспечить повышенную электробезопасность оборудования (например, ручного электроинструмента, бытовых электрических приборов и т.д.). Сопротивление двойной изоляции должно быть не менее 5 МОм, что в 10 раз превышает сопротивление обычной рабочей. В ряде случаев рабочую изоляцию выполняют настолько надежно, что ее электросопротивление составляет не менее 5 МОм и потому она обеспечивает такую же защиту от поражения током, как и двойная. Такую изоляцию называют **усиленной рабочей** изоляцией.

Существуют основные и дополнительные изолирующие средства. Основными называют такие электрозащитные средства, изоляция которых надежно выдерживает рабочее напряжение. Дополнительные электрозащитные средства усиливают изоляцию человека от токопроводящих частей и земли. В табл. 20.2 приведены основные сведения об изолирующих электрозащитных средствах.

Неизолированные токопроводящие части электроустановок, работающих под любым напряжением, должны быть надежно ограждены или расположены на недоступной высоте, чтобы исключить случайное прикосновение к ним человека. Конструктивно ограждения изготавливают из сплошных металлических листов или металлических сеток.

Для предупреждения об опасности поражения электрическим током используют различные звуковые, световые и цветковые сигнализаторы, устанавливаемые в зонах видимости и слышимости персонала. Кроме того, в конструкциях электроустановок предусмотрены блокировки — автоматические устройства, с помощью которых преграждается путь в опасную зону или предотвращаются

¹ 1МОм = 10⁶ Ом.

Т а б л и ц а 20.2. Классификация изолирующих электрозащитных средств

Вид	Наименование применяемых средств при напряжении электроустановки, В	
	до 1000	свыше 1000
Основ-ные	Изолирующие штанги, изолирующие и токоизмерительные клещи, диэлектрические перчатки, инструмент с изолированными рукоятками, указатели напряжения	Оперативные и измерительные штанги, изолирующие и токоизмерительные клещи, указатели напряжения, изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ
Допол-нитель-ные	Диэлектрические галоши, диэлектрические резиновые коврики, изолирующие подставки	Диэлектрические перчатки и боты, диэлектрические резиновые коврики, изолирующие подставки

неправильные, опасные для человека действия. Блокировки могут быть механические (стопоры, защелки, фигурные вырезы), электрические или электромагнитные. Для информации персонала об опасности служат предупредительные плакаты, которые в соответствии с назначением делятся на предостерегающие, запрещающие, разрешающие и напоминающие. Части оборудования, представляющие опасность для людей, окрашивают в сигнальные цвета и на них наносят знак безопасности¹. Красным цветом окрашивают кнопки и рычаги аварийного отключения электроустановок.

Для уменьшения опасности поражения током людей, работающих с переносным электроинструментом и осветительными лампами, используют малое напряжение, не превышающее 42 В. В ряде случаев, например, при работе в металлическом резервуаре, для питания ручных переносных ламп используют напряжение 12 В.

Для повышения безопасности проводят электрическое разделение сетей на отдельные короткие электрически не связанные между собой участки с помощью разделяющих трансформаторов. Такие разделенные сети обладают малой емкостью и высоким сопротивлением изоляции. Раздельное питание используют при работе с переносными электрическими прибора-

¹ В соответствии с ГОСТом 12.4.026-76 «Цвета сигнальные и знаки безопасности».

ми, на строительных площадках, при ремонтах на электростанциях и др.

При замыканиях тока на конструктивные части электрооборудования (замыкание на корпус) на них появляются напряжения, достаточные для поражения людей или возникновения пожара. Осуществить защиту от поражения электрическим током и возгорания в этом случае можно тремя путями: защитным заземлением, занулением и защитным отключением.

Защитное заземление — это преднамеренное соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей электрооборудования, которые в обычном состоянии не находятся под напряжением, но могут оказаться под ним при случайном соединении их с токоведущими частями.

Если произошло замыкание и корпус электроустановки оказался под напряжением, то прикоснувшийся к нему человек попадает под напряжение прикосновения ($V_{пр}$), которое определяется выражением:

$$V_{пр} = V_3 - V_x, \quad (20.9)$$

где V_3 — полное напряжение на корпусе электроустановки, В;
 V_x — потенциал поверхности земли или пола, В.

Таким образом, напряжением прикосновения называется напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно может коснуться человек.

Рассмотрим схему действия защитного заземления на примере трехфазной сети с изолированной нейтралью (рис. 20.3).

Если человек прикоснется к заземленной электроустановке, находящейся под напряжением, то он попадет под напряжение прикосновения, определяемое по формуле:

$$V_{пр} = \alpha_{пр} I_3 R_3, \quad (20.10)$$

где $\alpha_{пр}$ — коэффициент напряжения прикосновения или просто коэффициент прикосновения ($\alpha_{пр} < 1$ и зависит от вида заземлителя);

I_3 — ток замыкания, А;

R_3 — сопротивление защитного заземления, Ом.

Ток, проходящий через тело человека, попавшего под напряжение прикосновения ($I_{чел}^A$, А), составит:

$$I_{чел}^A = \frac{V_{пр}}{R_{чел} + R_c}, \quad (20.11)$$

где R_c — сопротивление растеканию тока в земле, зависящее от удельного сопротивления земли и сопротивления подошвы обуви человека, Ом.

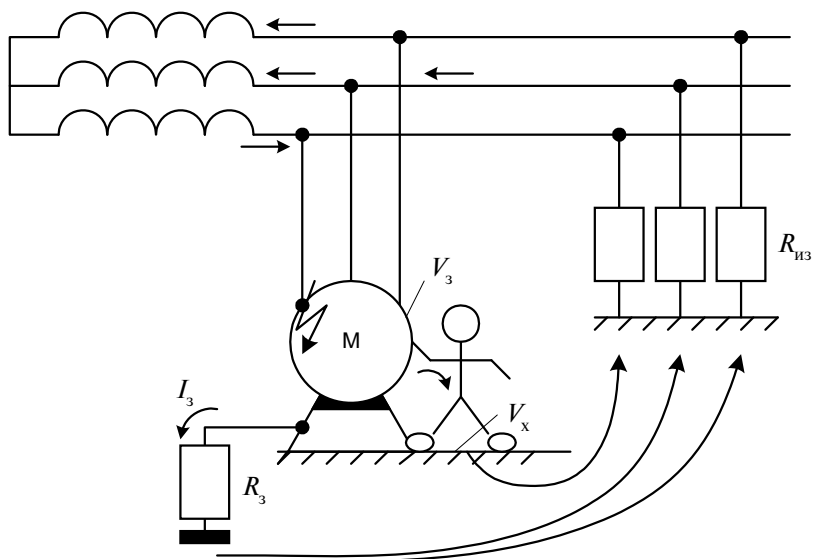


Рис. 20.3. Схема работы защитного заземления:

$R_{из}$ — сопротивление изоляции каждой из фаз относительно земли

Если человек находится в условиях высокой влажности ($R_c \rightarrow 0$), предыдущую формулу можно упростить:

$$I_{чел}^A \approx \frac{V_{пр}}{R_{чел}}. \quad (20.12)$$

Рассчитаем $I_{чел}^A$ для случая, если $I_3 = 4$ А, $R_3 = 4$ Ом и $\alpha_{пр} = 0,4$ (контурный заземлитель):

$$I_{чел}^A \approx \frac{0,4 \cdot 4 \cdot 4}{1000} = \frac{6,4 \text{ В}}{1000 \text{ Ом}} = 0,0064 \text{ А} = 6,4 \text{ мА}. \quad (20.13)$$

Этот ток безопасен для человека, так как не превышает значения неотпускающего тока (10 мА).

Таким образом, принцип действия защитного заземления заключается в снижении до безопасных значений напряжений прикосновения (и напряжения шага), вызванных замыканием на корпус.

Защитному заземлению (занулению) подвергают металлические части электроустановок и оборудования, доступные для прикосновения человека и не имеющие других видов защиты,

например, корпуса электрических машин, трансформаторов, светильников, каркасы распределительных щитов, металлические трубы и оболочки электропроводок, а также металлические корпуса переносных электроприемников.

Обязательно заземляют электроустановки, работающие под напряжением 380 В и выше переменного тока и питающиеся от источника постоянного тока с напряжением 440 В и выше. Кроме того, в помещениях повышенной и особой опасности заземляют установки с напряжением от 42 до 380 В переменного тока и от 110 до 440 В постоянного тока.

Заземляющее устройство — это совокупность заземлителя — металлических проводников, соприкасающихся с землей, и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем. В зависимости от взаимного расположения заземлителей и заземляемого оборудования различают выносные и контурные заземляющие устройства. Первые из них характеризуются тем, что заземлители вынесены за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование, или сосредоточены на некоторой части этой площадки (рис. 20.4).

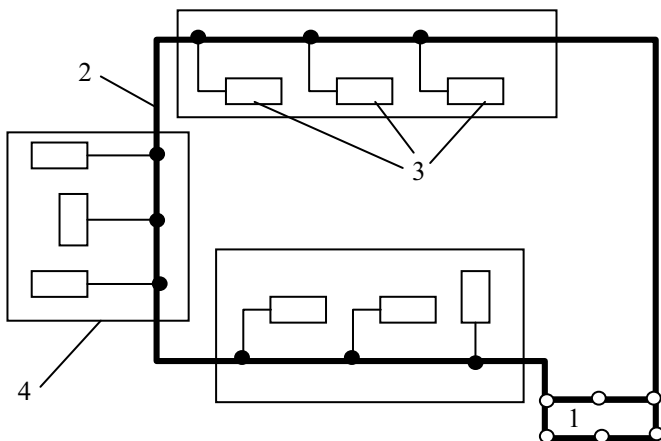


Рис. 20.4. Схема выносного заземления:

1 — заземлители; 2 — заземляющие проводники; 3 — заземляемое оборудование;
4 — производственные здания

Контурное заземляющее устройство (рис. 20.5), заземлители которого располагаются по контуру (периметру) вокруг зазем-

ляемого оборудования на небольшом расстоянии друг от друга (несколько метров), обеспечивает лучшую степень защиты, чем предыдущее.

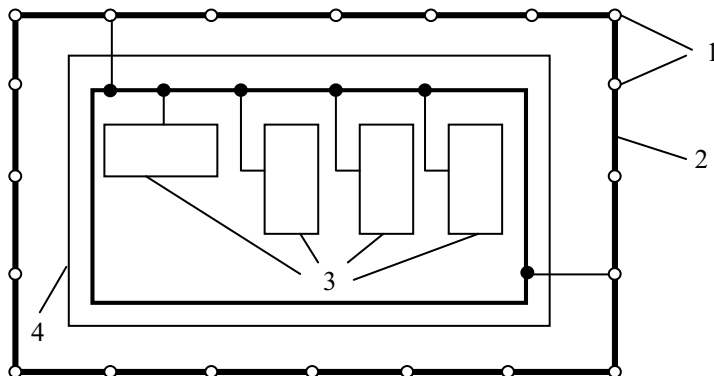


Рис. 20.5. Схема контурного заземления:

1 — заземлители; 2 — заземляющие проводники; 3 — заземляемое оборудование; 4 — производственное здание

Заземлители бывают искусственные, которые используются только для целей заземления, и естественные, в качестве которых используют находящиеся в земле трубопроводы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей или газов), металлические конструкции, арматуру железобетонных конструкций, свинцовые оболочки кабелей и др. Искусственные заземлители изготавливают из стальных труб, уголков, прутков или полосовой стали.

Требования к сопротивлению защитного заземления регламентируются ПУЭ. В любое время года это сопротивление не должно превышать:

- 4 Ом — в установках, работающих под напряжением до 1000 В; если мощность источника тока составляет 100 кВ·А и менее, то сопротивление заземляющего устройства может достигать 10 Ом;
- 0,5 Ом — в установках, работающих под напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью.

Наибольшее сопротивление заземляющего устройства (R , Ом) не должно быть более $250/I_3$ (но не более 10 Ом) в установках

напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью. При использовании заземляющего устройства одновременно для установок напряжением до 1000 В, R не должно быть более $125/I_3$ (но не более 4 или 10 Ом соответственно). В этих формулах I_3 — ток замыкания на землю, А.

Защитное зануление предназначено для защиты в трехфазных четырехпроводных сетях с глухозаземленной нейтралью, работающих под напряжением до 1000 В, так как в этих сетях использование защитного заземления неэффективно. Обычно это сети 220/127, 380/220 и 660/380 В.

Рассмотрим действие защитного зануления подробнее. Пусть имеется трехфазная трехпроводная сеть, работающая под напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью (рис. 20.6).

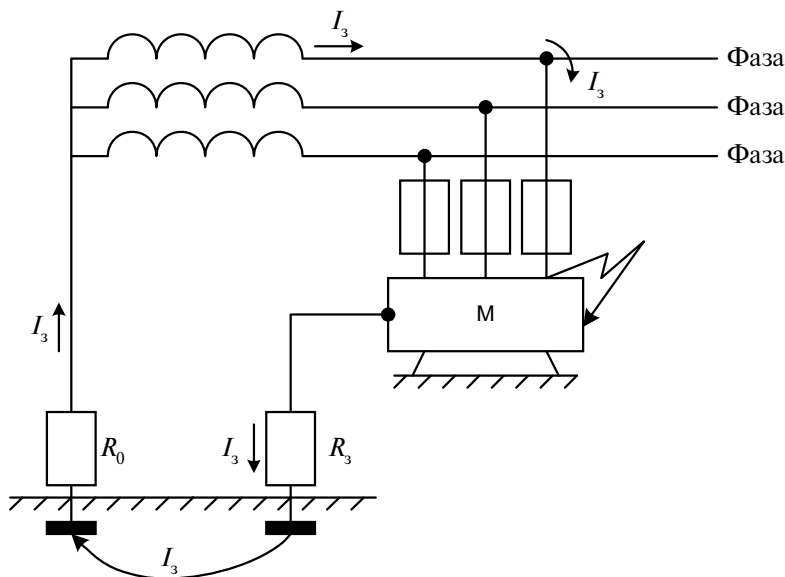


Рис. 20.6. Схема трехфазной трехпроводной сети до 1000 В с заземленной нейтралью

Если в такой схеме одна из фаз будет замкнута на корпус электропроводки (показана на схеме молниевидной стрелкой), то величина тока (I_3 , А), протекающего в сети, определится из следующей зависимости:

$$I_3 = \frac{V_\Phi}{R_0 + R_3}, \quad (20.14)$$

где V_Φ — фазное напряжение, В;

R_0 — сопротивление заземления нейтрали, Ом;

R_3 — сопротивление корпуса электроустановки, Ом.

При этом на корпусе электроустановки возникает напряжение относительно земли (V_K), определяемое следующей формулой:

$$V_K = I_3 R_3 = V_\Phi \frac{R_3}{R_0 + R_3}. \quad (20.15)$$

Рассчитаем величину тока короткого замыкания (I_3 , А) для значений $V_\Phi = 220$ В и $R_0 = R_3 = 4$ Ом:

$$I_3 = \frac{220}{(4 + 4)} = 27,5 \text{ А} \quad \text{и} \quad V_K = 220 \cdot \frac{4}{4 + 4} = 110 \text{ В}. \quad (20.16)$$

Ток короткого замыкания I_3 может оказаться недостаточным для срабатывания защиты, и электроустановка может не отключиться. Корпус электроустановки находится под опасным напряжением. Если человек случайно прикоснется к корпусу электроустановки, находящейся под этим напряжением, то ток, протекающий через тело человека, составит:

$$I_{\text{чел}} \approx \frac{\alpha_{\text{пр}} I_3 R_3}{R_{\text{чел}}} = \frac{\alpha_{\text{пр}} V_K}{R_{\text{чел}}}, \quad (20.17)$$

где $\alpha_{\text{пр}}$ — коэффициент напряжения прикосновения.

Если $\alpha_{\text{пр}} = 1$ и $V_K = 110$ В, то $I_{\text{чел}} = 110/1000 = 0,11 \text{ А} = 110 \text{ мА}$. Этот ток превышает значение фибрилляционного, поэтому является смертельно опасным. Таким образом, защитное заземление в этом случае не обеспечивает надежной защиты человека, поэтому используют не заземление, а зануление.

Занулением называют способ защиты от поражения током автоматическим отключением поврежденного участка сети и одновременно снижением напряжения на корпусах оборудования на время, пока не сработает отключающий аппарат (плавкие предохранители, автоматы и др.). Зануление — это преднамеренное соединение с нулевым защитным проводником металлических нетокопроводящих частей, которые могут оказаться под напряжением (рис. 20.7).

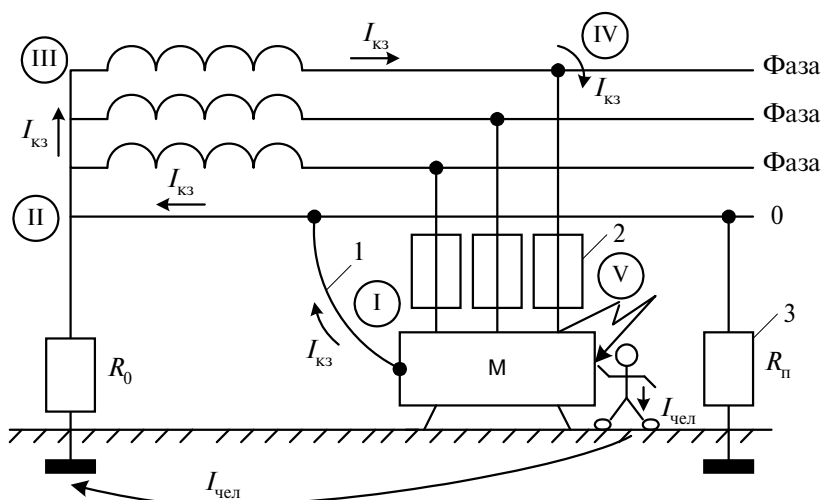


Рис. 20.7. Схема работы зануления:

- 1 — нулевой защитный проводник; 2 — срабатываемый элемент защиты;
3 — повторное заземление нулевого провода

Проводник (1), который соединяет зануляемые части электроустановки с глухозаземленной нейтральной точкой обмотки трансформатора, называют нулевым защитным. Назначение этого проводника заключается в создании для тока короткого замыкания электрической цепи с малым электросопротивлением (цепь обозначена на рисунке цифрами I — II — III — IV — V), чтобы данный ток был достаточен для быстрого отключения повреждения от сети. Это достигается срабатыванием элемента защиты сети от тока короткого замыкания (на рисунке этот элемент обозначен цифрой 2).

Цепь зануления I — II — III — IV — V имеет очень малое электрическое сопротивление (доли Ом). Ток короткого замыкания, возникающий при замыкании на корпус и проходящий по цепи зануления, достигает большого значения (нескольких сотен ампер), что обеспечивает быстрое и надежное срабатывание элементов защиты.

Для устранения опасности обрыва нулевого провода устраивают его повторное многократное рабочее заземление через каждые 250 м.

Основное требование безопасности к занулению: оно должно обеспечивать надежное и быстрое срабатывание защиты. Для этого необходимо выполнение следующего условия:

$$I_{кз} \geq k I_{ном}, \quad (20.18)$$

где $I_{ном}$ — номинальное значение тока, при котором происходит срабатывание элемента защиты;

k — коэффициент, характеризующий кратность тока короткого замыкания относительно номинального значения тока, при котором срабатывает элемент защиты.

Время срабатывания элементов защиты зависит от силы тока. Так, для плавких предохранителей и тепловых автоматов при $k = 10$ время срабатывания предохранителя составляет 0,1 с, а при $k = 3$ —0,2 с. Электромагнитный автоматический выключатель обесточивает сеть за 0,01 с. Согласно требованиям ПУЭ в помещениях с нормальными условиями k должен находиться в пределах 1,2—3, а во взрывоопасных помещениях — $k = 1,4$ —6.

Еще одна система защиты — *защитное отключение* — это защита от поражения электрическим током в электроустановках, работающих под напряжением до 1000 В, автоматическим отключением всех фаз аварийного участка сети за время, допустимое по условиям безопасности для человека.

Основная характеристика этой системы — быстроедействие, оно не должно превышать 0,2 с. Принцип защиты основан на ограничении времени протекания опасного тока через тело человека. Существуют различные схемы защитного отключения, одна из них, основанная на использовании реле напряжения, представлена на рис. 20.8.

При замыкании фазного провода на заземленный или зануленный корпус электроустановки на нем возникает напряжение корпуса V_k . Если оно превышает заранее установленное предельно допустимое напряжение $V_{к доп}$ (т. е. если $V_k > V_{к доп}$), срабатывает защитное отключающее устройство. Схема работает следующим образом.

Вследствие разности потенциалов между корпусом электроустановки 1 и землей возникает ток I_p , который, проходя через реле 5, замыкает его контакты, подавая питание на отключающую катушку 3. Под влиянием возникшего электромагнитного поля внутрь нее втягивается сердечник 4, вызывая отключение автоматического выключателя 2, и установка обесточивается.

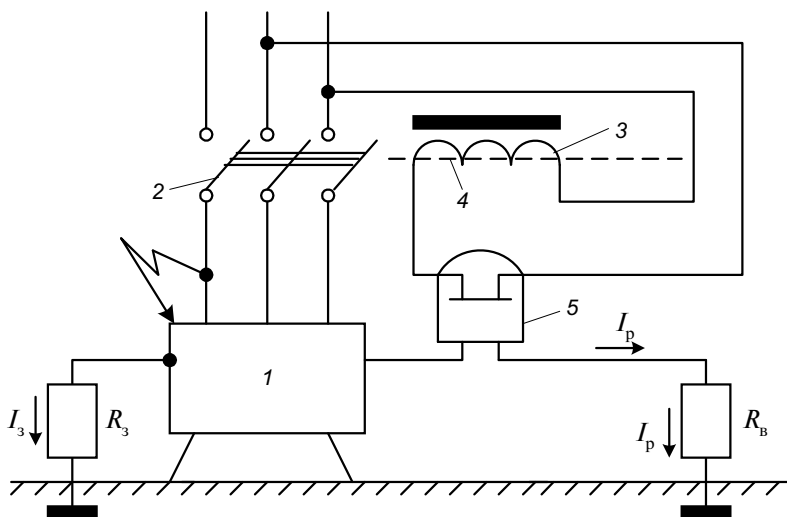


Рис. 20.8. Схема защитного отключения:

1 — корпус электроустановки; 2 — автоматический выключатель; 3 — отключающая катушка; 4 — сердечник катушки; 5 — реле максимального напряжения; $R_з$ — сопротивление защитного заземления; $I_з$ — ток замыкания; I_p — ток, протекающий через реле; $R_в$ — сопротивление вспомогательного заземления

Защитное отключение рекомендуется применять:

- в передвижных установках напряжением до 1000 В;
- для отключения электрооборудования, удаленного от источника питания, как дополнение к занулению;
- в электрифицированном инструменте как дополнение к защитному заземлению или занулению;
- в скальных и мерзлых грунтах при невозможности выполнить необходимое заземление.

Рассмотрим кратко *организационные мероприятия, обеспечивающие безопасную эксплуатацию электроустановок*. К ним относятся оформление соответствующих работ нарядом или распоряжением, допуск к работе, надзор за проведением работ, строгое соблюдение режима труда и отдыха, переходов на другие работы и окончания работ.

Нарядом для проведения работы в электроустановках называют составленное на специальном бланке задание на ее безопасное производство, определяющее содержание, место, время

начала и окончания работы, необходимые меры безопасности, состав бригад и лиц, ответственных за безопасность выполнения работ. Распоряжением называют то же задание на безопасное производство работы, но с указанием содержания работы, места, времени и лиц, которым поручено ее выполнение.

Все работы на токопроводящих частях электроустановок под напряжением и со снятием напряжения выполняются по наряду, кроме кратковременных работ (продолжительностью не более 1 ч), требующих участия не более трех человек. Эти работы выполняются по распоряжению.

К организационным мероприятиям также относятся обучение персонала правильным приемам работы с присвоением работникам, обслуживающим электроустановки, соответствующих квалификационных групп. Сведения о квалификационных группах персонала представлены в табл. 20.3.

В ряде случаев существенную опасность для человека представляет *статическое электричество*, под которым понимают совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией (ослаблением) свободного электрического заряда на поверхности и в объеме диэлектрических веществ, материалов, изделий или на изолированных проводниках. Протекание различных технологических процессов, таких, как измельчение, распыление, фильтрование и другие, сопровождается электризацией материалов и оборудования, причем возникающий на них электрический потенциал достигает значений тысяч и десятка тысяч вольт. Воздействие статического электричества на организм человека проявляется в виде слабого длительно протекающего тока либо в форме кратковременного разряда через тело человека, в результате чего может произойти несчастный случай.

Вредное воздействие на организм человека оказывает и *электрическое поле повышенной напряженности*. Оно вызывает функциональные изменения центральной нервной, сердечно-сосудистой и некоторых других систем организма.

Защиту от статического электричества осуществляют по двум основным направлениям: *уменьшение генерации* и *электрических зарядов* и *устранение зарядов* статического электричества. Для реализации первого направления необходимо правильно подбирать конструкционные материалы, из которых изготавливаются машины, агрегаты и прочее

технологическое оборудование. Эти материалы должны быть слабо электризующимися или неэлектризующимися. Например, синтетический материал, состоящий на 40% из нейлона и 60% дакрона, не электризуется при трении о хромированную поверхность.

Т а б л и ц а 20.3. Квалификационные группы персонала, обслуживающего электроустановки

<i>Группа</i>	<i>Специальность, профессия</i>	<i>Стаж работы на электроустановках</i>	<i>Необходимые знания</i>
V	Мастер, техник, инженер со специальным образованием, электромонтер, электрослесарь	Не менее полугода	Схемы и устройство оборудования, правила оказания помощи пострадавшему от воздействия электрического тока, обучение персонала безопасным методам работам
IV	Начинающий инженер, техник, оперативно-ремонтный персонал	Не менее года	Электротехника, правила первой помощи, правила безопасности, умение свободно производить переключения
III	То же	Не менее полугода	Элементарные знания электротехники, правила безопасности
II	Монтер, электрик	Один месяц	Элементарное знакомство с электроустановкой, представление об опасности, основные меры предосторожности
I	—	—	Отсутствие электротехнических знаний и представление об опасности

Для снятия зарядов статического электричества с поверхности технологического оборудования его обязательно заземляют.

Кроме перечисленных способов защиты от статического электричества большое значение имеет снижение удельного поверхностного электрического сопротивления перерабатываемых материалов. Это достигается повышением относительной влажности в помещении, где производится обработка поглощающих воду материалов (древесины, бумага, хлопчатобумажной ткани и др.), до 65—70%, нанесением на их поверхность специальных антистатических составов, введением в состав твердых диэлектриков электропроводящих материалов (графита, углеродных волокон, алюминиевой пудры и т.д.). Существуют и другие методы защиты от статического электричества.

20.3. Молниезащита

Важным вопросом электробезопасности является защита от удара молний, или молниезащита.

Молния — это особый вид прохождения электрического тока через огромные воздушные промежутки, источник которого — атмосферный заряд, накопленный грозовым облаком.

Различают три типа воздействия тока молнии: прямой удар, вторичное воздействие заряда молнии и занос высоких потенциалов (напряжения) в здания. При прямом разряде молнии в здание или сооружение может произойти его механическое или термическое разрушение. Последнее проявляется в виде плавления или даже испарения материалов конструкции. Вторичное воздействие разряда молнии заключается в наведении в замкнутых токопроводящих контурах (трубопроводах, электропроводах и др.), расположенных внутри зданий, электрических токов. Эти токи могут вызвать искрение или нагрев металлических конструкций, что может стать причиной возникновения пожара или взрыва в помещениях, где используются горючие или взрывоопасные вещества. К этим же последствиям может привести и занос высоких потенциалов (напряжения) по любым металлоконструкциям, находящимся внутри зданий и сооружений под действием молнии.

Для защиты от действия молнии устраивают молниеотводы (громоотводы). Это заземленные металлические конструкции, которые воспринимают удар молнии и отводят ее ток в землю. Различают стержневые и тросовые молниеотводы. Их защитное действие основано на свойстве молний поражать

щитное действие основано на свойстве молний поражать наиболее высокие и хорошо заземленные металлические конструкции.

Молниеотводы характеризуются зоной защиты, которая определяется как часть пространства, защищенного от удара молнии с определенной степенью надежности. В зависимости от степени надежности зоны защиты могут быть двух типов — А и Б. Тип зоны защиты выбирают в зависимости от ожидаемого количества поражений молнией зданий и сооружений в год (N). Если величина $N > 1$, то принимают зону защиты типа А (степень надежности защиты в этом случае составляет не менее 99,5%). При $N \leq 1$ принимают зону защиты типа В (степень надежности этой защиты — 95% и выше).

Рассмотрим, какую зону защиты образует стержневой отдельно стоящий молниеотвод (рис. 20.9).

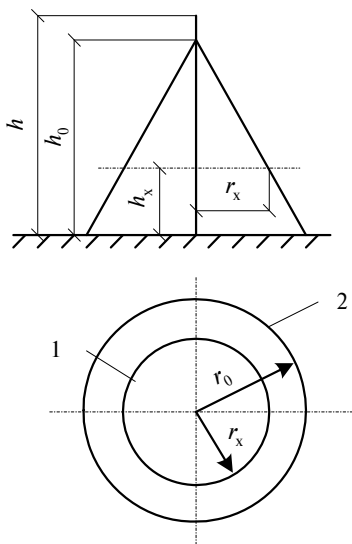


Рис. 20.9. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода:

1 — граница зоны защиты на уровне высоты объекта; 2 — то же, на уровне земли; h — высота молниеотвода; h_0 — высота конуса защиты; h_x — высота защищаемого объекта; r_x — радиус зоны защиты на уровне высоты объекта; r_0 — радиус зоны защиты объекта на уровне земли

Как следует из рисунка, зона защиты для данного молниеотвода представляет собой конус высотой h_0 с радиусом основания на земле r_0 . Обычно высота молниеотвода (h) не превышает 150 м. Остальные размеры зоны в зависимости от величины (h , м) следующие (табл. 20.4):

Т а б л и ц а 20.4. Параметры зоны защиты для молниеотвода

Параметр, м	Величина параметра для	
	зоны А	зоны Б
H_0	$0,85 h$	$0,92 h$
r_0	$(1,1 - 0,002 h) h$	$1,15 h$
r_x	$(1,1 - 0,02 h)(h - h_x/0,85)$	$1,5(h - h_x/0,92)$

Существуют также зависимости, позволяющие, задаваясь размерами защищаемого объекта (h_x и r_x), определить величину h . Эта зависимость для зоны Б имеет вид:

$$h = (r_x + 1,63h_x)/1,5. \quad (20.19)$$

Для молниеотводов других типов зависимости иные.

20.4. Оказание первой помощи пораженному электрическим током

Рассмотрим основные вопросы, касающиеся оказания первой помощи от воздействия электрического тока. Эта помощь состоит из двух этапов: освобождение пострадавшего от воздействия электрического тока и оказание ему первой помощи.

Если человек прикоснулся к токопроводящей части электроустановки и не может самостоятельно освободиться от воздействия тока, то присутствующим необходимо оказать ему помощь. Для этого следует быстро отключить электропроводку с помощью выключателя, рубильника и т.д. Если быстро отключить электроустановку от сети невозможно, оказывающий помощь должен отделить пострадавшего от токопроводящей части. При этом следует иметь в виду, что без применения необходимых мер предосторожности нельзя прикасаться к человеку, находящемуся в цепи тока, так как можно самому попасть под напряжение. Действовать следует таким образом.

Если пострадавший попал под действие напряжения до 1000 В, токопроводящую часть от него можно отделить сухим канатом, палкой или доской или оттянуть пострадавшего за одежду, если она сухая. Руки оказывающего помощь следует защитить диэлектрическими перчатками, на ноги необходимо надеть резиновую обувь или встать на изолирующую подставку

(сухую доску). Если перечисленные меры не дали результата, допускается перерубить провод топором с сухой деревянной рукояткой или перерезать его другим инструментом с изолированными ручками.

При напряжении, превышающем 1000 В, лица, оказывающие помощь, должны работать в диэлектрических перчатках и обуви и оттягивать пострадавшего от провода специальными инструментами, предназначенными для данного напряжения (штангой или клещами). Рекомендуется также накоротко замкнуть все провода линии электропередачи, набросив на них соединенный с землей провод.

После освобождения пострадавшего от воздействия электрического тока ему оказывают доврачебную медицинскую помощь. Если получивший электротравму находится в сознании, ему необходимо обеспечить полный покой до прибытия врача или срочно доставить в лечебное учреждение. Если человек потерял сознание, но дыхание и работа сердца сохранились, пострадавшего укладывают на мягкую подстилку, расстегивают пояс и одежду, обеспечивая тем самым приток свежего воздуха, и дают нюхать нашатырный спирт, обрызгивают лицо холодной водой, растирают и согревают тело.

При редком и судорожном, а также ухудшающемся дыхании пострадавшему делают искусственное дыхание. При отсутствии признаков жизни искусственное дыхание сочетают с наружным массажем сердца.

В заключение главы укажем, что измерения уровня тока, напряжения, сопротивления, мощности и других параметров сети, осуществляемые с целью обеспечения безопасности работающих на электроустановках, проводят с использованием обычных амперметров, вольтметров, омметров, ваттметров и других приборов. Конструкции, принципы работы, области применения и методики измерений соответствующих электрических величин рассматриваются в курсах физики и электротехники.

Контрольные вопросы



1. Какое действие оказывает электрический ток на организм человека?
2. Что такое электротравмы?

3. Каковы причины электротравматизма?
4. От каких факторов зависит исход поражения электрическим током?
5. Охарактеризуйте допустимые уровни напряжения и тока.
6. Перечислите основные случаи включения человека в электросеть.
7. Что такое шаговое напряжение?
8. Перечислите основные способы и средства электрозащиты и охарактеризуйте их.
9. Какова классификация производственных помещений по степени опасности поражения электрическим током?
10. Что такое защитное заземление и как с его помощью осуществляется защита человека от поражения электрическим током?
11. Что такое зануление и каков принцип обеспечения электробезопасности с его помощью?
12. Что такое защитное отключение и каковы принципы его работы?
13. Назовите индивидуальные средства защиты от поражения электрическим током.
14. Что такое молниеотвод?
15. Какие типы молниеотводов существуют?
16. Что такое зона защиты молниеотвода?

21

Безопасность работы оборудования под давлением выше атмосферного



При осуществлении различных технологических процессов, проведении ремонтных работ, в быту и т.д. широко распространены различные системы повышенного давления, к которым относится следующее оборудование: трубопроводы, баллоны и емкости для хранения или перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов, паровые и водяные котлы, газгольдеры и др. Основной характеристикой этого оборудования является то, что давление газа или жидкости в нем превышает атмосферное. Это оборудование принято называть сосудами, работающими под давлением.

Основное требование к этим сосудам — *соблюдение их герметичности* на протяжении всего периода эксплуатации. Герметичность — это непроницаемость жидкостями и газами стенок и соединений, ограничивающих внутренние объемы сосудов, работающих под давлением. Кроме этих сосудов требования по герметичности обязательны и для вакуумных установок и оборудования¹.

Любые сосуды, работающие под давлением, всегда представляют собой потенциальную опасность, которая при определенных условиях может трансформироваться в явную форму и повлечь тяжелые последствия. Разгерметизация (потеря герметичности) сосудов, работающих под давлением, достаточно часто сопровождается возникновением двух групп опасностей.

Первая из них связана с взрывом сосуда или установки, работающей под давлением. Взрывом называют быстропротекающий процесс физических и химических превращений веществ, со-

¹ Вакуумным называют оборудование, в котором различные технологические процессы протекают в среде разреженных газов. С физической точки зрения к разреженным относятся газы, находящиеся при столь малых давлениях, что средняя длина свободного пробега их молекул соизмерима с линейными размерами того оборудования, в котором эти газы находятся.

проходящий освобождением большого количества энергии в ограниченном объеме, в результате которого в окружающем пространстве образуется и распространяется ударная волна¹, способная создать угрозу жизни и здоровью людей. При взрыве может произойти разрушение здания, в котором расположены сосуды, работающие под давлением, или его частей, а также травмирование персонала разлетающимися осколками оборудования.

Вторая группа опасностей зависит от свойств веществ, находящихся в оборудовании, работающем под давлением. Так, обслуживающий персонал может получить термические ожоги, если в разгерметизировавшейся установке находились вещества с высокой или низкой температурой. Если в сосуде находились агрессивные вещества, то работающие могут получить химические ожоги; кроме того, при этом возникает опасность отравления персонала. Радиационная опасность возникает при разгерметизации установок, содержащих различные радиоактивные вещества. Таким образом, для обеспечения безопасности персонала, обслуживающего сосуды под давлением, весьма важно, чтобы *эксплуатируемое оборудование сохраняло герметичность*.

Рассмотрим основные виды сосудов и аппаратов, работающих под давлением.

Трубопроводы — это устройства для транспортировки жидкостей и газов. По существующему ГОСТу 14202-69 все жидкости и газы, транспортируемые по ним, разбиты на десять групп. Для определения вида вещества, транспортируемого по трубопроводам, их окрашивают в соответствующие цвета (опознавательная окраска):

Вода	— зеленый
Пар	— красный
Воздух	— синий
Газы горючие и негорючие	— желтый
Кислоты	— оранжевый
Щелочи	— фиолетовый
Жидкости горючие и негорючие	— коричневый
Прочие вещества	— серый

Кроме опознавательной окраски на трубопроводы наносят краской предупредительные (сигнальные) цветные кольца:

¹ Ударной волной называется распространение в газообразной, жидкой или твердой среде поверхности, на которой происходит скачкообразное повышение давления, сопровождающееся изменением плотности, температуры и скорости движения среды. Эта поверхность называется поверхностью взрыва или скачком уплотнения.

*Цвет наносимого
на трубопровод кольца*

Транспортируемые вещества

Красный	— Взрывоопасные, огнеопасные, легковоспламеняющиеся
Зеленый	— Безопасные или нейтральные
Желтый	— Токсичные или иной вид опасности, например глубокий вакуум, высокое давление, наличие радиации

Количество сигнальных колец определяет степень опасности. *Баллоны* — это сосуды для транспортировки и хранения сжатых и растворенных газов. Различают (согласно ГОСТу 949-73) баллоны малой (0,4—12 л), средней (20—50 л) и большой (80—500 л) вместимости. В зависимости от содержащихся газов баллоны окрашивают в соответствующие сигнальные цвета, а также на их поверхность наносят надпись, указывающую вид газа, а в ряде случаев — отличительные полосы (табл. 21.1).

В верхней части каждого стального баллона выбиты следующие данные: товарный знак предприятия-изготовителя; дата (месяц и год) изготовления (последнего испытания) и год следующего испытания; вид термообработки материала баллона; рабочее и пробное гидравлическое давление, МПа; емкость баллона, л; масса баллона, кг; клеймо ОТК; обозначение действующего стандарта.

Криогенные сосуды предназначены для хранения и транспортировки различных сжиженных газов: воздуха, кислорода, аргона и др. В соответствии с ГОСТом 16024-79 Е их выпускают шести типоразмеров; 6; 3; 10; 16; 25 и 40 л. Эти сосуды маркируются следующим образом: например СК-40 — сосуд криогенный емкостью 40 л. Снаружи их окрашивают серебристой или белой эмалью и посередине наносят отличительную полосу с названием сжиженного газа, находящегося в сосуде. Кроме рассмотренных сосудов для хранения больших количеств сжиженных газов используют стационарные резервуары (объемом до 500 тыс. л и более), а для их перевозки — транспортные сосуды (цистерны), имеющие объем до 35 тыс. л.

Газгольдеры предназначены для хранения и выдачи больших количеств сжатых газов, отделения от них механических примесей и других целей. Различают газгольдеры высокого и низкого давления. В первых из них сжатый газ находится по одним из следующих давлений: менее 25; 32 и 40 МПа. Газгольдеры низкого давления рассчитаны на большой объем хранимых газов: 10^5 — $3 \cdot 10^7$ л.

Т а б л и ц а 21.1. Цвета окраски баллонов

Газ	Цвет окраски баллона	Текст надписи	Цвет надписи	Цвет полосы
Азот	Черный	Азот	Желтый	Коричневый
Аммиак	Желтый	Аммиак	Черный	—
Аргон технический	Черный	Аргон технический	Синий	Синий
Ацетилен	Белый	Ацетилен	Красный	—
Бутан	Красный	Бутан	Белый	—
Водород	Темно-зеленый	Водород	Красный	—
Воздух	Черный	Сжатый воздух	Белый	—
Кислород	Голубой	Кислород	Черный	—
Углекислота	Черный	Углекислота	Желтый	—
Хлор	Защитный	—	—	Зеленый
Другие горючие газы	Красный	Наименование газа	Белый	—
Другие негорючие газы	Черный	Наименование газа	Желтый	—

Кроме рассмотренных герметичных устройств и установок применяют также автоклавы¹, компрессоры², котлы.

В нашей стране обеспечение безопасности работы герметичных устройств регламентируется нормативным документом: «Правила устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов» и др.

Рассмотрим теперь основные причины, приводящие к разгерметизации сосудов, работающих под давлением. Их принято делить на эксплуатационные и технологические.

Первой эксплуатационной причиной разгерметизации является *образование взрывоопасных смесей*, состоящих из горючих газов, паров или жидкостей и окислителя. Примером таких смесей могут служить ацетилен и кислород, водород и кислород, пары этилового спирта и кислород и др.

Взрывоопасные смеси «горючее—окислитель» могут возгораться и взрываться, если имеется инициатор (источник) зажигания, в качестве которого может выступить электрическая ис-

¹ Автоклавы — герметичные установки, предназначенные для проведения различных тепловых и химических процессов под повышенным давлением.

² Компрессоры — устройства для получения сжатого воздуха давлением свыше $3 \cdot 10^5$ Па.

кра (например, возникающая в результате накопления статического электричества), искры от газо- и электросварки, искры, возникающие от удара стальных предметов, нагретые тела и др. Существует также ряд самовоспламеняющихся систем, для которых не требуется инициатор зажигания. Примером таких систем могут служить натрий или калий, которые при нормальной температуре взрываются при соприкосновении с хлороформом.

Для предотвращения взрывов следует исключать возможность образования систем «горючее—окислитель», предотвращать инициирование горения, а также обеспечивать локализацию очага горения.

Исключить образование взрывоопасных смесей в системе «горючее—окислитель» можно следующими путями. Во-первых, максимально ограничивать концентрацию горючего вещества в смеси с окислителем, чтобы в этой системе не образовывалась взрывоопасная смесь. Во-вторых, рекомендуется добавлять к взрывоопасным смесям «горючее—окислитель» инертные компоненты, называемые флегматизаторами. Примером таких веществ могут служить азот и углекислый газ. Эти вещества не участвуют в реакции горения и способны ее тормозить.

Для того чтобы предотвратить инициирование процесса горения, необходимо нейтрализовать источники зажигания. Это достигается заземлением оборудования для исключения возможности накапливания статического электричества, применением безискрового (не дающего искр в процессе эксплуатации) инструмента и другими мероприятиями.

Локализацию очага горения применяют, если существует вероятность образования взрывоопасной смеси и имеется инициатор зажигания. В этом случае используют огне-взрывопреградители, которые ограничивают очаг горения в пределах определенного аппарата или газопровода, способного выдержать последствия горения. Передача горячей смеси в другие аппараты, таким образом, исключается.

Вторая эксплуатационная причина разгерметизации установок и аппаратов, работающих под давлением, — это так называемые побочные процессы, протекающие в них и приводящие к постепенному изменению и разрушению конструктивных материалов, из которых эти установки изготовлены. Примерами таких процессов могут служить коррозия стенок аппаратов, образование накипи на стенках котлов, уменьшение прочностных свойств

материалов установок и др. Для того чтобы исключить влияние побочных процессов, необходимо своевременно и качественно проводить профилактические и ремонтные работы сосудов, работающих под давлением, а также правильно их эксплуатировать.

Технологические причины разгерметизации — это различные дефекты (трещины, вмятины, дефекты сварки и др.), возникшие при изготовлении, хранении и транспортировке сосудов, работающих под давлением.

Для своевременного обнаружения этих дефектов применяют различные методы контроля: внешний осмотр сосудов и аппаратов, работающих под давлением, неразрушающие методы контроля (люминесцентные, ультразвуковые и рентгеновские методы), гидравлические испытания сосудов, механические испытания материалов, из которых изготовлены сосуды, и др.

Меры безопасности при эксплуатации газовых баллонов:

- газовые баллоны необходимо хранить в вертикальном положении в проветриваемом помещении или под навесами. Их следует защищать от действия прямых солнечных лучей и осадков. Баллоны не должны храниться на расстоянии менее 1 м от радиаторов отопления и ближе 5 м от открытого огня;
- нельзя переносить баллоны на плечах или руками в обхват;
- эксплуатировать можно только исправные баллоны. Их надо устанавливать вертикально на месте проведения работ и надежно закреплять для предохранения от падения. Установленный баллон должен быть надежно защищен от воздействия открытого огня, теплового излучения и прямых солнечных лучей.

Контрольные вопросы



1. Дайте определение понятия «сосуд, работающий под давлением».
2. Какие виды сосудов, работающих под давлением, вы знаете?
3. Что такое сигнальная окраска трубопроводов?
4. Перечислите цвета окраски баллонов.
5. Каковы основные условия безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением?
6. Как необходимо хранить и транспортировать сосуды, работающие под давлением?

22

Пожарная и взрывная безопасность

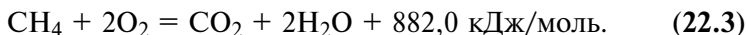
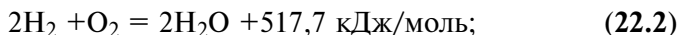
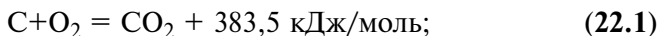


22.1. Основные понятия

Пожаром называют неконтролируемое горение, развивающееся во времени и пространстве, опасное для людей и наносящее материальный ущерб. *Пожарная и взрывная безопасность* — это система организационных и технических средств, направленная на профилактику и ликвидацию пожаров и взрывов.

Пожары на промышленных предприятиях, на транспорте, в быту представляют большую опасность для людей и причиняют огромный материальный ущерб. Поэтому вопросы обеспечения пожарной и взрывной безопасности имеют государственное значение.

Рассмотрим физико-химические основы процесса горения. *Горение* — это сложное, быстропотекающее физико-химическое превращение веществ, сопровождающееся выделением тепла и света. Примером таких экзотермических реакций¹ горения может служить взаимодействие углерода, водорода и метана с кислородом:



Таким образом, для протекания процесса горения требуется наличие трех факторов: горючего вещества, окислителя и источника зажигания (импульса). Чаще всего окислителем является кислород воздуха, но его роль могут выполнять и некоторые другие вещества: хлор, фтор, бром, йод, оксиды азота и др. Не-

¹ Экзотермическими называют химические реакции, протекающие с выделением тепла.

которые вещества (например, сжатый ацетилен, хлористый азот, озон) могут взрываться с образованием тепла и пламени. Горение большинства веществ прекращается, когда концентрация кислорода понижается с 21 до 14—18%. Некоторые вещества, например, водород, этилен, ацетилен, могут гореть при содержании кислорода воздуха до 10% и менее.

Источниками зажигания могут служить случайные искры различного происхождения (электрические, возникшие в результате накопления статического электричества, искры от газовой электросварки и т.д.), нагретые тела, перегрев электрических контактов и др.

Различают полное и неполное горение. Процессы полного горения протекают при избытке кислорода, а продуктами реакции являются вода, диоксиды серы и углерода, т. е. вещества, не способные к дальнейшему окислению. Неполное горение происходит при недостатке кислорода, продуктами реакции в этом случае являются токсичные и горючие (т. е. способные к дальнейшему окислению) вещества, например, оксид углерода, спирты, альдегиды, кетоны и др.

В зависимости от свойств горючей смеси горение бывает гомогенным и гетерогенным. При гомогенном горении горючее вещество и окислитель имеют одинаковое агрегатное состояние (например, смесь горючего газа и воздуха), а при гетерогенном — вещества при горении имеют границу раздела (например, горение твердых или жидких веществ в контакте с воздухом).

По скорости распространения пламени различают следующие виды горения: дефлаграционное (скорость распространения пламени — десятки метров в секунду), взрывное (сотни метров в секунду) и детонационное (тысячи метров в секунду). Для пожаров характерно дефлаграционное горение.

Принято различать бедные и богатые горючие смеси в зависимости от соотношения горючего и окислителя. Бедные смеси содержат в избытке окислитель, а богатые — горючее.

Процессы возникновения горения следующие:

- вспышка — быстрое сгорание горючей смеси, не сопровождающееся образованием сжатых газов;
- возгорание — возникновение горения под действием источника зажигания;
- воспламенение — возгорание, сопровождающееся появлением пламени;

- самовозгорание — явление резкого увеличения скорости экзотермических реакций, приводящее к возникновению горения вещества при отсутствии источника зажигания;
- самовоспламенение — самовозгорание, сопровождающееся появлением пламени.

Взрыв — чрезвычайно быстрое химическое (взрывчатое) превращение, сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов, способных производить механическую работу.

При пожаре на людей воздействуют следующие опасные факторы: повышенная температура воздуха или отдельных предметов, открытый огонь и искры, токсичные продукты сгорания (например, угарный газ), дым, пониженное содержание кислорода в воздухе, взрывы и др.

Оценим пожарную опасность (пожароопасность) различных веществ и материалов, учитывая их агрегатное состояние (твердое, жидкое или газообразное). Основные показатели пожарной опасности — температура самовоспламенения и концентрационные пределы воспламенения.

Температура самовоспламенения — минимальная температура вещества или материала, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающееся пламенным горением. Отличие этого процесса от процесса возгорания заключается в том, что при последнем процессе загорается только поверхность вещества или материала, а при самовоспламенении горение происходит во всем объеме. Процесс самовоспламенения происходит только в том случае, если количество теплоты, выделяемое в процессе окисления, превысит ее отдачу в окружающую среду.

Смеси горючих газов, паров и пыли с окислителем способны гореть только при определенном соотношении в них горючего вещества. Минимальную концентрацию горючего вещества, при котором оно способно загораться и распространять пламя, называют *нижним концентрационным пределом воспламенения*. Наибольшую концентрацию, при которой еще возможно горение, называют *верхним концентрационным пределом воспламенения*. Область концентрации между этими пределами представляет собой *область воспламенения*.

Значения нижнего и верхнего пределов воспламенения не являются постоянными, а зависят от мощности источника вос-

пламенения, содержания в горючей смеси инертных компонентов, температуры и давления горючей смеси.

Кроме концентрационных различают и температурные пределы (нижний и верхний) воспламенения, под которыми понимают такие температуры вещества или материала, при которых его насыщенные горючие пары образуют в окислительной среде концентрации, равные соответственно нижнему и верхнему концентрационным пределам распространения пламени.

Температура воспламенения — это минимальная температура вещества или материала, при которой они выделяют горючие пары и газы с такой скоростью, что при наличии источника зажигания возникает устойчивое горение. После удаления этого источника вещество продолжает гореть. Таким образом, температура воспламенения характеризует способность вещества к самостоятельному устойчивому горению.

Температура вспышки ($t_{всп}$) — это минимальная температура горючего вещества, при которой над его поверхностью образуются пары или газы, способные вспыхнуть от источника. Скорость образования горючих газов при вспышке еще недостаточна для возникновения пламени.

Температура вспышки используется для характеристики всех горючих жидкостей по пожарной опасности. По этому показателю все горючие жидкости делятся на два класса: легковоспламеняющиеся (ЛВЖ), к которым относятся жидкости с температурой вспышки до 61°C (бензин, ацетон, этиловый спирт и др.) и горючие (ПК) с температурой вспышки выше 61°C (масло, мазут, формалин и др.).

Температура воспламенения, температура вспышки, а также температурные пределы воспламенения относятся к показателям пожарной опасности. В табл. 22.1 представлены эти показатели для некоторых технических продуктов.

Пыли многих твердых горючих веществ, взвешенные в воздухе, образуют с ним воспламеняющиеся смеси. Минимальную концентрацию пыли в воздухе, при которой происходит ее загорание, называют нижним концентрационным пределом воспламенения пыли. Понятие верхнего концентрационного предела воспламенения для пыли не применяется, так как невозможно создавать очень большие концентрации пыли во взвешенном состоянии. Сведения о нижнем концентрационном пределе воспламенения (НКПВ) некоторых пылей представлены в табл. 22.2.

**Т а б л и ц а 22.1. Показатели пожаровзрывоопасности
некоторых технических продуктов**

<i>Название технического продукта</i>	<i>Температура вспышки ($t_{всп}$), °C</i>	<i>Температура самовоспла- менения ($t_{св}$), °C</i>	<i>Нижний кон- центрацион- ный предел воспламене- ния, % по объему</i>	<i>Верхний кон- центрацион- ный предел воспламене- ния, % по объему</i>
Бензин А-66	-39	255	0,76	5,0
Бензин А-70	-34	300	0,79	5,16
Керосин КО-20	55	227	0,6	—
Керосин КО-25	40	236	0,9	—
Мазут топочный	140	380	—	—
Масло транс- форматорное	135—140	270	0,29	—
Уайт-спирт	33—36	250	0,7	5,6

**Т а б л и ц а 22.2. Нижний концентрационный предел
воспламенения некоторых пылей**

<i>Горючая пыль</i>	<i>НКПВ, г/м³</i>
Полистирол	25
Полипропилен	32,7
Полиэтилен	12
Цирконий	40
Титан	60
Магний	25
Алюминий	10
Железо восстановленное	66

Кроме рассмотренных характеристик пожароопасности веществ и материалов, используется понятие горючести вещества или материала, т. е. их способности к горению. По этому признаку все вещества делятся на горючие (сгораемые), трудногорючие (трудносгораемые) и негорючие (несгораемые).

Горючими называют такие вещества и материалы, которые продолжают гореть и после удаления источника зажигания. Трудносгораемые вещества способны возгораться на воздухе от источника зажигания, но после его удаления самостоятельно го-

реть не могут. Негорючие вещества и материалы не способны гореть на воздухе. Для количественной характеристики горючести веществ и материалов используют *показатель возгораемости* V :

$$V = \frac{Q_o}{Q_{и}}, \quad (22.4)$$

где $Q_{и}$ — количество теплоты, полученный от источника поджигания;
 Q_o — количество теплоты, выделяемой образцом при горении в процессе испытания.

Если величина V более 0,5, то материалы относят к сгораемым, для трудносгораемых $V = 0,1-0,5$, а для несгораемых — V менее 0,1.

Основными причинами пожаров на производстве являются нарушение технологического режима работы оборудования, неисправность электрооборудования, плохая подготовка оборудования к ремонту, самовозгорание различных материалов и др. В соответствии с нормативными документами (ГОСТ 12.1.044-84 «Пожарная безопасность» и ГОСТ 12.1.010-76 «Взрывобезопасность. Общие требования») вероятность возникновения пожара или взрыва в течение года не должна превышать 10^{-6} (одной миллионной). Для предотвращения пожаров и взрывов необходимо исключить возможность образования горючей и взрывоопасной среды и предотвратить появление в этой среде источников зажигания.

При проектировании промышленных предприятий следует учитывать требования пожарной безопасности. Необходимо, чтобы используемые строительные конструкции обладали требуемой огнестойкостью, т. е. способностью сохранять под действием высоких температур пожара свои рабочие функции, связанные с огнепреграждающей, теплоизолирующей или несущей способностью.

Огнепреграждающая способность строительных конструкций характеризует их стойкость к образованию трещин или сквозных отверстий, через которые проникают продукты горения или пламя.

Теплоизолирующая способность конструкции зависит от их способности к прогреву. Многие строительные материалы плохо проводят тепло (обладают низкой теплопроводностью). Это объясняется тем, что они имеют пористую структуру, причем в их ячейках заключен воздух, теплопроводность которого мала. Огнестойкость по теплоизолирующей способности характеризу-

ется повышением температуры в любой точке на необогреваемой поверхности конструкции более чем на 190°C по сравнению с ее первоначальной температурой (до нагрева).

Потеря несущей способности строительной конструкции характеризуется ее обрушением или прогибом.

Количественно огнестойкость строительных конструкций характеризуют *пределом огнестойкости*, т. е. временем (в часах или минутах), по истечении которого строительная конструкция теряет несущую или ограждающую способность¹.

Для повышения огнестойкости зданий и сооружений их металлические конструкции оштукатуривают или облицовывают материалами с низкой теплопроводностью, например, гипсовыми плитами. Хороший эффект дает окрашивание металлических и деревянных конструкций специальными огнезащитными красками (например, типа ВПМ). Для защиты деревянных конструкций от огня их также оштукатуривают или пропитывают антипиренами² (например, фосфорноокислым или серноокислым аммонием и др.).

Существенное значение имеет зонирование территорий, которое заключается в группировании на территории предприятий, цехов и участков с повышенной пожарной опасностью в определенных местах (с подветренной стороны). Кроме того, необходимо учитывать рельеф местности. Например, склады и резервуары с горючим надо располагать в низких местах, чтобы при возникновении пожара разливающаяся горючая жидкость не могла стекать к низлежащим зданиям и сооружениям.

Для того чтобы огонь при пожаре не распространялся с одного здания на другое, их располагают на определенном расстоянии друг от друга. Это расстояние называют противопожарным разрывом. Для различных категорий зданий противопожарные разрывы составляют 9—18 м.

Для защиты от пожара в зданиях устраивают противопожарные преграды, т. е. конструкции с нормируемым пределом огнестойкости, препятствующие распространению огня из одной части здания в другую. К этим преградам, имеющим предел ог-

¹ Потеря ограждающей способности — это образование в несущих конструкциях трещин, через которые в соседние помещения могут проникать продукты горения и пламя, или прогрев строительных конструкций до таких температур, при которых возможно самовоспламенение веществ в смежных помещениях.

² Антипирены — это химические вещества, придающие древесине негорючесть.

нестойкости не менее 2,5 ч, относятся стены, перегородки, перекрытия, двери, ворота, окна и др.

При проектировании и строительстве необходимо предусмотреть пути эвакуации работающих, т. е. пути, ведущие к эвакуационному выходу на случай возникновения пожара. Здания и сооружения должны быть снабжены устройствами, предназначенными для удаления дыма при пожаре: аэрационными фонарями, специальными дымовыми люками и др.

22.2. Основные способы тушения пожаров

Рассмотрим основные способы тушения пожаров и применяемые при этом огнегасительные вещества.

Для тушения пожара используют следующие средства: разбавление воздуха негорючими газами до таких концентраций кислорода, при которых горение прекращается; охлаждение очага горения ниже определенной температуры (температуры горения); механический срыв пламени струей жидкости или газа; снижение скорости химической реакции, протекающей в пламени; создание условий огнепреграждения, при которых пламя распространяется через узкие каналы.

Огнегасительными называют вещества, которые при введении в зону сгорания прекращают горение. Основные огнегасящие вещества и материалы — это вода и водяной пар, химическая и воздушно-механическая пены, водные растворы солей, негорючие газы, галоидоуглеводородные огнегасительные составы и сухие огнетушащие порошки.

Наиболее распространенным веществом, применяемым для тушения пожара, является вода. Она снижает температуру очага горения. При нагреве до 100°C 1 литр воды поглощает приблизительно $4 \cdot 10^5$ Дж теплоты, а при испарении — $22 \cdot 10^5$ Дж. Водяной пар (из 1 литра воды образуется около 1700 л пара) препятствует доступу кислорода к горящему веществу. Вода, подаваемая к очагу горения под большим давлением, механически сбивает пламя, что облегчает тушение пожара. Воду не применяют для тушения щелочных металлов (натрия, калия), карбида кальция, а также легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, плотность которых меньше плотности воды (бензин, керосин, ацетон, спирты, масла и др.), так как они

всплывают на поверхность воды и продолжают гореть на поверхности. Вода хорошо проводит электрический ток, поэтому ее не используют для тушения электроустановок, находящихся под напряжением (это приводит к короткому замыканию).

Водяной пар можно применять для тушения ряда твердых, жидких и газообразных веществ. Наибольший эффект от применения водяного пара достигается в помещениях, объем которых не превышает 500 м³, а также при пожарах, возникших на небольших открытых площадках.

Химические и воздушно-механические пены¹ применяют для тушения твердых и жидких веществ, не взаимодействующих с водой. Одной из основных характеристик этих пен является их кратность, т. е. отношение объема пены к объему ее жидкой фазы.

Воздушно-механическую пену получают в специальных пенообразующих аппаратах с использованием пенообразователей (ПО-1С, ПО-6К, ПО-3А, «САМПО» и др.). Различают воздушно-механическую пену низкой (до 20), средней (20—200) и высокой (свыше 200) кратности. Воздушная пена, полученная пенообразователем ПО-1С и некоторыми другими, пригодна для тушения некоторых ЛВЖ и ГЖ (спиртов, ацетона, эфиров и др.).

Химическая пена образуется при взаимодействии растворов кислот и щелочей в присутствии пенообразователя. Она состоит из водного раствора минеральных солей, пенообразователя и пузырьков углекислого газа. Ее стоимость выше, чем воздушно-механической пены, поэтому использование химической пены при пожаротушении имеет тенденцию к сокращению. При тушении пожаров пеной покрывают горящие вещества, препятствуя тем самым поступлению горючих газов и паров к очагу горения.

Применение инертных и негорючих газов (аргон, азот, галоидированные углеводороды и др.) основано на разбавлении воздуха и снижении в нем концентрации кислорода до значений, при которых горение прекращается. Так, углекислый газ (диоксид углерода) используется для тушения горящих складов ЛВЖ, аккумуляторных станций, электрооборудования, печей и др. Его нельзя применять для тушения щелочных и ще-

¹ Пенной называют неоднородную систему, состоящую из жидкости и распределенных в ней пузырьков воздуха или газа.

лочноземельных металлов, тлеющих материалов и некоторых других. Для тушения этих материалов лучше применять аргон, а в некоторых случаях и азот. Высокими огнегасительными свойствами обладают и галоидированные углеводороды (хладоны, бромистый этил и др.).

К числу жидких огнегасительных веществ относятся водные растворы некоторых солей, например, бикарбоната натрия, хлористого кальция, хлористого аммония, аммиачно-фосфорных солей и др. Их действие при тушении пожара основано на образовании на поверхности горящего материала изолирующих пленок, возникающих при испарении из растворов солей воды. Эти пленки препятствуют проникновению кислорода к поверхности горящего материала. Кроме того, на испарение воды затрачивается значительное количество теплоты, что приводит к понижению температуры очага горения. При разложении некоторых солей в результате горения в воздухе выделяются негорючие газы, снижающие концентрацию кислорода.

Порошковые огнегасительные составы препятствуют поступлению кислорода к поверхности горящего материала. Их используют для тушения небольших количеств различных горючих веществ и материалов, при тушении которых нельзя применять другие огнегасительные средства. Примером этих материалов могут служить хлориды калия и натрия, порошки на основе карбонатов и бикарбонатов натрия и калия.

Средства пожаротушения подразделяют на первичные, стационарные и передвижные (пожарные автомобили).

Первичные средства используют для ликвидации небольших пожаров и загорания. Их обычно применяют до прибытия пожарной команды. К первичным средствам относятся передвижные и ручные огнетушители, переносные огнегасительные установки, внутренние пожарные краны, ящики с песком, асбестовые покрывала, противопожарные щиты с набором инвентаря и др.

Различают ручные огнетушители (до 10 л) и передвижные (свыше 25 л). В зависимости от вида огнегасительного средства, находящегося в огнетушителях, они делятся на жидкостные, углекислотные, химические пенные, воздушно-пенные, хладоновые, порошковые и комбинированные. Жидкостные огнетушители заполнены водой с добавками, углекислотные — сжижен-

ным диоксидом углерода, химические пенные — растворами кислот и щелочей, хладоновые — хладонами (например, марок 114В2,13В1); порошковые огнетушители заполнены порошковыми составами. Огнетушители маркируются буквами, характеризующими вид огнетушителя по разряду, и цифрой, обозначающей его объем в литрах.

Различают следующие виды углекислотных огнетушителей: ручные — ОУ-2А, ОУ-5, ОУ-8 и передвижные — ОУ-25, ОУ-80, ОУ-400. Эти огнетушители используют для тушения загораний некоторых материалов и электрических установок, работающих под напряжением до 1000 В.

Из химических пенных огнетушителей наиболее распространены на практике ОХП. Их применяют для ликвидации загораний твердых материалов и горючих жидкостей (при малых площадях горения).

Воздушно-пенные огнетушители маркируются как ОВП (например, ручные ОВП-5 и ОВП-10). Их используют для тушения загораний ЛВЖ, ГЖ, большинства твердых материалов (кроме металлов). Их нельзя использовать для тушения электроустановок, находящихся под напряжением.

Хладоновые огнетушители маркируются как ОХ (например, ОХ-3, ОХ-7) или ОАХ-0,5 (в аэрозольной установке).

Порошковые огнетушители маркируются как ОПС (например, ОПС-10). Их используют для тушения металлов, ЛВЖ, ГЖ, кремнийорганических материалов, установок, работающих под напряжением до 1000 В.

Комбинированные огнетушители (например, типа ОК-10) используют для тушения горящих ЛВЖ и ГЖ. Их заряжают порошковыми составами ПСБ-3 и воздушно-механической пеной.

Стационарные установки предназначены для тушения пожаров в начальной стадии их возникновения. Они запускаются автоматически или с помощью дистанционного управления. Эти установки заправляются следующими огнетушащими средствами: водой, пеной, негорючими газами, порошковыми составами или паром.

К автоматическим установкам водяного пожаротушения относятся спринклерные и дренчерные установки. Отверстия, через которые вода поступает в помещение при пожаре, запаяны легкоплавкими сплавами. Эти сплавы плавятся при определенной температуре и открывают доступ распыляемой воде. Сведе-

ния о температуре вскрытия спринклерных головок представлены в табл. 22.3.

Т а б л и ц а 22.3. Характеристика спринклерных головок

Температура вскрытия головок	Цвет окраски
72	—
93	Белый
141	Синий
182	Красный

Каждая головка орошает помещение и находящееся в нем оборудование площадью до 9 м².

В тех случаях, когда целесообразно подавать воду на всю площадь помещения, в котором возник пожар, применяют дренчеры, которые также представляют собой систему труб, заполненную водой, оборудованную распылительными головками-дренчерами. В них в отличие от спринклерных головок выходные отверстия для воды (диаметром 8, 10 и 12,7 мм) постоянно открыты. Спринклерные головки приводят в действие открыванием клапана группового действия, который в обычное время закрыт. Он открывается автоматически или вручную (при этом дается сигнал тревоги). Каждая спринклерная головка орошает 9—12 м² площади пола. Рис. 22.1 объясняет, как работает схема автоматического пожаротушения.

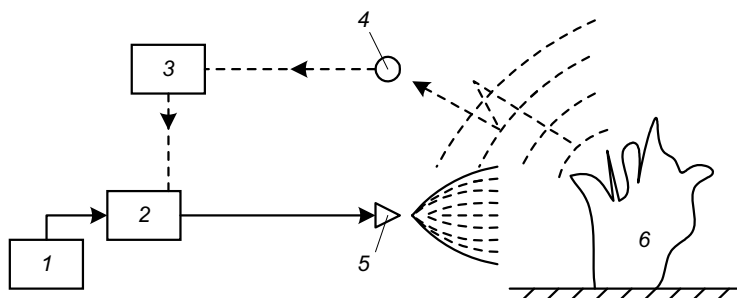


Рис. 22.1. Принципиальная схема автоматического пожаротушения:

1 — емкость для хранения огнетушащего вещества; 2 — оборудование для подачи огнетушащего вещества; 3 — система включения подачи огнетушащих веществ; 4 — устройство обнаружения пожара; 5 — устройство подачи огнетушащего вещества к очагу загорания (например, спринклерная и дренчерная головки); 6 — очаг загорания

Система работает следующим образом. Пожарный датчик (извещатель) реагирует на появление дыма (дымовой извещатель), на повышение температуры воздуха в помещении (тепловой извещатель), на излучение открытого пламени (световой извещатель) и т.д. и подает сигнал включения системы подачи огнетушащих веществ, которые подаются к очагу загорания.

Пожарные датчики (извещатели) могут быть как ручные (пожарные кнопки, устанавливаемые в коридорах помещений и на лестничных площадках), так и автоматические. Последние, как уже сказано выше, подразделяются на тепловые, дымовые и световые.

Типы используемых на практике тепловых извещателей представлены в табл. 22.4.

Т а б л и ц а 22.4. Основные характеристики тепловых извещателей

<i>Характеристика извещателя</i>	<i>Тип извещателя</i>			
	ДТЛ	ИТМ	ПОСТ	ИП105-2/1
Температура срабатывания, °С	72	70 ± 7	50, 70, 90	70 ± 7
Продолжительность срабатывания, с, не более	120	120	60	120
Защищаемая площадь, м ²	15	15	25	15

В дымовых извещателях используют два основных способа обнаружения дыма — фотоэлектрический и радиоизотопный. Так, дымовые фотоэлектрические (ИДФ-1М) и полупроводниковые (ДИП-1) действуют на принципе рассеивания частицами дыма теплового излучения. Радиоизотопные извещатели дыма (РИД-1) основаны на эффекте ослабления ионизации межэлектродного промежутка заряженными частицами, входящими в состав дыма. Один дымовой извещатель устанавливается на 65 м² защищаемой площади. Имеются комбинированные извещатели (КИ), реагирующие на теплоту и дым.

Сигнал от пожарных извещателей передается на пожарные станции, наиболее распространенные из них — ТЛО-10/100 (тревожная лучевая оптическая) и «Комар — сигнал 12 АМ» (концентратор малой вместимости). В качестве передвижных средств пожаротушения используются пожарные автомобили (автоцистерны и специальные).

Контрольные вопросы



1. Что представляет собой процесс горения?
2. Каковы разновидности горения и их характеристики?
3. Каковы основные показатели пожароопасности веществ и материалов?
4. Каковы характеристики материалов по горючести?
5. Что представляет собой классификация производств по пожарной опасности?
6. Что такое огнестойкость строительной конструкции?
7. Какие существуют огнегасительные вещества?
8. Что представляют собой автоматические системы тушения пожара?
9. Назовите типы химических огнетушителей.
10. Назовите типы пожарных извещателей и принципы их работы.

23

Основные требования безопасности к промышленному оборудованию



При проектировании и изготовлении машин и оборудования необходимо учитывать основные требования безопасности для обслуживающего их персонала, а также надежность и безопасность эксплуатации этих устройств.

При проведении различных технологических процессов на производстве возникают опасные зоны, в которых на работающих воздействуют опасные и (или) вредные производственные факторы. Примером таких факторов могут служить опасность механического травмирования (получение травм в результате воздействия движущихся частей машин и оборудования, передвигающихся изделий, падающих с высоты предметов и др.), опасность поражения электрическим током, воздействие различных видов излучения (теплого, электромагнитного, ионизирующего), инфра- и ультразвука, шума, вибрации и т.д.

Размеры опасной зоны в пространстве могут быть переменными, что связано с движением частей оборудования или транспортных средств, а также с перемещением персонала, либо постоянными.

Как уже сказано выше (гл. 13), для защиты от воздействия опасных и вредных производственных факторов используют средства коллективной и индивидуальной защиты. Здесь рассмотрим основные средства коллективной защиты, которые делятся на оградительные, предохранительные, блокирующие, сигнализирующие, системы дистанционного управления машинами и оборудованием, а также специальные.

Оградительными средствами защиты, или ограждениями, называют устройства, препятствующие появлению человека в опасной зоне. Ограждения могут быть стационарными (несъем-

ными), подвижными (съёмными) и переносными. Практически ограждения выполняются в виде различных сеток, решеток, экранов, кожухов и др. Они должны иметь такие размеры и быть установлены таким образом, чтобы в любом случае исключить доступ человека в опасную зону.

При устройстве ограждений должны соблюдаться определенные требования:

- ограждения должны быть достаточно прочными, чтобы выдерживать удары частиц (стружки), возникающих при обработке деталей, а также случайное воздействие обслуживающего персонала, и надежно закрепленными;
- ограждения изготавливаются из металлов (как сплошных, так и металлических сеток и решеток), пластмасс, дерева, прозрачных материалов (органическое стекло, триплекс и др.);
- все открытые вращающиеся и движущиеся части машин должны быть закрыты ограждениями;
- внутренняя поверхность ограждений должна быть окрашена в яркие цвета (ярко-красный, оранжевый), чтобы было заметно, если ограждение снято;
- запрещается работа со снятым или неисправным ограждением.

Предохранительные устройства — это такие устройства, которые автоматически отключают машины или агрегаты при выходе какого-либо параметра оборудования за пределы допустимых значений. Это звено разрушается или не срабатывает при отклонении режима эксплуатации оборудования от нормального. Общеизвестный пример такого звена — плавкие электрические предохранители («пробки»), предназначенные для защиты электрической сети от больших токов, вызываемых короткими замыканиями и очень большими перегрузками. Такие токи могут повредить электроаппаратуру и изоляцию проводов, а также привести к пожару. Плавкий предохранитель действует следующим образом: ток проходит через тонкую проволоку (плавкую вставку), сечение которой рассчитано на определенный максимальный ток. При перегрузке проволока расплавляется, отключая неисправный или перегруженный ток участок сети.

Примерами устройств этого типа могут служить: предохранительные клапаны и разрывные мембраны, устанавливаемые на сосуды, работающие под давлением, для предотвращения

аварии; различные тормозные устройства, позволяющие быстро остановить движущиеся части оборудования; концевые выключатели и ограничители подъема, предохраняющие движущиеся механизмы от выхода за установленные пределы, и др.

Блокировочные устройства исключают возможность проникновения человека в опасную зону или устраняют опасный фактор на время пребывания человека в опасной зоне. По принципу действия различают механические, электрические, фотоэлектрические, радиационные, гидравлические, пневматические и комбинированные блокировочные устройства.

Широко известно применение фотоэлектрических блокировочных устройств в конструкциях турникетов, установленных на входах станций метрополитена. Проход через турникет контролируется световыми лучами. При несанкционированной попытке прохода через турникет человека на станцию (не предъявлена магнитная карточка) он пересекает световой поток, падающий на фотоэлемент. Изменение светового потока дает сигнал на измерительно-командное устройство, которое приводит в действие механизмы, перекрывающие проход. При санкционированном проходе блокировочное устройство отключается.

Различные *сигнализирующие устройства* предназначены для информации персонала о работе машин и оборудования, для предупреждения об отклонениях технологических параметров от нормы или о непосредственной угрозе.

По способу представления информации различают сигнализацию звуковую, визуальную (световую) и комбинированную (светозвуковую). В газовом хозяйстве используют одорационную (по запаху) сигнализацию об утечке газа, подмешивая к газу пахнущие вещества.

В шумных условиях рекомендуется использовать визуальную сигнализацию, которая включает различные источники света, световые табло, цветовую окраску и т.д. Для звуковой сигнализации используют сирены или звонки.

В зависимости от назначения все системы сигнализации принято делить на оперативную, предупредительную и опознавательную. **О п е р а т и в н а я** сигнализация представляет информацию о протекании различных технологических процессов. Для этого используются различные измерительные приборы — амперметры, вольтметры, манометры, термометры и др. **П р е д у п р е д и т е л ь н а я** сигнализация включается в слу-

чае возникновения опасности. В устройстве этой сигнализации используют все перечисленные выше способы представления информации.

О п о з н а в а т е л ь н а я сигнализация служит для выделения наиболее опасных узлов и механизмов промышленного оборудования, а также зон. В красный цвет окрашивают сигнальные лампочки, предупреждающие об опасности, кнопку «стоп»», противопожарный инвентарь, токоведущие шины и др. В желтый — элементы строительных конструкций, которые могут являться причиной получения травм персоналом, внутризаводской транспорт, ограждения, устанавливаемые на границах опасных зон, и т.д. В зеленый цвет окрашивают сигнальные лампы, двери эвакуационных и запасных выходов, конвейеры, рольганги и другое оборудование. Применение опознавательной окраски различных баллонов рассмотрено в гл. 21.

Кроме отличительной окраски, используют и различные знаки безопасности, о некоторых из них упомянуто в гл. 21. Эти знаки наносят на цистерны, контейнеры, электроустановки и другое оборудование.

Системы дистанционного управления основаны на использовании телевизионных или телеметрических систем, а также визуального наблюдения с удаленных на достаточное расстояние от опасных зон участков. Управление работой оборудования из безопасного места позволяет убрать персонал из труднодоступных зон и зон повышенной опасности. Чаще всего системы дистанционного управления используют при работе с радиоактивными, взрывоопасными, токсичными и легковоспламеняющимися веществами и материалами.

В ряде случаев применяют специальные средства защиты, к которым относятся двуручное включение машин¹, различные системы вентиляции, глушители шума, осветительные приборы, защитное заземление и ряд др.

В тех случаях, когда не предусмотрены коллективные средства защиты работающих или они не дают требуемого эффекта, прибегают к индивидуальным средствам защиты, которые рассмотрены в предыдущих главах.

¹ Двуручное включение машин и оборудования осуществляется двумя рукоятками посредством двух пусковых органов, что исключает случайный запуск этих устройств.

Контрольные вопросы



1. Что такое опасная зона?
2. Охарактеризуйте оградительные средства защиты.
3. Что такое предохранительные, блокирующие и сигнализирующие устройства?
4. Для чего используют системы дистанционного управления производственными процессами?
5. Что такое двуручное включение машин и оборудования?

24

Обеспечение безопасности при работе с компьютером



В настоящее время компьютерная техника широко применяется во всех областях деятельности человека. При работе с компьютером человек подвергается воздействию ряда опасных и вредных производственных факторов: электромагнитных полей (диапазон радиочастот: ВЧ, УВЧ и СВЧ), инфракрасного и ионизирующего излучений, шума и вибрации, статического электричества и др.

Работа с компьютером характеризуется значительным умственным напряжением и нервно-эмоциональной нагрузкой операторов, высокой напряженностью зрительной работы и достаточно большой нагрузкой на мышцы рук при работе с клавиатурой ЭВМ. Большое значение имеет рациональная конструкция и расположение элементов рабочего места, что важно для поддержания оптимальной рабочей позы¹ человека-оператора.

В процессе работы с компьютером необходимо соблюдать правильный режим труда и отдыха. В противном случае у персонала отмечаются значительное напряжение зрительного аппарата с проявлением жалоб на неудовлетворенность работой, головные боли, раздражительность, нарушение сна, усталость и болезненные ощущения в глазах, в пояснице, в области шеи и руках.

Рассмотрим основные требования к помещениям, где установлены компьютеры. В зависимости от ориентации окон рекомендуется следующая окраска стен и пола помещения:

- окна ориентированы на юг — стены зеленовато-голубого или светло-голубого цвета; пол — зеленый;
- окна ориентированы на север — стены светло-оранжевого или оранжево-желтого цвета; пол — красновато-оранжевый;

¹ Рабочая поза — положение тела человека в процессе труда. Наиболее распространенными рабочими позами являются позы «стоя» и «сидя».

- окна ориентированы на восток — стены желто-зеленого цвета; пол зеленый или красновато-оранжевый;
- окна ориентированы на запад — стены желто-зеленого или голубовато-зеленого цвета; пол — зеленый или красновато-оранжевый.

В помещениях, где находится компьютер, необходимо обеспечить следующие величины коэффициента отражения, %:

Для потолка	—	60—70
Для стен	—	40—50
Для пола	—	30
Для других поверхностей и рабочей мебели	—	30—40.

Освещение помещений вычислительных центров должно быть смешанным.

При выполнении работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3—0,5 мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5—1,0 мм) КЕО должен быть не ниже 1,0%. В качестве источников искусственного освещения обычно используются люминесцентные лампы типа ЛБ или ДРЛ, которые попарно объединяются в светильники. Эти светильники должны располагаться над рабочими поверхностями в равномерно-прямоугольном порядке. Требования к освещенности в помещениях, где установлены компьютеры, следующие: при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300 лк, а комбинированная — 750 лк; аналогичные требования при выполнении работ средней точности — 200 и 300 лк соответственно.

Вычислительная техника является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. В помещениях, где установлены компьютеры, должны соблюдаться определенные параметры микроклимата (табл. 24.1).

Объем помещений, в которых размещены работники вычислительных центров, не должен быть меньше 19,5 м³/человека с учетом максимального числа одновременно работающих в смену. Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры, приведены в табл. 24.2.

**Т а б л и ц а 24.1. Параметры микроклимата
для помещений, где установлены компьютеры**

<i>Период года</i>	<i>Параметр микроклимата</i>	<i>Величина</i>
Холодный и переходный	Температура воздуха в помещении	22—24°C
	Относительная влажность	40—60%
	Скорость движения воздуха	До 0,1 м/с
Теплый	Температура воздуха в помещении	23—25°C
	Относительная влажность	40—60%
	Скорость движения воздуха	0,1—0,2 м/с

**Т а б л и ц а 24.2. Нормы подачи свежего воздуха в помещения,
где расположены компьютеры**

<i>Характеристика помещения</i>	<i>Объемный расход подаваемого в помещении свежего воздуха, м³ /на одного человека в час</i>
Объем до 20 м ³ на человека	Не менее 30
20—40 м ³ на человека	Не менее 20
Более 40 м ³ на человека	Естественная вентиляция
Помещение без окон и световых фонарей	Не менее 60

Для подачи в помещение воздуха используются системы механической вентиляции и кондиционирования, а также естественная вентиляция.

Уровень шума на рабочем месте математиков-программистов и операторов видеоматериалов не должен превышать 50 дБА, а в залах обработки информации на вычислительных машинах — 65 дБА. Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлены компьютеры, должны быть облицованы звукопоглощающими материалами (см. гл. 17). Уровень вибрации в помещениях вычислительных центров может быть снижен путем установки оборудования на специальные фундаменты и виброизоляторы.

Установлено, что максимальная напряженность электрической составляющей электромагнитного поля достигается на кожке дисплея. Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений от монитора компьютера представлены в табл. 24.3.

**Т а б л и ц а 24.3. Допустимые значения параметров
неионизирующих электромагнитных излучений**
(в соответствии с СанПиН 2.2.2.542-96)

<i>Наименование параметра</i>	<i>Допустимые значения</i>
Напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см от поверхности видеомонитора	10 В/м
Напряженность электромагнитного поля по магнитной составляющей на расстоянии 50 см от поверхности видеомонитора	0,3 А/м
Напряженность электростатического поля не должна превышать:	
для взрослых пользователей	20 кВ/м
для детей дошкольных учреждений и учащихся средних специальных и высших учебных заведений	15 кВ/м

Максимальный уровень рентгеновского излучения на рабочем месте оператора компьютера обычно не превышает 10 мкбэр/ч, а интенсивность ультрафиолетового и инфракрасного излучений от экрана монитора лежит в пределах 10—100 мВт/м².

Большинство ученых считают, что как кратковременное, так и длительное воздействие всех видов излучения от экрана монитора не опасно для здоровья персонала, обслуживающего компьютеры. Однако исчерпывающих данных относительно опасности воздействия излучения от мониторов на работающих с компьютерами не существует и исследования в этом направлении продолжают.

Для снижения воздействия перечисленных видов излучения на операторов компьютеров рекомендуется применять мониторы с пониженной излучательной способностью, устанавливать защитные экраны, а также соблюдать регламентированные режимы труда и отдыха.

Требования к организации рабочего места оператора:

- высота стола с клавиатурой должна составлять 62—88 см над уровнем стола; а высота экрана (над полом) — 90—128 см;
- расстояние от экрана до края стола — 40—115 см;
- наклон экрана — от -15 до $+20^\circ$ по отношению к нормальному его положению;

- положение спинки кресла оператора должно обеспечивать наклон тела назад от 97—121°.

Клавиатуру следует делать отдельной от экрана и подвижной. Усилие нажима на клавиши должно лежать в пределах 0,25—1,5 Н, а ход клавишей — 1—5 мм.

Существенное значение для производительной и качественной работы на компьютере имеют размеры знаков, плотность их размещения, контраст и соотношение яркостей символов и фона экрана. Если расстояние от глаз оператора до экрана дисплея составляет 60—80 см, то высота знака должна быть не менее 3 мм, оптимальное соотношение ширины и высоты знака составляет 3 : 4, а расстояние между знаками — 15—20% их высоты. Соотношение яркости фона экрана и символов — от 1 : 2—1 : 5 до 1 : 10—1 : 15.

В табл. 24.4 представлены сведения о регламентированных перерывах, которые необходимо делать при работе на компьютере, в зависимости от продолжительности рабочей смены, видов и категорий трудовой деятельности с ВДТ¹ и ПЭВМ² (в соответствии с СанПиН 2.2.2 542-96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ»).

Т а б л и ц а 24.4. Время регламентированных перерывов при работе на компьютере

<i>Категория работы с ВДТ или ПЭВМ</i>	<i>Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работы с ВДТ</i>			<i>Суммарное время регламентированных перерывов, мин</i>	
	<i>Группа А, количество знаков</i>	<i>Группа Б, количество знаков</i>	<i>Группа В, час</i>	<i>При 8-часовой смене</i>	<i>При 12-часовой смене</i>
I	до 20 000	до 15 000	до 2,0	30	70
II	до 40 000	до 30 000	до 4,0	50	90
III	до 60 000	до 40 000	до 6,0	70	120

П р и м е ч а н и е. Время перерывов дано при соблюдении указанных Санитарных правил и норм. При несоответствии фактических условий труда требованиям Санитарных правил и норм время регламентированных перерывов следует увеличить на 30%.

¹ ВДТ — видеодисплейный терминал.

² ПЭВМ — персональная электронно-вычислительная машина.

В соответствии со СанПиН 2.2.2 546-96 все виды трудовой деятельности, связанные с использованием компьютера, разделяются на три группы:

- группа А – работа по считыванию информации с экрана ВДТ или ПЭВМ с предварительным запросом;
- группа Б – работа по вводу информации;
- группа В – творческая работа в режиме диалога с ЭВМ.

Эффективность перерывов повышается при сочетании с производственной гимнастикой.

Контрольные вопросы



1. Перечислите основные опасные и вредные производственные факторы, действующие на оператора компьютера.
2. Каковы требования к освещению в помещениях вычислительных центров?
3. Каковы параметры микроклимата в помещениях, где установлены компьютеры?
4. Как организуется рабочее место оператора компьютера?
5. Каковы требования к клавиатуре компьютера?
6. Каковы режимы труда и отдыха при работе с компьютером?



Раздел 5

Безопасность в чрезвычайных ситуациях



Лучше быть в безопасности, чем
сожалеть.

Американская пословица

**Глава 25. Обеспечение безопасности
жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях**

**Глава 26. Правовые и организационные основы безопасности
жизнедеятельности**

25

Обеспечение безопасности жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях



25.1. Основные понятия

Существуют различные определения понятия «чрезвычайная ситуация». Наиболее часто *чрезвычайную ситуацию* определяют как нарушение нормальной жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории¹), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией², эпизоотией³, эпифитотией⁴, а также военными действиями и приведшее или могущее привести к людским и материальным потерям. Чрезвычайная ситуация может быть также определена как внешне неожиданная, внезапно возникающая обстановка, характеризующаяся неопределенностью, стрессовым⁵ состоянием населения, значительным социально-экологическим и экономическим ущербом, прежде всего чело-

¹ Акватория — водное пространство, ограниченное естественными, искусственными или условными границами.

² Эпидемия — массовое прогрессирующее во времени и пространстве инфекционное заболевание людей (в пределах одного региона), уровень которого значительно превышает обычно регистрируемый на данной территории уровень заболеваемости.

³ Эпизоотия — одновременное распространение инфекционного заболевания среди большого числа одного из многих видов животных, уровень которого значительно превышает обычный уровень заболевания, характерный для данной местности.

⁴ Эпифитотия — широкое распространение инфекционной болезни растений, в первую очередь сельскохозяйственных структур, на обширной территории в течение определенного времени.

⁵ Стресс — состояние психической напряженности, вызванное трудностями, опасностями, возникающее у человека при решении важной для него задачи.

веческими жертвами, и вследствие этого необходимостью быстрого реагирования (принятия решений), крупными людскими, материальными и временными затратами на проведение эвакуационно-спасательных работ, сокращение масштабов и ликвидацию многообразных негативных последствий (разрушений, пожаров и т.д.). Американские исследователи определяют чрезвычайную ситуацию как неожиданную, непредвиденную обстановку, требующую немедленных действий.

Понятие чрезвычайной ситуации связано с такими понятиями, как «опасность»¹ и «риск»².

Для того чтобы определить, относится ли данная ситуация к чрезвычайной, разработан ряд критериев (табл. 25.1). В таблице представлены 18 параметров, дающих качественные описания рассматриваемых критериев.

Представленные в таблице критерии обладают свойством системности, т. е. только наличие одновременно всей их совокупности позволяет квалифицировать ситуацию как чрезвычайную. Отсутствие хотя бы одного критерия уже не позволяет этого сделать.

Приведем примеры использования данных критериев. Предположим, что произошла катастрофа на пассажирском транспорте (авиационном, железнодорожном, автомобильном и др.), повлекшая за собой человеческие жертвы. Однако эта катастрофа не может быть признана чрезвычайной ситуацией, в частности, потому, что не отвечает ей с точки зрения социально-психологического критерия. Стрессовое состояние испытывают, как правило, оставшиеся в живых участники, их родственники и родственники погибших. Остальное население продолжает достаточно спокойно пользоваться транспортными средствами. Кроме того, такая катастрофа зачастую не влечет за собой цепи тяжелых вторичных, третичных и других последствий. Это означает, что она не отвечает и специфическому (седьмому) критерию чрезвычайных ситуаций. Резюмируя вышеизложенное, следует сказать, что рассмотренная катастрофа касается ограниченного круга лиц, «рискнувших» использовать именно это транспортное средство, и не может характеризоваться как чрезвычайная ситуация.

¹ Опасностью называют различные явления, процессы, объекты, способные в определенных условиях наносить ущерб здоровью человека или иным его ценностям, а также представляющие угрозу для жизни человека.

² Риск — количественная оценка опасности.

Т а б л и ц а 25.1. Критерии чрезвычайных ситуаций
(по Б.Н. Перфирьеву) [15]

<i>№ п/п</i>	<i>Тип критерия</i>	<i>Номер пара- метра</i>	<i>Качественное описание критерия</i>
1	2	3	4
1	Временной	1 2	Внешняя внезапность, неожиданность возникновения Быстрое развитие событий (с момента возникновения чрезвычайной ситуации)
2	Социально-экологический	3 4 5	Человеческие жертвы, эпидемии, мутагенез ¹ , тератогенез ² у человека и животных Эпизоотии, массовый падеж скота Вывод из воспроизводства значительной части природных ресурсов, сельскохозяйственных угодий и культур
3	Социально-психологический	6 7	Стрессовые состояния (страх, депрессии, психосоматические симптомы, фобии ³ , паника и т.д.) Дестабилизация психологической устойчивости населения в посткризисный период
4	Социально-политический	8 9 10	Остроконфликтность, взрывоопасность Усиление внутривнутриполитической напряженности, широкий внутривнутриполитический резонанс Усиление международной напряженности, широкий международный резонанс
5	Экономический (включая технико-экономический)	11 12 13 14	Значительный экономический ущерб в денежном и натуральном выражении Выход из строя целых инженерных систем и сооружений Необходимость значительных материальных затрат на восстановление и компенсацию, создание специальных фондов (страховых) Необходимость использования большого количества разнообразной техники, в том числе качественно новой, для предотвращения ситуации и ликвидации ее последствий

¹ Мутагенез — возникновение мутации, т.е. резких наследственных изменений организма. Происходит под действием мутагенов — факторов, вызывающих мутацию (например, радиоактивных веществ).

² Тератогенез — возникновение аномалий в развитии живых организмов в результате воздействия особых веществ — тератогенов.

³ Фобия — боязнь, ненависть.

Окончание табл. 25.1

1	2	3	4
6	Организа- ционно- управленче- ский	15	Неопределенность ситуации, сложность приня- тия решений, прогнозирования хода событий
		16	Необходимость быстрого реагирования (при- нятия решений)
		17	Необходимость привлечения большого числа разных организаций и специалистов. Необхо- димость масштабных эвакуационных и спаса- тельных работ, включая скорую медицинскую помощь
7	Специфиче- ский (муль- типлика- тивный)	18	Много- и разноплановость последствий, их цепной характер (например, разрушение объ- екта вследствие взрыва, возникновение пожа- ров, выход из строя коммуникаций из-за по- жаров и т.д.; задержка в развитии или отказ от продолжения соответствующей научно- технической программы и т.д.)

Рассмотрим теперь транспортную катастрофу, произошедшую с железнодорожным составом, перевозившим опасные грузы (взрывчатые, агрессивные или ядовитые химические вещества). Предположим, что в результате катастрофы произошел взрыв. В этом случае под действие такого поражающего фактора, как ударная волна, попал и достаточно широкий круг лиц, «не связанных» с источником риска (железнодорожный транспорт), а также и значительное число сооружений, прежде всего жилых домов. Таким образом, возникшая в результате катастрофы ситуация соответствует всем критериям, представленным в табл. 25.1, и может быть определена как чрезвычайная.

Американские исследователи указывают, что промышленные аварии превращаются в чрезвычайные ситуации в том случае, если вызванные ими последующие негативные события угрожают существованию социальной структуры общества. В связи с этим особый интерес представляет рассмотрение «специфического», или мультипликативного, критерия. Этот критерий выделяет одну из главных характерных черт чрезвычайных ситуаций: многопорядковость и разнообразие последствий — социальных, политических, экологических, экономических, психологических.

Возьмем в качестве примера аварию на Чернобыльской АЭС. В результате аварии погибли десятки и были госпитализированы

сотни людей. Пришлось эвакуировать сотни тысяч граждан и затратить на ликвидацию последствий аварии значительные средства (в первые четыре года после аварии было затрачено 10,5 млрд. руб.¹). Некоторые из соответствующих научно-технических программ, связанных с развитием ядерной энергетики, были заторможены или вообще отменены (в отношении реакторов РБМК-1000). Были разработаны новые подходы к размещению АЭС, а также к подготовке кадров для их обслуживания. Перечисленные мероприятия потребовали от государства значительно увеличить расход финансовых и материальных ресурсов на эти цели.

Наличие всей совокупности параметров (всех 18), качественно описывающих критерии, не является необходимым для определения ситуации как экстремальной. В той или иной конкретной обстановке некоторые из них могут отсутствовать. Например, в случае катастрофического загрязнения окружающей среды токсичными веществами (пестицидами, тяжелыми металлами и др.), параметр 7 (дестабилизация психофизиологической устойчивости в посткризисный период) может отсутствовать.

Рассмотрим основные последствия чрезвычайных ситуаций. За последние 20 лет от них на Земле пострадало более 1 млрд человек, в том числе свыше 5 млн погибло или было ранено, а нанесенный материальный ущерб исчисляется триллионами долларов. За указанный период по экологическим причинам покинули родные места и стали беженцами миллионы людей. В настоящее время в мире число таких беженцев превышает 10 млн человек, тогда как число традиционных беженцев (жертв вооруженных конфликтов и региональных войн) — более 13 млн человек.

Весьма тяжелы последствия *стихийных бедствий*, которыми называют опасные природные явления или процессы, носящие чрезвычайный характер и приводящие к нарушению повседневного уклада жизни значительных групп населения, человеческим жертвам, а также уничтожению материальных ценностей. К стихийным бедствиям относятся наводнения, землетрясения, засухи, вулканическая деятельность, массовые лесные пожары, сильные устойчивые морозы и др. Наибольший вред приносят наводнения (40% общего урона), ураганы (20%), землетрясения и засухи (по 15%). Остальные 10% общего урона приходятся на остальные виды стихийных бедствий.

¹ В ценах тех лет.

В качестве примера рассмотрим последствия землетрясения, произошедшего в Армении в конце 1988 г. В результате землетрясения пострадало 550 тыс. человек, из них погибло 25 тыс. человек. Было потеряно 8 млн м² жилья, без крова осталось 514 тыс. человек. Нарушилась связь с 121 отделением связи, было выведено из строя 50 автоматических телефонных станций (АТС) и система оповещения. Перестали функционировать 170 промышленных предприятий, вышло из строя 102 км канализационных сетей, было нарушено водоснабжение в 11 населенных пунктах. Из 965 населенных пунктов на территории республики пострадало 173, а 58 населенных пунктов было разрушено полностью.

За последние 20 лет от стихийных бедствий в мире пострадало в общей сложности более 800 млн человек (свыше 40 млн человек в год), погибло порядка 140 тыс. человек, а ежегодный материальный ущерб от стихийных бедствий за этот период составил не менее 100 млрд долл.

Большую опасность представляют техногенные (технологические) катастрофы¹, которые возникают вследствие нарушения технологического процесса или внезапного выхода из строя машин, механизмов и технических устройств во время их эксплуатации. К техногенным катастрофам относятся различные аварии² на промышленных и энергетических объектах, а также на транспорте, растекание по поверхности почвы и воды токсичных жидкостей и нефтепродуктов и др.

Среди наиболее опасных техногенных (технологических) катастроф следует указать аварии на энергетических объектах, прежде всего на АЭС; далее следуют химические предприятия, выпускающие пестициды³, гербициды⁴, минеральные удобрения

¹ Катастрофа — крупная авария, повлекшая за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и разрушение или уничтожение объектов и других материальных ценностей в значительных размерах, а также приведшая к серьезному загрязнению окружающей среды.

² Авария — опасное происшествие в технической системе на промышленном, энергетическом или транспортном объекте, создающее угрозу жизни или здоровью людей и приводящее к нарушению технологических процессов, разрушению указанных объектов, а также наносящее вред окружающей среде.

³ Пестициды — собирательный термин, охватывающий все химические вещества, используемые для борьбы с различными видами вредных организмов.

⁴ Гербициды — химические вещества (или их композиции), используемые для борьбы с нежелательной растительностью.

ния, пластмассы; транспортные аварии (при перевозке опасных грузов); нефтяные разливы при прорыве трубопроводов и др. Особое место в этом ряду занимает разрушение плотин. По своим последствиям они могут быть более опасными, чем аварии на АЭС. Следует, однако, подчеркнуть, что радиационные и химические поражающие факторы, возникающие при авариях на АЭС и химических предприятиях, обладают долгосрочным и, что особенно опасно, скрытым (латентным) воздействием на организм человека, а также оказывают негативное воздействие на здоровье будущих поколений.

25.2. Классификация чрезвычайных ситуаций

Существуют различные классификации чрезвычайных ситуаций. Наиболее часто за основание классификации выбирают характер возникновения (генезис) чрезвычайной ситуации. Очень часто чрезвычайные ситуации характеризуются в отношении их *преднамеренности*. При таком подходе вся совокупность рассматриваемых ситуаций распадается на два больших типа: *преднамеренные* и *непреднамеренные* чрезвычайные ситуации. Происхождение чрезвычайной ситуации может также рассматриваться в отношении ее *естественности*. При этом подходе все чрезвычайные ситуации подразделяются на три типа: *искусственного происхождения, или антропогенные* (включая техногенные), *естественного* (природные) и *смешанного происхождения, или природно-антропогенные*. В табл. 25.2 представлены типы чрезвычайных ситуаций. В основание их классификации положены такие признаки, как преднамеренность и естественность.

При классификации по признаку «преднамеренность» вся совокупность рассматриваемых ситуаций распадается на два больших типа: преднамеренные и непреднамеренные чрезвычайные ситуации. В первый из названных типов входят социально-политические конфликты, а в последний — три класса чрезвычайных ситуаций (стихийные бедствия, техногенные (технологические) катастрофы и «комбинированные» чрезвычайные ситуации).

Если за основу классификации берется признак «естественность», то антропогенные чрезвычайные ситуации включают в себя социально-политические конфликты и техногенные катастрофы,

Т а б л и ц а 25.2. Типы чрезвычайных ситуаций [15]

Описание классификации		Характер генезиса (преднамеренность)										
Типы ситуаций		Непреднамеренные										
Классы		Преднамеренные		Техногенные (технологические)			Стихийные бедствия		«Комбинированные» чрезвычайные ситуации			
Подклассы		Социально-политические конфликты	Военно-политические конфликты	Промышленные катастрофы	Транспортные катастрофы	Прочие катастрофы	Техногенные рофы	Гидрометеорологические катастрофы	Природно-техногенные	Природно-социальные	Социально-технологические	Природно-техносоциальные
<i>Группы</i>	Забастовки, политические акты	Социально-политические конфликты	Военно-политические конфликты	Промышленные катастрофы	Транспортные катастрофы	Прочие катастрофы	Техногенные рофы	Гидрометеорологические катастрофы	Природно-техногенные	Природно-социальные	Социально-технологические	Природно-техносоциальные
	Террористические акты	Социально-политические конфликты	Военно-политические конфликты	Промышленные катастрофы	Транспортные катастрофы	Прочие катастрофы	Техногенные рофы	Гидрометеорологические катастрофы	Природно-техногенные	Природно-социальные	Социально-технологические	Природно-техносоциальные
<i>Типы ситуаций</i>	Антропогенные (включая техногенные)	Техногенные (технологические)							Стихийные бедствия		«Комбинированные» чрезвычайные ситуации	
	Природные	Антропогенные (включая техногенные)							Природные		Природно-антропогенные	
<i>Основание классификации</i>		Характер генезиса (естественность)										

второй тип (природные чрезвычайные ситуации) включает стихийные бедствия, и, наконец, последний — класс чрезвычайных ситуаций «комбинированного» возникновения.

Важная характеристика чрезвычайных ситуаций — темпы их формирования (развития). По продолжительности (от непосредственной причины возникновения чрезвычайной ситуации до ее кульминационной точки) все ситуации можно разделить на «взрывные» и «плавные». Продолжительность развития чрезвычайных ситуаций первого типа составляет от нескольких секунд до нескольких часов. Примером таких экстремальных ситуаций могут служить стихийные бедствия и некоторые виды техногенных катастроф (аварии на крупных АЭС, ТЭС, газо- и нефтепроводах, а также на химических предприятиях).

Продолжительность развития чрезвычайных ситуаций второго типа может исчисляться несколькими десятилетиями. Такая ситуация возникла в 1978 г. в районе канала Лав (г. Ниагара-Фолс, США). С 1942 по 1953 гг. филиал известной нефтехимической корпорации «Оксидентал Петролеум» производил захоронение опасных отходов, содержащих диоксин и еще примерно 200 ядовитых веществ. Спустя четверть века они просочились на поверхность, попали в водопроводную сеть и создали серьезную угрозу здоровью и жизни населения. 1 августа 1978 г. президент США Д. Картер объявил «национальную чрезвычайную ситуацию» — население города было эвакуировано.

По масштабу распространения чрезвычайные ситуации классифицируют на: локальные (объектные), местные, региональные, национальные и глобальные. В понятие масштаба распространения входят не только размеры территории, на которой возникла чрезвычайная ситуация, но и ее косвенные последствия (нарушение связи, систем водоснабжения и водоотведения, необходимость ремонта или разборки поврежденных зданий и сооружений и др.), а также тяжесть этих последствий, которую оценивают по затрате сил и ресурсов, привлеченных для ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Локальные чрезвычайные ситуации возникают на отдельных объектах народного хозяйства (предприятиях, промышленных очистных сооружениях, складах и хранилищах и др.). Последствия чрезвычайных ситуаций на этих объектах устраняются собственными силами и за счет своих ресурсов.

К *местным* чрезвычайным ситуациям относят такие, которые возникли в населенном пункте, городе, в одном или нескольких районах, а также в пределах области. Устранение их последствий производится с привлечением ресурсов области.

Региональные чрезвычайные ситуации занимают территорию нескольких областей или экономического района; *национальные* — охватывают территорию нескольких экономических районов, но не выходят за пределы государства; *глобальные* чрезвычайные ситуации распространяются и на другие государства. Соответственно устранение перечисленных последствий осуществляется за счет субъектов Российской Федерации, государства в целом или международного сообщества (при глобальных чрезвычайных ситуациях).

Локальная чрезвычайная ситуация при известных условиях вполне может перерасти в региональную, национальную или глобальную. При этом важно установить конкретный тип критерия или параметр, согласно которому возникшая обстановка относится к тому или иному типу чрезвычайной ситуации.

В качестве примеров рассмотрим две самые крупные техногенные катастрофы за всю мировую историю развития энергетики и промышленности.

Крупнейшая ядерная авария произошла 26 апреля 1986 г. в Чернобыле на Украине. В результате последовательных ошибок, допущенных операторами ядерного реактора, в нем начал накапливаться водяной пар. Он реагировал с находящимся в реакторе горячим цирконием и образовывался водород. Давление водорода в активной зоне реактора нарастало, что привело в конечном итоге к разрушению верхней части реактора. При соприкосновении с воздухом газообразная смесь взорвалась и от возникшего пламени загорелся графитовый замедлитель. Этот замедлитель продолжал гореть несколько дней. Радиоактивные вещества, находящиеся в реакторе, попали в атмосферу и образовали радиоактивное облако. Размеры этого облака составляли 30 км в ширину и приблизительно 100 км в длину. Распространившись затем на большое расстояние, это облако вызвало радиоактивное заражение местности. Зона существенного загрязнения местности (с уровнем загрязнения более 5 мр/ч) составила около 3000 км². Несколько десятков человек погибло в результате аварии. Отмечены также многочисленные случаи заболевания лучевой болезнью. Свыше 100 000 человек, прожи-

вавшие в радиусе 30 км от реактора, пришлось эвакуировать вскоре после аварии.

Крупнейшая химическая авария произошла на заводе по изготовлению пестицидов в г. Бхопале (Индия) 2 декабря 1984 г. Этот завод — дочернее предприятие американской фирмы «Юнион Карбайд» — производил пестицид севин ($C_{10}H_7OOCNHCN_3$). При его производстве использовалось промежуточное ядовитое соединение (полупродукт) — метилизоцианат.

В результате технической неисправности (поломки предохранительного клапана) одного из резервуаров, в котором хранился метил-изоцианат, его ядовитые пары попали в атмосферу. По оценкам, в воздух попало приблизительно 3 т газа, от воздействия которого более 2500 человек погибли, а общее число пораженных отравляющим веществом, которым была оказана медицинская помощь, достигло 90 000.

Эти техногенные катастрофы в Бхопале и Чернобыле по технико-экономическому критерию можно отнести к локальной чрезвычайной ситуации, по экономическому — к национальной, а по социально-политическому, имея в виду международный резонанс, а также по социально-экологическому (крупнейшие катастрофы за всю мировую историю индустрии и энергетики) — к глобальной чрезвычайной ситуации.

Представленные в табл. 25.2 «прочие техногенные катастрофы» в отечественной литературе часто называют экологическими.

В Законе РФ об окружающей среде используется термин катастрофической экологической обстановки в регионе, под которым понимают высшую степень экологического неблагополучия в каком-либо регионе страны. Регион, в котором сложилась катастрофическая экологическая ситуация, в соответствии с указанным Законом носит название зоны экологического бедствия. *Зоны экологического бедствия* — это участки территории Российской Федерации, где в результате хозяйственной или иной деятельности происходят устойчивые отрицательные изменения в окружающей природной среде, угрожающие здоровью населения, состоянию естественных экологических систем, генетических фондов растений и животных. В зоне экологического бедствия окружающая природная среда претерпевает глубокие необратимые изменения, наблюдается существенное ухудшение здоровья населения, увеличивается общая и детская смертность.

25.3. Причины и стадии техногенных катастроф

Возникновение любой чрезвычайной ситуации, в том числе и техногенной катастрофы, вызывается сочетанием действий объективных и субъективных факторов, создающих причинный ряд событий. Непосредственными причинами техногенных катастроф могут быть внешние по отношению к инженерной системе воздействия (стихийные бедствия, военно-диверсионные акции и т.д.), условия и обстоятельства, связанные непосредственно с данной системой, в том числе технические неисправности, а также человеческие ошибки. Последним, согласно статистике и мнению специалистов, принадлежит главная роль в возникновении техногенных катастроф. По оценке экспертов, человеческие ошибки обуславливают 45% экстремальных ситуаций на АЭС, 60% авиакатастроф и 80% катастроф на море.

Процесс развития чрезвычайных ситуаций (в том числе и техногенных катастроф) целесообразно разделить на три стадии: зарождения, кульминационную и затухания. Принято считать, что во всех типах экстремальной ситуации рассмотренные стадии присутствуют всегда. В ином случае в соответствии с принятым определением и критериями ситуацию нельзя квалифицировать как чрезвычайную.

На первой стадии развития чрезвычайной ситуации складываются условия предпосылки будущей техногенной катастрофы: накапливаются многочисленные технические неисправности; наблюдаются сбои в работе оборудования; персонал, обслуживающий его, допускает ошибки; происходят не выходящие за пределы объекта некатастрофические (локальные) аварии, т.е. нарастает технический риск. Продолжительность этой стадии оценить трудно. Для «взрывных» чрезвычайных ситуаций (катастрофы в Бхопале и Чернобыле) эти стадии могут измеряться сутками или даже месяцами. У «плавных» техногенных катастроф (например, экстремальная ситуация в районе озера Лав в США) продолжительность указанной стадии измеряется годами или десятилетиями.

Рассмотрим в качестве примера стадию зарождения катастрофы, произошедшей в ночь с 3-го на 4 июля 1989 г. в Республике Башкортостан. В эту ночь на участке 1431 км продукто-

провода Западная Сибирь — Урал — Поволжье по перекачке легких углеводородов произошел разрыв трубы диаметром 720 мм с истечением сжиженного продукта, которое продолжалось примерно 2,5 часа (вытекло порядка 11 000 т продукта). От места разрыва до железнодорожного полотна расстояние составляло 300—500 м. При прохождении по железнодорожной линии двух поездов, следовавших навстречу друг другу, от случайной искры произошел взрыв смеси паров продукта с воздухом, вызвавший крушение поездов. В результате этой техногенной катастрофы 573 человека погибли, 693 были ранены.

Предпосылки зарождения этой катастрофы наблюдались в период с 1985 по 1989 гг. За это время произошло 9 аварийных отказов по различным причинам. Около двух лет не было электрохимической защиты продуктопровода, в результате чего на отдельных его участках произошла поверхностная коррозия на глубину 3—4 мм, а в отдельных случаях и сквозная. Колесный и гусеничный транспорт при переезде через трубопровод наносил ему многократные повреждения. Существовали и другие причины, приведшие к возникновению данной техногенной катастрофы.

Кульминационная стадия техногенной катастрофы начинается с выброса вещества или энергии в окружающую среду (возникновение пожара, взрыва, выброс в атмосферу ядовитых веществ, разрушение плотины) и заканчивается перекрытием (ограничением) источника опасности. В случае Чернобыльской аварии продолжительность кульминационной стадии составляла 15 дней (с 26 апреля по 10 мая 1986 г.).

Стадия затухания технологической катастрофы хронологически охватывает *период* от перекрытия (ограничения) источника опасности — локализации чрезвычайной ситуации до полной ликвидации ее прямых и косвенных последствий. Продолжительность этой стадии измеряется годами и многими десятилетиями.

Особенно тяжелы и продолжительны медицинские последствия аварии на Чернобыльской АЭС. Первым медицинским событием после этой аварии была острая лучевая болезнь. Из 134 заболевших в первые 3 месяца после аварии умерли 28 человек, тогда как за 40 лет до аварии в бывшем СССР было зарегистрировано около 500 случаев острой лучевой болезни с летальным исходом всего в 43 случаях.

Вторым драматическим последствием аварии явилось резкое увеличение рака щитовидной железы у детей, зарегистрирован-

ное в некоторых областях Белоруссии и Украины, а также в Брянской области России. Максимальное количество больных выявлено в районах наибольшего загрязнения радионуклидами.

В дни аварии в окружающую среду были выброшены радионуклиды с общей активностью около 50 млн кюри. В почву попали в основном цезий-137 с периодом полураспада 30 лет, стронций-90 — 28 лет, плутоний-239 — 24 065 лет и плутоний-241 — 14 лет. Изотоп плутоний-241 по активности превышает плутоний-239. Плутоний-241 в результате радиоактивных превращений преобразуется в америций-241 (альфа-излучатель), период полураспада которого составляет 485 лет. Последний изотоп преобразуется в нептуний-239, являющийся альфа-излучателем с периодом полураспада 2 140 000 лет (практически вечный альфа-излучатель). Вследствие этого через 20 лет после Чернобыльской катастрофы (к 2006 г.) количество альфа-излучателей в почве увеличится вдвое. После этого уровень радиации будет повышаться еще в течение 40 лет, оставаясь затем уже постоянным на тысячелетия. При попадании в организм человека или животных указанных выше радиоактивных изотопов происходит внутреннее облучение тканей, что повышает риск появления и развития злокачественных опухолей. По современным оценкам, за 50 лет Чернобыль добавит до 15 тыс. смертей от онкологических заболеваний.

Весьма длительна стадия затухания при катастрофах на химических предприятиях, что доказывает пример Бхопала, где люди продолжают умирать до сих пор; а также при загрязнении окружающей среды токсичными веществами.

25.4. Устойчивость работы объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях

Устойчивость работы объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях определяется их способностью выполнять свои функции в этих условиях, а также приспособленностью к восстановлению в случае повреждения. В условиях чрезвычайных ситуаций промышленные предприятия должны сохранять способность выпускать продукцию, а транспорт, средства связи,

линии электропередач и прочие аналогичные объекты, не производящие материальные ценности, — обеспечивать нормальное выполнение своих задач.

Для того чтобы объект сохранил устойчивость в условиях чрезвычайных ситуаций, проводят комплекс инженерно-технических, организационных и других мероприятий, направленных на защиту персонала от воздействия опасных и вредных факторов, возникающих при развитии чрезвычайной ситуации, а также населения, проживающего вблизи объекта. Необходимо учесть возможность вторичного образования токсичных, пожароопасных, взрывоопасных систем и др.

Кроме того, проводится анализ уязвимости объекта и его элементов в условиях чрезвычайных ситуаций. Разрабатываются мероприятия по повышению устойчивости объекта и его подготовке в случае повреждения к восстановлению.

С целью защиты работающих на тех предприятиях, где в процессе производства используют взрывоопасные, токсичные и радиоактивные вещества, строят убежища, а также разрабатывают специальный график работы персонала в условиях заражения вредными веществами. Должна быть подготовлена система оповещения персонала и населения, проживающего вблизи объекта, о возникшей на нем чрезвычайной ситуации. Персонал объекта должен быть обучен выполнению конкретных работ по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций в очаге поражения.

На устойчивость работы объекта в условиях чрезвычайных ситуаций оказывают влияние следующие факторы: район расположения объекта; внутренняя планировка и застройка территории объекта; характеристика технологического процесса (используемые вещества, энергетические характеристики оборудования, его пожаро- и взрывоопасность и др.); надежность системы управления производством и ряд др.

Р а й о н р а с п о л о ж е н и я о б ъ е к т а определяет величину, а также вероятность воздействия поражающих факторов природного происхождения (землетрясения, наводнения, ураганы, оползни и проч.). Важное значение имеет дублирование транспортных путей и систем энергоснабжения. Так, если предприятие расположено вблизи судоходной реки, в случае разрушения железнодорожных или трубопроводных магистралей подвоз сырья или вывоз готовой продукции может осуществляться

водным транспортом. Существенное влияние на последствия чрезвычайных ситуаций могут оказывать метеорологические условия района (количество выпадающих осадков, направление господствующих ветров, минимальные и максимальные температуры воздуха, рельеф местности).

Внутренняя планировка и плотность застройки территории объекта оказывают значительное влияние на вероятность распространения пожара, на разрушения, которые может вызвать ударная волна, образующаяся при взрыве, на размеры очага поражения при выбросе в окружающую среду токсичных веществ и др. В качестве примера в табл. 25.3 показана вероятность распространения пожара в зависимости от расстояния между зданиями.

Т а б л и ц а 25.3. Вероятность распространения пожара

<i>Расстояние между зданиями, м</i>	0	5	10	15	20	30	40	50	70	90
<i>Вероятность распространения пожара, %</i>	10	87	66	47	27	23	9	3	2	0

Необходимо учитывать и характер застройки, окружающей объект. Так, наличие вблизи данного объекта опасных предприятий, в частности химических, может в значительной степени усугубить последствия возникшей на объекте чрезвычайной ситуации.

Следует подробно изучить специфику технологического процесса, оценить возможность взрыва оборудования (например сосудов, работающих под давлением), основные причины возникновения пожаров, количество используемых в процессе сильнодействующих, ядовитых и радиоактивных веществ. Для повышения устойчивости объекта в чрезвычайной ситуации необходимо рассмотреть возможность изменения технологии, снижения мощности производства, а также его переключения на производство другой продукции. Необходимо разработать также способ быстрой и безаварийной остановки производства в чрезвычайных ситуациях.

Рассмотрим теперь пути повышения устойчивости функционирования наиболее важных видов технических систем и объектов.

Системы водоснабжения представляют собой крупный комплекс зданий и сооружений, удаленных друг от друга на значительные расстояния. При чрезвычайных ситуациях, как правило, все элементы этой системы не могут быть выведены из строя одновременно. При проектировании системы водоснабжения необходимо предусмотреть меры их защиты в чрезвычайных ситуациях. Ответственные элементы системы водоснабжения целесообразно размещать ниже поверхности земли, что повышает их устойчивость. Для города надо иметь два-три источника водоснабжения, а для промышленных магистралей (промышленного водоснабжения) — не менее двух-трех вводов от городских магистралей. Следует предусмотреть возможность ремонта данных систем без их остановки и отключения водоснабжения других потребителей.

Весьма важной является *система водоотведения* загрязненных (сточных) вод (система канализации). В результате ее разрушения создаются условия для развития болезней и эпидемий. Скопление сточных вод на территории объекта затрудняет проведение аварийно-спасательных и восстановительных работ. Повышение устойчивости системы канализации достигается созданием резервной сети труб, по которым может отводиться загрязненная вода при аварии основной сети. Должна быть разработана схема аварийного выпуска сточных вод непосредственно в водоемы. Насосы, используемые для перекачки загрязненной воды, комплектуются надежными источниками электропитания.

В разных чрезвычайных ситуациях электрические сооружения и сети могут получить различные разрушения и повреждения. Их наиболее уязвимыми частями являются наземные сооружения (электростанции, подстанции, трансформаторные станции), а также воздушные линии электропередач. В современных крупных энергосистемах применяются различные автоматические устройства, способные практически мгновенно отключить поврежденные электроисточники, сохраняя работоспособность системы в целом.

Для повышения устойчивости системы электроснабжения в первую очередь целесообразно заменить воздушные линии электропередач на кабельные (подземные) сети, использовать резервные сети для запитки потребителей, предусмотреть автономные резервные источники электропитания объекта (передвижные электрогенераторы).

Весьма важно обеспечить *устойчивость системы газоснабжения*, так как при ее разрушении или повреждении возможны возникновение пожаров и взрывов, а также выход газа в окружающую среду, что значительно затрудняет проведение аварийно-спасательных и восстановительных работ.

Основные мероприятия по увеличению устойчивости систем газоснабжения следующие: сооружение подземных обводных газопроводов (бассейнов), обеспечивающих подачу газа в аварийных условиях; использование устройств, обеспечивающих возможность работы оборудования при пониженном давлении в газопроводах; создание на предприятиях аварийного запаса альтернативного вида топлива (угля, мазута); осуществление газоснабжения объекта от нескольких источников (газопроводов); создание подземных хранилищ газа высокого давления; использование на закольцованных системах газоснабжения отключающих устройств, установленных на распределительной сети.

В результате чрезвычайной ситуации может быть серьезно повреждена система теплоснабжения населенного пункта или предприятия, что создает серьезные трудности для их функционирования, особенно в холодный период года. Так, разрушение трубопроводов с горячей водой или паром может повлечь их затопление и затруднить локализацию и ликвидацию аварии. Наиболее уязвимые элементы систем теплоснабжения — теплоэлектроцентрали и районные котельные.

Основным способом *повышения устойчивости внутреннего оборудования тепловых сетей* является их *дублирование*. Необходимо также обеспечить возможность отключения поврежденных участков теплосетей без нарушения ритма теплоснабжения потребителей, а также создать системы резервного теплоснабжения.

В результате воздействия ударной волны, возникающей при взрывах различного происхождения (при аварии газопроводов, при военных действиях), могут серьезно пострадать подземные коммуникации, включая подземные переходы и транспортные сооружения (эстакады, путепроводы, мосты и др.). Наибольшее разрушение различных мостовых сооружений вызывает боковая ударная волна, направленная перпендикулярно пролетному строению моста. Весьма опасным для этих сооружений является воздействие ударных волн, отраженных от поверхности воды

(реки, водоема). Воздействие ударной волны на подземные сооружения (коллекторы) может вызвать их повреждение. Особенно опасно в этом случае разрушение трубопроводов с горячей водой или паром, а также газопроводов.

Основным средством *повышения устойчивости рассмотренных сооружений* от воздействия ударной волны является *повышение прочности и жесткости конструкций*.

Особое внимание следует уделять *устойчивости складов и хранилищ* ядовитых, пожаро- и взрывоопасных веществ в условиях чрезвычайных ситуаций. Это достигается проведением следующих мероприятий: переводом указанных материалов на хранение из наземных складов в подземные, хранением минимального количества ядовитых, пожаро- и взрывоопасных веществ, а также безостановочным использованием этих веществ при поступлении на объект минуя склад («работа с колес»).

Для повышения устойчивости работы объектов в чрезвычайных ситуациях необходимо уделять значительное внимание *защите рабочих и служащих*. Для этого на объектах строятся убежища и укрытия, предназначенные для защиты персонала, создается и поддерживается в постоянной готовности система оповещения рабочих и служащих объекта, а также проживающего вблизи объекта населения о возникновении чрезвычайной ситуации. Персонал, обслуживающий объект, должен знать о режиме его работы в случае возникновения чрезвычайной ситуации, а также быть обученным выполнению конкретных работ по ликвидации очагов поражения.

25.5. Основные принципы и способы обеспечения безопасности населения в чрезвычайных ситуациях

К основным мероприятиям по обеспечению безопасности населения в чрезвычайных ситуациях относятся следующие: прогнозирование и оценка возможности последствий чрезвычайных ситуаций; разработка мероприятий, направленных на предотвращение или снижение вероятности возникновения таких ситуаций, а также на уменьшение их последствий. Кроме того, очень важным является обучение населения действиям в

чрезвычайных ситуациях и разработка эффективных способов его защиты.

Прогнозирование чрезвычайных ситуаций — это метод ориентировочного выявления и оценки обстановки, складывающейся в результате стихийных бедствий, аварий и катастроф. Различают долгосрочные и краткосрочные прогнозы. Долгосрочные прогнозы направлены на изучение и определение сейсмических районов¹, территорий, где возможны селевые потоки или оползни, границ зон вероятного затопления при авариях плотин или природных наводнениях, а также границ очагов поражения при техногенных авариях. Краткосрочные прогнозы используются для ориентировочного определения времени возникновения чрезвычайной ситуации.

Для составления прогнозов используются различные статистические данные, а также сведения о некоторых физических и химических характеристиках окружающих природных сред. Так, для прогнозирования землетрясений в сейсмоопасных районах изучают изменение химического состава природных вод, проводят наблюдение за изменением уровня воды в колодцах, определяют механические и физические (электрические и магнитные) свойства грунта. Значительную информацию для прогноза землетрясений может дать наблюдение за поведением некоторых животных.

Разработаны методы прогнозирования пожаров — лесных, торфяных и др. Для прогнозирования влияния скрытых очагов пожара (подземных или торфяных) на возможность возникновения лесных пожаров используется фотосъемка в инфракрасной части спектра, осуществляемая с самолетов или космических аппаратов.

Для прогнозирования обстановки, возникающей при развитии различных чрезвычайных ситуаций, применяют математические методы (математическое моделирование).

При прогнозировании чрезвычайной ситуации планируют постоянно проводимые, фоновые и защитные мероприятия.

К постоянно проводимым мероприятиям относятся постоянный контроль за качеством строительно-монтажных работ

¹ Сейсмическое районирование территорий проводят по ожидаемой интенсивности и повторяемости землетрясений (раз в год, 100, 1000 и 10 000 лет).

при возведении зданий и сооружений, создание надежной системы оповещения о возникновении чрезвычайной ситуации, строительство защитных укрытий и убежищ, снабжение населения средствами индивидуальной защиты (например, противогазами), обязательное обучение населения правилам поведения в чрезвычайных ситуациях, разработка планов ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и их финансовое и материальное обеспечение и др.

При предсказании момента чрезвычайной ситуации проверяются и приводятся в готовность система оповещения населения, а также аварийно-спасательные службы, разворачивается система наблюдения и разведки, нейтрализуются особоопасные производства и объекты (химические предприятия, атомные электростанции и др.), проводится частичная эвакуация населения.

Способы защиты населения в чрезвычайных ситуациях следующие: эвакуация, укрытие в защитных сооружениях (убежищах), использование средств индивидуальной защиты. Под *эвакуацией* понимают вывоз населения или его части из очага поражения при чрезвычайной ситуации. *Защитные сооружения* — это специально разработанные инженерные сооружения, предназначенные для защиты от воздействия различных физических, химических и биологических опасных и вредных факторов, вызванных чрезвычайной ситуацией. Защитные сооружения могут быть использованы для защиты населения как при боевых действиях, так и при техногенных авариях, сопровождающихся выбросами в окружающую среду радиоактивных и токсичных химических веществ, а также бактериологических агентов (вирусов, микроорганизмов и др.).

Средства индивидуальной защиты населения предназначены для исключения попадания внутрь организма, на кожу и на одежду перечисленных выше веществ, а также бактериологических агентов. Это средства защиты органов дыхания (респираторы, противогазы), специальные защитные одежда и обувь. Медицинские средства индивидуальной защиты предназначены для профилактики и оказания первой помощи населению в чрезвычайных ситуациях. Они включают вещества, ослабляющие или предотвращающие воздействие на организм человека токсичных веществ (антидоты) или ионизи-

рующих излучений (радиопротекторы), противобактериальные средства (антибиотики, вакцины и др.), а также средства частичной санитарной обработки (индивидуальные перевязочные и противохимические пакеты).

25.6. Ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций

Ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций должна выполняться в максимально короткие сроки. В этой деятельности различают три основных этапа.

На первом этапе реализуются мероприятия по *экстренной защите населения*. Через систему оповещения население информируют о возникновении чрезвычайных ситуаций и о необходимости использования средств индивидуальной защиты. Проводятся эвакуация людей из опасных зон и оказание им первой медицинской помощи. Принимаются неотложные меры для локализации аварий, а в случае необходимости вводится в действие комплекс противопожарных мероприятий. Возможны также временная остановка технологических процессов на предприятиях или их изменение.

На этом этапе проводится подготовка к выполнению спасательных и других неотложных работ. Для этого заблаговременно создаются специально обученные спасательные формирования. На промышленных объектах спасательные подразделения формируются из числа работников этого объекта (подразделения гражданской обороны объекта).

Для получения сведений о сложившейся в результате чрезвычайной ситуации обстановке проводят разведку очага поражения — территории, на которой возникли негативные последствия в результате действия опасных и вредных факторов, вызванных чрезвычайной ситуацией. Форма очага поражения зависит от вида чрезвычайной ситуации: при взрывах и землетрясениях — форма круглая, при ураганах, затоплениях и смерчах — имеет вид полосы, при пожарах и оползнях образуется очаг поражения неправильной формы и т.д. Различают простые и сложные (комбинированные) очаги поражения. Простые очаги поражения возникают под действием одного опасного или

вредного фактора чрезвычайной ситуации, а комбинированные — от воздействия нескольких факторов.

На втором этапе проводятся *спасательные и другие неотложные работы*, а также продолжается выполнение задач по защите населения и уменьшению последствий чрезвычайных ситуаций, начатых на первом этапе. Продолжаются локализация и тушение пожаров, а также спасение людей из горящих зданий и сооружений. Если в результате чрезвычайной ситуации разрушены или завалены защитные укрытия и убежища, в которых находились люди, проводится их розыск и извлечение из завалов. Пострадавших и получивших ранения доставляют в медицинские учреждения. Продолжается также эвакуация населения из опасных зон.

В случае необходимости (выброса в окружающую среду радиоактивных или токсичных химических веществ, а также бактериологических агентов) проводят специальную обработку, которая представляет собой комплекс мероприятий, проводимых с целью восстановления готовности людей, входящих в состав специальных формирований, и используемой техники к продолжению аварийно-восстановительных работ в очагах поражения, а также подготовки объектов к возобновлению производственной деятельности.

Специальная обработка состоит из обеззараживания и санитарной обработки. Обеззараживание включает в себя следующие операции: дезактивацию, дегазацию, дезинфекцию и дератизацию. *Дезактивация* — это удаление радиоактивных веществ с поверхностей различных предметов, а также очистка от них воды. Различают механический и физико-химический (химический) способы удаления радиоактивных веществ (радиоактивной пыли) с очищаемых поверхностей. Механическое удаление радиоактивной пыли сводится к смыванию ее водой под давлением с поверхности загрязненных предметов. При использовании химического способа радиоактивную пыль связывают специальными растворами, препятствуя тем самым ее распространению в окружающей среде. Для этого используют поверхностно-активные (порошок Ф-2, препарат ОП-7 и ОП-10) и комплексообразующие вещества, кислоты и щелочи (фосфаты натрия, трилон Б, щавелевую и лимонную кислоты, соли этих кислот).

Если загрязненная территория имеет твердое покрытие, то ее дезактивируют механическим способом. Территории без твердого покрытия обрабатывают пленкообразующими и закрепляющими растворами (латекс, спиртосульфатная барда, нефтяные шламы и др.) или просто водой, после чего связанную таким образом радиоактивную пыль удаляют с поверхности зараженной территории, срезая бульдозерами или грейдерами загрязненный слой грунта толщиной 5—10 см. Этот грунт помещают в металлические контейнеры и захоранивают на специальных полигонах. Обработанную территорию засыпают слоем незагрязненного грунта толщиной 9—10 см. Дезактивацию поверхностей зданий проводят путем связывания радиоактивной пыли пленкообразующими составами с последующим ее удалением мощными пылесосами. Возможна также обработка поверхностей малоэтажных зданий и растительности водой или дезактивирующими растворами с привлечением специальной техники (пожарных машин, мотопомп).

Существуют различные методы дезактивации воды: фильтрование, отстаивание, перегонка, очистка с использованием ионообменных смол. Зараженные открытые водоемы дезактивируют, обрабатывая абсорбирующими и комплексообразующими глинами. Очистку рек, ручьев и иных стоков проводят, пропуская воду через плотины фильтрующего типа. В качестве фильтрующего элемента в них используют адсорбирующий наполнитель. Дезактивацию колодцев проводят многократным откачиванием из них воды и удалением зараженного грунта со дна. Для дезактивации упакованных продуктов питания заменяют загрязненную тару. Если продукты не были упакованы, то с их поверхности снимают зараженный слой.

Следующая операция обезвреживания — *дегазация*. Ее используют для разложения отравляющих и сильнодействующих ядовитых веществ до нетоксичных продуктов. В качестве дегазирующих веществ используются также химические соединения, которые вступают в реакцию с отравляющими и сильнодействующими ядовитыми веществами.

Для удаления отравляющих и сильнодействующих химических веществ с зараженных поверхностей используют моющие растворы, приготовленные на основе порошка СФ-24 или бытовых синтетических моющих веществ. Эти растворы не обезвре-

живают отравляющие вещества, а лишь позволяют быстро смыть их с зараженной поверхности.

Дегазацию проводят с применением воды, моющих растворов, растворов дегазирующих и органических веществ, используя моечные машины. Если имеет место комбинированное загрязнение радиоактивными и отравляющими веществами, то сначала проводят дегазацию, а уж затем дезактивацию.

Для уничтожения возбудителей инфекционных заболеваний человека и животных в окружающей среде проводят *дезинфекцию*. Ее осуществляют физическими, химическими и механическими методами.

Физические методы применяют в основном при кишечных инфекциях. К ним относятся: кипячение белья, посуды, предметов ухода за больными, сжигание ненужных и непригодных для дальнейшего использования вещей. Химический метод дезактивации заключается в уничтожении болезнетворных микробов и разрушении токсинов дезинфицирующими веществами, в качестве которых используются этанол, пропанол, фенол (карболовая кислота) и его производные (например, трихлорофенол), а также ряд других веществ. Зараженную бактериологическими агентами территорию обрабатывают (поливают) дезинфицирующими веществами. Этот способ дезактивации является основным. Механический метод дезинфекции заключается в удалении зараженного слоя грунта или устройстве настилов.

С целью предотвращения распространения инфекционных заболеваний используют методы *дератизации*, заключающиеся в уничтожении переносчиков этих заболеваний (мышей, крыс, других грызунов). Как и дезинфекция, дератизация может осуществляться химическим, механическим и биологическим методами. Например, крыс уничтожают, используя в качестве ядохимиката карбонат бария.

Как уже сказано выше, специальная обработка включает в себя и *санитарную обработку*, под которой понимают комплекс мероприятий по ликвидации заражения личного состава спасательных формирований и населения радиоактивными и отравляющими веществами, а также бактериологическими средствами. При санитарной обработке обеззараживают как поверхность тела человека, так и наружные слизистые оболочки. Обрабатывают также одежду, обувь и индивидуальные средства защиты.

Различают полную и частичную санитарную обработку. Первой из них подвергается личный состав спасательных формирований, а также эвакуированное население после выхода из загрязненных зон. При полной санитарной обработке обеспечивается полное обеззараживание от радиоактивных, отравляющих и бактериальных средств. Она проводится на пунктах специальной обработки людей. Одежда и другие предметы и вещи обеззараживают камерным или газовым методом, а также замачиванием в растворах дезинфектов и последующей стиркой, кипячением и др.

Частичная санитарная обработка осуществляется непосредственно в очаге поражения для исключения вторичного инфицирования людей. При этом проводят механическую очистку и обработку открытых участков кожи, поверхностей одежды, обуви и индивидуальных средств защиты.

На заключительном (третьем) этапе начинаются работы по *восстановлению функционирования объектов* народного хозяйства, которые выполняются строительными, монтажными и другими специальными организациями. Кроме этого, осуществляется ремонт жилья или возведение временных жилых построек. Восстанавливаются также энерго- и водоснабжение, объекты коммунального обслуживания и линии связи. После окончания этих и ряда других работ производится возвращение (реэвакуация) населения к месту постоянного жительства.

Контрольные вопросы



1. Дайте определение понятия «чрезвычайная ситуация» (ЧС).
2. Какова взаимосвязь понятий «опасность», «риск» и «чрезвычайная ситуация»?
3. Каковы критерии ЧС?
4. Как классифицируются ЧС?
5. Каков ущерб от ЧС?
6. Назовите стадии ЧС.
7. Какова продолжительность развития ЧС?
8. Каковы масштабы ЧС?
9. Что такое «экологические катастрофы»?

10. Перечислите причины и стадии техногенных катастроф.
11. Каковы медицинские последствия аварии на Чернобыльской АЭС?
12. Как обеспечивается устойчивость работы объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях?
13. Что надо сделать для повышения устойчивости функционирования наиболее важных видов технических систем и объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях?
14. Перечислите основные этапы ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.
15. Поясните понятия «дезактивация», «дегазация», «дезинфекция», «дератизация».
16. Как осуществляют санитарную обработку населения?

26

Правовые и организационные основы безопасности жизнедеятельности



26.1. Основные законодательные документы

Правовые вопросы безопасности труда обеспечивает Конституция страны, которая гарантирует права граждан на труд, отдых, охрану здоровья, материальное обеспечение в старости, в случае болезни, при полной или частичной нетрудоспособности. В 1970 г. были приняты «Основы законодательства Российской Федерации о труде», которые пересматривались в 1990 г. Во многих статьях этого документа отражены вопросы создания безопасных условий труда: режимы труда и отдыха при проведении различных работ, гарантии и компенсации для трудящихся во вредных условиях, особенности использования труда женщин и молодежи, компенсации в связи с несчастными случаями, контроль и надзор за соблюдением законодательства о труде и ряд других.

В действующий в настоящее время «Кодекс законов о труде РФ» (КЗоТ РФ) включены основные требования, направленные на создание здоровых и безопасных условий труда.

В 1993 г. в нашей стране введены «Основы законодательства Российской Федерации об охране труда», которые устанавливают гарантии осуществления права трудящихся на охрану труда и обеспечивают единый порядок регулирования отношений в области охраны труда между работодателями и работниками на предприятиях, учреждениях и организациях всех форм собственности. Этот документ направлен на создание условий труда,

отвечающих требованиям сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности и в связи с ней.

В ст. 1 рассматриваемого документа приводится определение термина «охрана труда». *Охрана труда* — система обеспечения безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические и иные мероприятия.

В ст. 3 «Основ законодательства...» также указывается, что главной задачей государственной политики в области охраны труда является признание и обеспечение приоритета жизни и здоровья работников по отношению к результатам производственной деятельности предприятия. Указывается также, что каждый работник имеет право на охрану труда, которую гарантирует государство в лице органов законодательной, исполнительной и судебной власти. Государственное управление охраной труда заключается в реализации основных направлений государственной политики в области охраны труда, разработке законодательных и иных нормативных актов в этой области, а также требований к средствам производства, технологиям и организации труда, гарантирующим работникам здоровье и безопасные условия труда (ст. 7). В «Основах законодательства РФ об охране труда» также перечислены права и обязанности работников и работодателей по обеспечению охраны труда на предприятиях, рассмотрены вопросы обучения и инструктирования работников в области охраны труда, приведены сведения о финансировании указанных мероприятий и фондах охраны труда. Кроме того, в ряде статей этого документа представлены сведения об ответственности предприятий и работодателей за невыполнение требований по созданию здоровых и безопасных условий труда, указано, как должны осуществляться надзор и контроль за соблюдением законодательства об охране труда, а также рассмотрен ряд других моментов.

Правовые вопросы природопользования регламентируются как Конституцией РФ (ст. 9, 36, 42, 58, 72), так и рядом федеральных законов, среди которых прежде всего следует указать Гражданский, Земельный и Водный кодексы РФ, законы: «О животном мире», «Об охране окружающей природной среды» и др., соответствующие нормативные акты Президента и Правительства РФ, субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления.

В качестве примеров рассмотрим правовые основы охраны атмосферного воздуха, правовые режимы водо- и недропользования, а также правовую основу охраны земель.

Атмосферный воздух — один из основных жизненно важных компонентов окружающей среды. Состояние воздушной среды напрямую связано с жизненными интересами людей. Качество воздуха непосредственно влияет на здоровье человека, продолжительность его жизни, а также на состояние других элементов окружающей среды, в особенности растительного и животного мира.

Основной законодательный акт, наиболее полно регулирующий общественные отношения в этой области, — Закон «Об охране атмосферного воздуха». В нем изложены основные положения по охране воздушного бассейна от загрязнения и шумов, от электромагнитного, радиационного и иного воздействий по предотвращению истощения кислородных запасов, рациональному использованию воздуха в хозяйственных целях и др.

В этом законодательном акте подробно изложены вопросы нормирования ПДК загрязняющих веществ в атмосфере, предусмотрен разрешительный порядок выбросов загрязняющих веществ и других негативных воздействий на воздушную среду, включая воздействие на погоду и климат. Ряд разделов Закона посвящен государственному контролю в области охраны атмосферного воздуха и ответственности должностных лиц и граждан страны за нарушения воздухоохранного законодательства.

Государственный контроль за охраной атмосферного воздуха, в том числе и за соблюдением воздухоохранного законодательства, осуществляется органами местного самоуправления и специально уполномоченными на то государственными межведомственными органами. Его основная задача — обеспечение строгого выполнения всеми министерствами, комитетами, предприятиями и другими органами, а также должностными лицами и гражданами требований воздухоохранного законодательства.

Основополагающим правовым актом водного законодательства является Водный кодекс РФ. Он регулирует водные отношения путем установления правовых основ использования и охраны водных объектов. Кроме того, водопользование осуществляется в соответствии с законодательством о природных лечебных ресурсах, лечебнооздоровительных местах и курортах. Общие экологические требования к водопользованию отражены в Федеральном законе «Об охране окружающей природной среды». Значи-

тельное число подзаконных правовых актов о водопользовании принято Правительством РФ.

Водное законодательство предусматривает систему мер по охране водных объектов от загрязнения, засорения, истощения водных источников, а также предотвращению вредного воздействия вод вследствие наводнения, водной эрозии, развития оползней¹ и др. Этим вопросам посвящена гл. 11 Водного кодекса РФ, в которой изложены общие требования к охране водных объектов, сведения о нормативах предельно допустимых воздействий на водные объекты и водоохранные зоны. Подчеркивается, что при использовании водных объектов граждане и юридические лица обязаны осуществлять производственно-технологические, мелиоративные, агротехнические, гидротехнические, санитарные и другие мероприятия, обеспечивающие охрану водных объектов. При проведении хозяйственной деятельности человека, в том числе и при внедрении в производство новых технологических процессов, необходимо учитывать их влияние на состояние водных объектов и окружающей природной среды в целом.

Для поддержания водных объектов в состоянии, соответствующем экологическим требованиям, создаются водоохранные зоны. Это территории, примыкающие к акватории водного объекта, на которых устанавливается специальный режим использования и охраны водных ресурсов, а также осуществления иной хозяйственной деятельности.

В пределах водоохранных зон устанавливаются прибрежные защитные полосы, где запрещается раскопка земель, рубка и корчевка леса, размещение животноводческих ферм и лагерей, а также другая деятельность. Порядок установления размеров и границ водоохранных зон, их прибрежных защитных полос, а также режим их использования устанавливаются Правительством РФ. В целях охраны водных объектов предусмотрено установление и иных зон: санитарной охраны, чрезвычайной экологической ситуации и экологического бедствия на водных объектах. К последним относятся такие, где в результате хозяйственной деятельности или природных процессов происходят изменения, угрожающие здоровью людей, животному и растительному миру, состоянию окружающей природной среды.

¹ Оползень — смещение вниз по склону массы рыхлой горной породы под влиянием силы тяжести, особенно при насыщении рыхлого материала водой. Одна из форм стихийного бедствия.

Правовая охрана почв и земельных ресурсов РФ осуществляется в первую очередь в соответствии с требованиями Конституции страны (ст. 9, 36, 58). Так, в ст. 9 указывается, что земля и другие природные ресурсы используются и охраняются в Российской Федерации как основа жизни и деятельности народов, проживающих на соответствующей территории.

В развитие основополагающих конституционных положений в земельном законодательстве страны предусмотрена система правовых, организационных, экономических и других мероприятий, направленных на рациональное использование земель, предотвращение необоснованного изъятия земель из сельскохозяйственного оборота, защиту от вредных воздействий, а также на восстановление продуктивности земель (в том числе земель лесного фонда), воспроизводство и повышение плодородия почв.

Правовые основы землепользования в нашей стране раскрываются также в Земельном кодексе и Законе «О крестьянском (фермерском) хозяйстве», в ряде Указов Президента РФ.

В перечисленных документах, в частности, указывается, что собственники земли, землевладельцы, землепользователи и арендаторы осуществляют рациональную организацию используемой территории, восстановление и повышение плодородия почв, защиту земель от различных процессов разрушения и др. Для обеспечения соблюдения всеми физическими, должностными и юридическими лицами требований земельного законодательства в целях эффективного использования и охраны земель в РФ создана единая система государственного контроля, в которой наряду с головным земельным контролем сочетаются и другие виды контроля: экологический, санитарно-эпидемиологический, архитектурно-строительный.

Правовой режим недропользования¹ основан на Конституции РФ, законах РФ «О недрах» и «Об охране окружающей природной среды», а также на ряде Указов и распоряжений Президента РФ. Основные требования по рациональному использованию и охране недр изложены в разд. III Закона РФ «О недрах». С экологической точки зрения наиболее важные из них: предотвращение загрязнения недр при проведении работ, связанных с их использо-

¹ Недра — это часть земной коры, расположенная ниже почвенного слоя, а при его отсутствии — ниже земной поверхности и дна водоемов и водостоков, простирающаяся до глубин, доступных для геологического изучения и освоения.

ванием; предотвращение накопления промышленных и бытовых отходов на площадях водосбора и в местах залегания подземных вод; охрана месторождений полезных ископаемых от затоплений, пожаров и других факторов, снижающих их качество.

В отличие от других природных объектов недр практически невозобновимы как в настоящее время, так и в отдаленной перспективе. В связи с этим возникает необходимость в установлении особых требований, способствующих их рациональному использованию и надлежащей охране. При пользовании недрами необходимо обеспечить оптимальное сочетание экономических и экологических интересов общества, а также интересов природы и общества, полностью исключить возможность нанесения вреда человеку и окружающей среде, ее составным элементам. Все эти требования отражены в рассмотренных правовых нормах.

Кроме перечисленных выше законодательными документами в области безопасности жизнедеятельности являются государственные, отраслевые стандарты и стандарты предприятий, правила и нормы, в которых содержатся различные требования к безопасности труда, экологической безопасности и др.

Государственные стандарты охватывают обширные вопросы деятельности человека и являются основными нормативными документами в указанных областях. Государственные стандарты разбиты по классам систем и имеют свои коды. Стандарты безопасности труда начинаются с шифра-кода 12 (например, 12.0.003-74, 12.1.018-85 и др.), стандарты по охране окружающей среды с шифра-кода 17 (например, 17.0.0.01-76, 17.2.6.02-85 и др.).

Едиными правилами, которые содержат требования к обеспечению безопасности труда при проектировании, строительстве и эксплуатации промышленных объектов, являются «Строительные нормы и правила» (СНиП), а также различные санитарные нормы и правила (СН, СанПиН).

На основе государственных стандартов разрабатываются отраслевые стандарты и стандарты предприятий, учитывающие отраслевые и местные условия, а также конкретные условия и технологии производства.

Еще одну группу нормативно-технической документации составляют различные Правила, Положения и Инструкции. Разрабатывают и утверждают эти документы министерства, ведомства, органы Госнадзора.

Срок действия нормативных документов обычно составляет 5 лет, местных — 3 года. После чего эти документы пересматривают и срок действия продлевают на 5 лет или они утрачивают силу вообще.

26.2. Правовые и организационные аспекты обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях

Современные социально-экологические условия характеризуются наличием определенных и устойчивых объективных тенденций углубления экологических последствий чрезвычайных ситуаций. Основным источником экологического неблагополучия являются аварии и катастрофы, сопровождающиеся выбросами и сбросами загрязняющих химических, радиоактивных, биологических веществ и материалов в окружающую среду, а также различные природные процессы и явления — наводнения, ураганы, бури, тайфуны, смерчи, сильные, особо длительные, дожди, землетрясения, оползни, обвалы и др.

В настоящее время в РФ приняты следующие федеральные законы: «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», «О пожарной безопасности», «О радиационной безопасности населения», «Об использовании атомной энергии». Порядок действия в чрезвычайных ситуациях отражен также и в ст. 56 и 88 Конституции РФ.

Разрабатывается ряд федеральных целевых программ, направленных на предупреждение и подготовку к ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Принципиальная особенность создаваемой защиты населения состоит в сосредоточении усилий на предупреждении их возникновения и развития, снижении размеров ущерба и потерь, ликвидации последствий.

Далее рассмотрим последовательность действий органов управления РФ в чрезвычайной ситуации (организационные основы).

Президент РФ вводит при возникновении чрезвычайной ситуации (ЧС) в соответствии со ст. 56 и 88 Конституции России на территории страны или в отдельных ее местностях чрезвычай-

чайное положение, принимает решение о привлечении при необходимости ликвидации ЧС Вооруженных сил РФ, других войск и воинских формирований.

Федеральное Собрание РФ утверждает бюджетные ассигнования на финансирование деятельности и мероприятий в указанной области.

Правительство РФ издает постановления и распоряжения в области защиты населения и территорий, определяет задачи, функции, порядок деятельности, права и обязанности федеральных органов исполнительной власти в области защиты населения и территорий, осуществляет руководство Единой государственной системой предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, принимает решения о непосредственном руководстве ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций и об оказании помощи в случае их возникновения, определяет порядок привлечения войск Гражданской обороны РФ к ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, а также выполняет ряд других функций.

Органы государственной власти субъектов Федерации осуществляют подготовку и готовность необходимых сил и средств для защиты населения и территорий, обучают население способам защиты и действиям в указанных ситуациях, принимают решения о проведении эвакуационных мероприятий, обеспечивают их проведение, организуют и проводят аварийно-спасательные и другие неотложные работы, а также поддерживают общественный порядок в ходе их проведения и др.

Органы местного самоуправления самостоятельно осуществляют подготовку и готовность необходимых сил и средств для защиты населения и территорий, обучают население способам защиты и действиям в чрезвычайных ситуациях, создают резервы финансовых и материальных ресурсов и т.д.

Для осуществления государственного управления и координации деятельности федеральных органов исполнительной власти в области защиты населения и территорий создается специально уполномоченный федеральный орган исполнительной власти, который создает подведомственные ему территориальные органы.

Ликвидация чрезвычайных ситуаций возложена на:

- службы экстренной помощи и службы ликвидационной помощи Минздрава РФ;

- службы экстренной ветеринарной помощи и службы защиты растений Минсельхозпрода;
- всероссийские службы медицинских катастроф;
- оперативную группу постоянной готовности и противоловинную службу Росгидромета;
- службы противопожарных и аварийно-спасательных работ МВД;
- формирования гражданской обороны;
- подразделения поисково-спасательных служб Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий РФ (МЧС РФ);
- соединения и воинские части химических и инженерных войск Вооруженных Сил;
- службы поискового и аварийно-спасательного обеспечения полетов Гражданской авиации Минтранса России;
- восстановительные и пожарные поезда;
- аварийно-спасательные службы министерств и ведомств.

26.3. Организационные вопросы безопасности труда

За состоянием безопасности труда установлены строгие государственный, ведомственный и общественный надзор и контроль. Государственный надзор осуществляют специальные государственные органы и инспекции, которые в своей деятельности не зависят от администрации контролируемых предприятий. Это Прокуратура РФ, Федеральный горный и промышленный надзор России, Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности, Государственный энергетический надзор РФ, Государственный комитет санитарно-эпидемиологического надзора РФ (Госкомсанэпиднадзор России), Федеральная инспекция труда при Министерстве труда РФ (Рострудинспекция); Министерство РФ по атомной энергии.

Общий надзор за выполнением рассматриваемых законов возложен на Генерального прокурора РФ и местные органы прокуратуры. Надзор за соблюдением законодательства по безопасности труда возложен также на профсоюзы РФ, которые

осуществляют контроль за обеспечением безопасности на производстве через техническую инспекцию труда.

Контроль за состоянием условий труда на предприятиях осуществляют специально созданные службы охраны труда совместно с комитетом профсоюзов. Контроль за состоянием условий труда заключается в проверке состояния производственных условий для работающих, выявлении отклонений от требований безопасности, законодательства о труде, стандартов, правил и норм охраны труда, постановлений, директивных документов, а также проверке выполнения службами, подразделениями и отдельными группами своих обязанностей в области охраны труда. Этот контроль осуществляют должностные лица и специалисты, утвержденные приказом по административному подразделению. Ответственность за безопасность труда в целом по предприятию несут директор и главный инженер.

Ведомственные службы охраны труда совместно с комитетами профсоюзов разрабатывают инструкции по безопасности труда для различных профессий с учетом специфики работы, а также проводят инструктажи и обучение всех работающих правилам безопасной работы. Различают следующие виды инструктажа: вводный, первичный на рабочем месте, повторный внеплановый и текущий.

Вводный инструктаж проводят со всеми рабочими и служащими независимо от профессии до приема на работу, а также с командированными и учащимися, прибывшими на практику. Основные вопросы, затрагиваемые во вводном инструктаже, и примерные затраты времени на их изложение (мин) представлены ниже:

Основные положения законодательства по охране труда	— 10
Правила внутреннего распорядка и режима работы	— 10
Порядок продвижения в зоне производства работ и особые условия труда на отдельных участках	— 10
Общие требования охраны труда на производстве	— 20
Правила электробезопасности	— 10
Требования по пожарной безопасности	— 10
Порядок получения инструмента, спецодежды, спецобуви, предохранительных приспособлений	— 5
Правила производственной санитарии и личной гигиены	— 5
Способы оказания первой доврачебной помощи	— 10
Порядок оформления документов при несчастных случаях на производстве	— 10

Первичный инструктаж на рабочем месте проводит непосредственный руководитель работ перед допуском к работе. Этот вид инструктажа должен сопровождаться показом безопасных приемов работ.

Повторный инструктаж на рабочем месте проводят с работниками независимо от их квалификации, стажа и оплаты работы не реже чем раз в шесть месяцев. Цель этого инструктажа — восстановить в памяти рабочего инструкции по охране труда, а также разобрать конкретные нарушения из практики предприятия.

Неплановый инструктаж на рабочем месте проводят в случае изменения правил по охране труда, технологического процесса, нарушения работниками правил техники безопасности, при несчастном случае, при перерывах в работе — для работ, к которым предъявляются дополнительные требования безопасности труда, — более чем на 30 календарных дней, для остальных работ — 60 дней.

Текущий инструктаж проводят для работников, которым оформляют наряд-допуск на определенные виды работ.

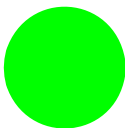
Результаты всех видов инструктажа заносят в специальные журналы. За нарушение всех видов законодательства по безопасности жизнедеятельности предусматривается следующая ответственность:

- *дисциплинарная*, которую накладывает на нарушителя вышестоящее административное лицо (замечание, выговор, перевод на нижеоплачиваемую должность на определенный срок или понижение в должности, увольнение);
- *административная* (подвергаются работники административно-управленческого аппарата; выражается в виде предупреждения, общественного порицания или штрафа);
- *уголовная* (за нарушения, повлекшие за собой несчастные случаи или другие тяжелые последствия);
- *материальная*, которую в соответствии с действующим законодательством несет предприятие в целом (штрафы, выплаты потерпевшим в результате несчастных случаев и др.) или виновные должностные лица этого предприятия.

Контрольные вопросы



1. В каких документах отражены правовые основы природопользования в РФ?
2. Что является главной задачей государственной политики в области охраны труда?
3. В каких документах излагаются правовые основы действий в чрезвычайных ситуациях?
4. Какие нормативные документы регламентируют требования по безопасности труда и экологической безопасности?
5. Как осуществляется контроль за состоянием условий труда на предприятии?
6. Кто несет ответственность за безопасность труда на предприятии?
7. Какие инструктажи по безопасности труда проводят на предприятиях?



Библиографический список к разделам 4—5



1. *Безопасность* жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда). Учебн. пособие для вузов /Кукин П.П., Лапин В.Л., Подгорных Е.А. и др. — М.: Высшая школа, 1999. — 318 с.
2. *Безопасность* жизнедеятельности. Краткий конспект лекций /Под ред. О.Н. Русака. — Л., ВАСОТ, 1991. — 146 с.
3. *Безопасность* жизнедеятельности: Учебн. /Под ред. С.В. Белова. — М.: Высшая школа, 1999. — 448 с.
4. *Безопасность* производственных процессов: Справочник /Белов С.В., Бринза В.Н., Векшин Б.С. и др.; Под ред. С.В. Белова. — М.: Машиностроение, 1985. — 448 с.
5. *Ванюков К.И. и др.* Система предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях: Понятийно-терминологический словарь. — Минск: Полымя, 1992. — 53 с.
6. *Гигиенические* требования к видеодисплейным терминалам, персональным требованиям к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: Сан Пин 2.2.2 542-96. — М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996.
7. *Гофман Дж.* Рак, вызываемый облучением в малых дозах: Независимый анализ проблемы: Пер. с англ./Под ред. Е.Б. Бурлаковой и В.Н. Лысцова. — М.: Социал.-экол. союз, 1994, кн. 1, 2.
8. *Долин П.А.* Справочник по технике безопасности. 6-е изд. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 823 с.
9. *Зубарев Ю.В., Пискунов В.А.* Охрана труда в цветной металлургии. — М.: Металлургия, 1990. — 133 с.
10. *Ковалевский Ю.Н.* Стихийные бедствия и катастрофы. — Рига: Авотс, 1986. — 212 с.
11. *Лушников Е.Ф.* Десятилетие после Чернобыля: последствия аварии и актуальные проблемы радиационной патологии//Архив патологии. — 1997. — № 4. — С. 42—44.

12. *Метрологическое* обеспечение безопасности труда: В 2 т./Под ред. И.Х. Сологына. — М.: Изд-во стандартов, 1989. Т. 1: Измеряемые параметры физических опасных и вредных производственных факторов, 1988; Т. 2: Измеряемые параметры химических, биологических и психофизиологических опасных и вредных производственных факторов, 1989. — 256 с.
13. *Носов В.Б.* Безопасность труда/Под ред. В.В. Амбарцумяна. — М.: Машиностроение, 1994. — 144 с.
14. *Охрана* труда в машиностроении: Учебн./Юдин Е.Я., Белов С.В., Баланцев С.К. и др.; Под ред. Е.Я. Юдина и С.В. Белова. — 2-е изд. — М.: Машиностроение, 1983, 432 с.
15. *Перфильев Б.Н.* Управление в чрезвычайных ситуациях: проблемы теории и практики. — М.: ВИНТИ, 1991. — 202 с. (Итоги науки и техники. Сер. Проблемы безопасности: чрезвычайные ситуации)
16. *Средства* защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: Справочник/Белов С.В., Козьяков А.Ф., Партолин О.Ф. и др. /Под ред. С.В. Белова. — М.: Машиностроение, 1989. — 368 с.