

Р. И. Сольницев  
Г. И. Коршунов

# Системы управления «природа – техногеника»

САУ



Электронный аналог печатного издания: Системы управления “природа — техногеника” / Сольницев, Р. И., Коршунов Г. И. — СПб. : Политехника, 2013. — 205 с. : ил.

УДК 658.512.011.56  
ББК 32.965  
С60



**ПОЛИТЕХНИКА**  
**ИЗДАТЕЛЬСТВО**

Санкт-Петербург 2013

[www.polytechnics.ru](http://www.polytechnics.ru)

**Сольницев, Р. И., Коршунов, Г. И.**

**С60 Системы управления “природа — техногеника”/Сольницев Р. И., Коршунов Г. И. — СПб.: Политехника, 2013. — 205 с.: ил.**

**ISBN 978-5-7325-1013-3**

В книге рассмотрены концепция, ключевые вопросы, теория и практическая реализация замкнутых систем управления “природа—техногеника” (ЗСУПТ), главной задачей которых является минимизация загрязняющих веществ в природе, снижение влияния или исключение “человеческого фактора”. Излагаются общие принципы построения систем управления “природа—техногеника” (СУПТ), рассматриваемых как системы автоматического управления (САУ), математические модели объекта управления, методы анализа и синтеза ЗСУПТ. Подробно рассмотрены важнейшие звенья ЗСУПТ — измерительные устройства ЗВ и очистные агрегаты, а также аппаратно-программные комплексы, реализующие ЗСУПТ. Уделено внимание вопросам инновационного развития, в том числе нормативно-экономического обоснования проекта.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников, занимающихся вопросами создания средств экологического и природоохранного направления, а также будет полезна аспирантам и студентам старших курсов технических вузов соответствующих специальностей.

**УДК 658.512.011.56**

**ББК 32.965**

ISBN 978-5-7325-1013-3

© Издательство «Политехника», 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Принятые сокращения .....	5
Предисловие.....	6
Введение.....	10
<b>Глава 1. “Природа—техногеника” и ее управления .....</b>	<b>13</b>
1.1. Проблемы загрязнения окружающей среды.....	13
1.1.1. Общее состояние системы “природа—техногеника”... ..	13
1.1.2. Виды техногенных воздействий и их мониторинга ... ..	16
1.2. Разомкнутые системы управления “природа—техногеника” (СУПТ).....	33
1.3. Замкнутые системы управления “природа—техногеника” (ЗСУПТ) .....	38
<b>Глава 2. Математические модели СУПТ .....</b>	<b>46</b>
2.1. Обобщенные модели СУПТ — операторные уравнения ... ..	46
2.2. Модели объектов управления для различных сред — распре- деленные системы .....	47
2.3. Приведение моделей распределенных систем к форме “вход- выход”.....	58
2.4. Модели одномерных СУПТ .....	66
2.5. Модели многомерных СУПТ .....	71
<b>Глава 3. Синтез управлений в ЗСУПТ.....</b>	<b>76</b>
3.1. Управления в одномерных системах .....	76
3.2. Управления в многомерных системах.....	80
3.3. Инвариантные управления .....	82
<b>Глава 4. Моделирование ЗСУПТ.....</b>	<b>86</b>
4.1. Подсистема САПР ЗСУПТ “Моделирование” .....	86
4.2. Моделирование одномерной ЗСУПТ.....	92
4.3. Моделирование многомерной ЗСУПТ.....	105
<b>Глава 5. Средства измерений загрязнений окружающей среды ....</b>	<b>112</b>
5.1. Измерение загрязнений воздушной среды .....	112
5.2. Измерение загрязнений водной среды .....	123
5.3. Измерение параметров коррозии подземных металличе- ских объектов .....	125
<b>Глава 6. Средства очистки от загрязняющих веществ .....</b>	<b>132</b>
6.1. Способы очистки воздуха от газообразных загрязняющих веществ (ЗВ) .....	132

6.2. Агрегаты для очистки воздушной среды .....	141
6.3. Способы очистки водной среды .....	151
<b>Глава 7. Аппаратно-программные комплексы ЗСУПТ .....</b>	<b>158</b>
7.1. Состав аппаратно-программных комплексов .....	158
7.2. Микропроцессорные измерительные и контролирующие устройства.....	163
7.3. Мобильные носители датчиков ЗВ.....	177
7.4. Распределенные вычислительные сети в ЗСУПТ .....	179
<b>Глава 8. ЗСУПТ как инновационный проект .....</b>	<b>184</b>
8.1. Проблемы инвестирования в инновационные проекты ...	184
8.2. Экономические аспекты проектирования и реализации ...	185
8.3. Нормативно-правовое обоснование .....	192
8.4. Инновационное развитие.....	195
Список литературы .....	201

## Глава 1. “ПРИРОДА—ТЕХНОГЕНИКА” И ЕЕ УПРАВЛЕНИЯ

### 1.1. ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

#### 1.1.1. *Общее состояние системы “природа—техногеника”*

В экологии исследуются взаимоотношения между человеком и природой, механизмы техногенных и антропогенных воздействий на экосистемы, формирование экологических критериев и нормативов в различных областях человеческой деятельности, законы формирования техносферы и способы инженерной защиты природной среды.

Экосистемы применимы к объектам разной сложности и размеров и описывают взаимодействия живых организмов с неорганическими элементами окружающей среды, такими, как земля и вода, солнечное излучение, атмосферные осадки, минеральные скопления, температура и рельеф. В идеальном случае экосистемы со сбалансированной жизнедеятельностью могут приближаться к замкнутой системе, обменивающейся с окружающей средой только энергией. Однако в естественных условиях длительное существование экосистем возможно при притоке из окружающей среды не только энергии, но и большего или меньшего количества вещества.

Совокупность существующих экосистем образует биосферу Земли — ее оболочку, основная роль в формировании которой принадлежит живым организмам.

Под техносферой понимают совокупность элементов среды в пределах географической оболочки Земли, созданных из природных веществ трудом и сознательной волей человека и не имеющих аналогов в девственной природе. Техногенные воздействия на экосистемы возникают в результате выполнения технологических процессов.

Взаимодействие экосистем биосферы и техносферы осуществляется по различным сценариям — от гармоничного до катастрофического и для разных видов объектов. Авторы книги не претендуют на рассмотрение всех аспектов таких взаимодействий, представленных, например, в работе [1], и ограничиваются наиболее актуальным случаем — взаимодействием экосистем природной среды (природа) с результатами выполнения технологических процессов промышленны-

ми предприятиями (техногеника). Характер взаимодействия описывается параметрически в системе “природа — техногеника”, где процесс обмена энергией и веществом является предметом целенаправленного управления.

Основными составляющими экологической опасности считаются нарушение равновесия экосистемы в целом и отдельных ее составляющих: биологических, геофизических, геохимических.

Среди нарушителей этого равновесия все большее значение приобретают *техногенные воздействия*, которые выливаются в *техногенные катастрофы*, особенно на теплоэнергетических, космических, химических, металлообрабатывающих предприятиях, предприятиях по добыче и обработке энергоносителей, на транспорте.

Выбросы, сбросы и твердые отходы предприятий — источников загрязняющих веществ (ИЗВ) становятся предметом пристального изучения учеными и специалистами традиционных направлений. Объединение усилий этих специалистов и представителей технических специальностей является, на наш взгляд, наиболее эффективным подходом для решения проблем загрязнения окружающей среды. Изучение, анализ теории и практики, дискутирование и выработка решений на МНТК ICHS, периодически проводимых в 1996–2007 гг., позволили акцентировать эти проблемы на наиболее опасных для жизнедеятельности на земле направлениях.

Так, в работах директора Центра независимой экологической экспертизы СПб НЦ РАН В. В. Худолея [2] приводятся конкретные данные по влиянию “грязной дюжины” — 12 приоритетных стойких органических загрязнителей (СОЗ). Наиболее опасными считаются суперэкоотоксиканты диоксины/фураны и полихлорированные бифенилы (ПХБ).

Последствия воздействия СОЗ на человека и окружающую среду весьма значительны, достаточно отметить, что, по данным ВОЗ, 75–90 % онкологических болезней возникают под влиянием СОЗ и сопутствующих экологически опасных факторов. Основные из них следующие:

- недостаточная измерительная база, потребность в разработке специальных средств измерений повышенной точности и чувствительности, позволяющей обнаруживать суперэкоотоксиканты на уровне  $10^{-12}$  г/мл;
- разнорядностью в нормативах оценок в России и зарубежных странах;

- отсутствие технологий и технических решений, включающих попадание диоксинов в окружающую среду; мусоросжигательные заводы (МСЗ) считаются главными источниками диоксинов в Западной Европе, США, Японии и других промышленных странах; сжигание отходов при принятой на МСЗ температуре, равной 1200 °С, не решает проблемы — требуется более высокая температура или другие технологии;

- отсутствие или недостаточность информации об объемах и количественной оценке источников эмиссий в окружающую среду.

В работах директора Главного управления природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР РФ по СПб и ЛО О. С. Лебеда и его соавторов [3] отмечается: “Согласно европейскому статистическому агентству по охране окружающей среды, ежегодно в Европе образуются 1,2 млрд т отходов, 40 млн т из которых считаются токсичными; 67 % отходов сжигаются или размещаются на полигонах; отсутствующая или неправильная система управления этими процессами приводит к нарастанию пагубного влияния способов ликвидации отходов 1-го — 2-го классов на окружающую среду”. В работах [4–6] вскрываются аналогичные проблемы в целлюлозно-бумажной промышленности, системе очистки водных акваторий, автотранспортной системе.

Многочисленные примеры техногенного вторжения в природную среду, спровоцированные неучетом географии местности, климата, метеорологической обстановки и других особенностей мест проживания, грубых ошибок администрации приводятся в работах главного архитектора ФГУП “РосНИИ Урбанистики” Л. Н. Путермана [7].

Основными концепциями при организации борьбы с ЗВ, вырабатываемыми на представительных совещаниях, конгрессах, конференциях, являются:

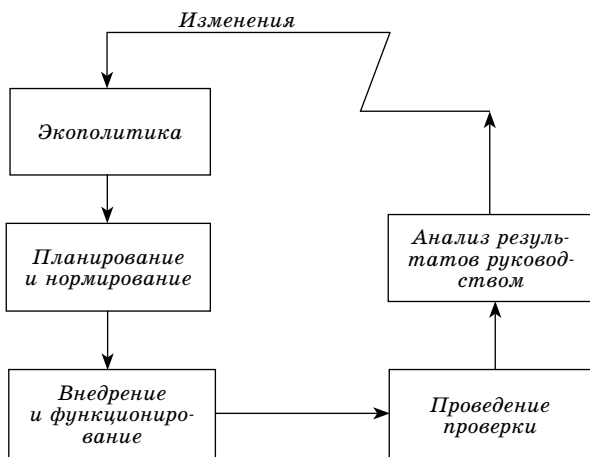
- наилучшая существующая технология (BEST AVAILABLE technology) по основной продукции;

- снижение критической нагрузки (critical load) на природу;

- “загрязняющий платит” (Waister pays).

В соответствии с перечисленными проблемами необходимость управления в системе “природа—техногеника” становится очевидной.

В настоящее время разработана и действует административная система управления, которая имеет вид, пред-



**Рис. 1.1.** Функциональная схема административной системы управления

ставленный на рис. 1.1. Как следует из приведенной схемы, преобладает в ней “человеческий фактор”.

### 1.1.2. Виды техногенных воздействий и их мониторинга

Принятые во всем мире методы оценки техногенных воздействий на природу основываются на параметрическом представлении физических величин и сравнении их с установленными предельными значениями.

В России нормативная база для оценки техногенных воздействий на объекты природы устанавливается законодательно техническими регламентами, требования в которых гармонизированы с международными, а при их отсутствии — федеральными и отраслевыми стандартами и руководящими документами различных уровней.

Количественные оценки загрязняющих веществ в виде предельно допустимых сбросов (ПДС), предельно допустимых выбросов (ПДВ), а также ориентировочные и временные нормы рассчитываются на основе *предельно допустимых концентраций* (ПДК). Для электромагнитных воздействий введены допустимые уровни (ДУ). Для оценки влияния техногенных воздействий на искусственно созданные объекты также введены предельные значения (например, для защиты



от коррозии подземных металлических сооружений — диапазон изменения защитного потенциала, и т. д.).

ПДК — предельная допустимая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе — концентрация, не оказывающая в течение всей жизни прямого или косвенного неблагоприятного действия на настоящее или будущее поколение, не снижающая работоспособности человека, не ухудшающая его самочувствия и санитарно-бытовых условий жизни. В Российской Федерации, как и во всем мире, для загрязняющих веществ, как правило, установлены два норматива ПДК: 1) норматив, рассчитанный на короткий период воздействия загрязняющих веществ — *“предельно допустимые максимальные разовые концентрации”*; 2) норматив, рассчитанный на более продолжительный период воздействия (8 ч, сутки, по некоторым веществам — год), в Российской Федерации данный норматив устанавливается для 24 ч и называется *“предельно допустимые среднесуточные концентрации”*.

Расчет максимальных разовых ПДК опирается на значение порогов рефлекторного действия, а среднесуточные концентрации учитывают главным образом резорбтивные пороги (резорбция — поглощение, всасывание). Разработка ПДК основывается на *лимитирующем показателе вредности загрязняющего вещества*, который характеризует направленность биологического действия вещества: рефлекторное и резорбтивное. Под *рефлекторным действием* понимается реакция со стороны рецепторов верхних дыхательных путей — ощущение запаха, раздражение слизистых оболочек, задержка дыхания и т. п. Указанные эффекты возникают при кратковременном воздействии вредных веществ, поэтому рефлекторное действие лежит в основе установления максимальной разовой ПДК. Под *резорбтивным действием* понимают возможность развития общетоксических, гонадотоксических, эмбриотоксических, мутагенных, канцерогенных и других эффектов, возникновение которых зависит не только от концентрации вещества в воздухе, но и длительности его вдыхания. С целью предупреждения развития резорбтивного действия устанавливается среднесуточное значение ПДК. В том случае, когда порог токсического действия оказывается менее чувствительным, чем порог рефлекторный, то ведущим в обосновании среднесуточных ПДК является порог рефлекторного воздействия.

В подобных случаях среднесуточные и максимальные разовые значения ПДК совпадают. Для ряда веществ, для которых резорбтивный порог в настоящее время не представляется достаточно ясным, отсутствует среднесуточное значение ПДК атмосферных загрязнений.

Ориентировочные значения максимальных разовых ПДК атмосферных загрязнений вывел Ю. А. Кротов [8] в виде формулы простой линейной регрессии на основании знания порогов обонятельного ощущения, изменений световой чувствительности глаза или биоэлектрической активности коры головного мозга. В качестве исходной переменной величины в формуле (1.1) были привлечены данные о порогах обонятельного ощущения:

$$\lg ПДК_{м.р} = 0,96 \lg x_1 - 0,51, \quad (1.1)$$

где  $x_1$  — порог обоняния для наиболее чувствительных лиц, в мг/м<sup>3</sup>.

Световая чувствительность глаза учитывается по формуле

$$\lg ПДК_{м.р} = 0,93 \lg x_2 - 0,45, \quad (1.2)$$

где  $x_2$  — порог световой чувствительности глаза, в мг/м<sup>3</sup>.

При сравнении пороговых данных, полученных в результате изменения биоэлектрической активности коры головного мозга, получена формула

$$\lg ПДК_{м.р} = 0,97 \lg x_3 - 0,23. \quad (1.3)$$

Для малотоксичных веществ, обладающих выраженным рефлекторным действием, используют простое линейное уравнение, имеющее в качестве переменной величины порог обонятельного ощущения. В тех случаях, когда нет достоверных данных для включения их в расчетные уравнения, используют данные по среднесмертельным концентрациям.

Кроме боевых отравляющих веществ и 39 веществ, выброс которых в атмосферный воздух запрещен, с учетом современной международной терминологии введен термин “аварийно химически опасное вещество (АХОВ)”. Это опасное химическое вещество, применяемое в промышленности и сельском хозяйстве, при аварийном выбросе (розливе) которого может произойти заражение окружающей среды в поражающих живой организм концентрациях (токсодозах). АХОВ охватывают только ту группу веществ, которая может представлять опасность в аварийных ситуациях. По

возможному пути проникновения в организм человека АХОВ подразделяются на следующие разновидности:

- ингаляционного действия (АХОВ ИД) — при поступлении через органы дыхания;
- перорального действия (АХОВ ПД) — при поступлении через рот;
- кожно-резорбтивного действия (АХОВ КРД) — при воздействии через неповрежденную кожу.

Аварийно химически опасное вещество ингаляционного действия — такое аварийно химически опасное вещество, при выбросе (розливе) которого может произойти массовое поражение людей ингаляционным путем.

В табл. 1.1 приведен перечень некоторых важнейших групп приоритетных загрязнителей воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользова-

Таблица 1.1

*ПДК и класс опасности вредных химических веществ в воде — природной (всех видов), сточной и морской*

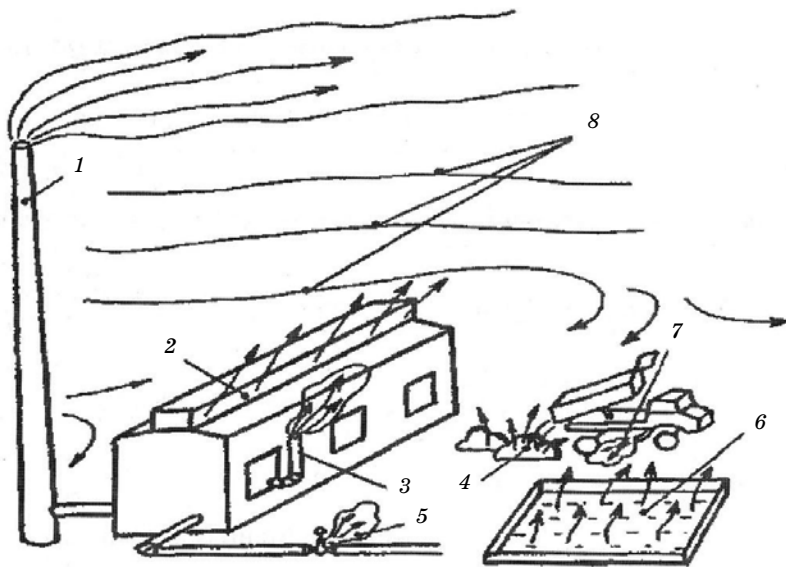
№ п/п	Загрязняющее вещество	ПДК, мг/л СанПиН	Рыбхоз	Класс опасности
1	Алюминий (Al <sub>3</sub> )	0,5	0,04	2
2	Аммоний-ион (NH <sub>4</sub> )	2,0	0,5	3
3	Бенз(а)пирен	0,000005	—	1
4	Железо (Fe, суммарно)	0,3	0,1	3
5	Медь (Cu, суммарно)	1,0	0,01	3
6	Мышьяк (As, суммарно)	0,05	0,05	2
7	Нефтепродукты, суммарно	0,1	0,05	4
8	Нитраты (по NO <sub>3</sub> )	45,0	40,0	3
9	Нитриты (по NO <sub>2</sub> )	3,0	0,08	2
10	АПАВ	0,5	0,1	3
11	КПАВ	—	—	3
12	Полихлорированные бифенилы (сумма компонентов)	0,001	—	1–2
13	Свинец (Pb, суммарно)	0,03	0,006	2
14	Сульфаты (по SO <sub>4</sub> )	500,0	100,0	4
15	Сульфиды	3,0	0,01	3
16	Фенолы (фенольный индекс)	0,25	0,001	4
17	Полифосфаты (PO <sub>4</sub> )	3,5	2,0	3
18	Фториды (F <sup>-</sup> )	1,5	0,05	2
19	Хлориды (Cl <sup>-</sup> )	350,0	300,0	4
20	Хром(Cr <sub>6</sub> <sup>+</sup> )	0,05	0,02	3
21	Цинк(Zn <sub>2</sub> <sup>+</sup> )	5,0	0,01	3

ния с указанием их ПДК и класса опасности: 1-й класс — чрезвычайно опасные; 2-й класс — высокоопасные; 3-й класс — опасные; 4-й класс — умеренно опасные, а также приведены значения ПДК согласно перечню предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов.

Техногенные источники загрязнения атмосферного воздуха, представленные главным образом выбросами промышленных предприятий и автотранспорта, многочисленны (рис. 1.2) [9].

Источники выбросов промышленных предприятий бывают *стационарными* (1—6, см. рис. 1.2), когда координата источника выброса не изменяется во времени, и *передвижными*, нестационарными 7.

Источники выбросов в атмосферу подразделяют на точечные, линейные и площадные. Каждый из них может



**Рис. 1.2.** Источники загрязнения атмосферы:

1 — высокая дымовая труба; 2 — аэрационный фонарь цеха; 3 — низкая дымовая труба; 4 — пыление при разгрузке сыпучих материалов; 5 — утечки через неплотности оборудования; 6 — испарения с поверхности бассейна; 7 — выхлопная труба автомобиля; 8 — направление движения потоков воздуха

быть затененным и незатененным. *Точечные источники* (1, 3, 5, 7) — это загрязнения, сосредоточенные в одном месте. К ним относятся дымовые трубы, вентиляционные шахты, крышные вентиляторы. *Линейные источники* (2) имеют значительную протяженность. Это аэрационные фонари, ряды открытых окон, близко расположенные крышные вентиляторы. К ним могут быть также отнесены автотрассы. *Площадные источники* (4, 6) — это загрязнения, рассредоточенные по плоскости промышленной площадки предприятия.

В основе требований ВОЗ к качеству воздуха (табл. 1.2) лежит охрана здоровья человека. Различные периоды усреднения отражают потенциальное воздействие загрязнителей на здоровье человека; загрязнители, на которые установлены нормативы с краткосрочным базисным периодом, оказывают быстрое воздействие на состояние здоровья, а те из них, которые имеют долговременный (годовой) отчетный период, связаны с хроническим вредным воздействием. В целях охраны здоровья значения ни по одному из стандартов не должны быть превышены. Чем выше концентрация, тем более ограниченным должен быть период воздействия на объект. Напротив, при более низкой концентрации загрязняющего вещества период воздействия может продлеваться. Различают следующие характеристики:

- СИ — стандартный индекс — наибольшая измеренная разовая концентрация примеси, деленная на ПДК;

- НП — наибольшая повторяемость (%) превышения ПДК по данным наблюдений на одном посту (за одной примесью) или на всех постах района за всеми примесями за месяц или за год;

- ИЗА — комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий несколько примесей и представляющий собой сумму концентраций выбранных загрязняющих веществ в долях ПДК;

- НМУ — неблагоприятные метеорологические условия;

- Инверсия — смещение охлажденных слоев воздуха вниз и скопление их под теплыми слоями воздуха; инверсия ведет к снижению рассеивания загрязняющих веществ и увеличению их концентраций в приземной части атмосферы.

В крупных промышленных центрах степень загрязнения атмосферного воздуха может в ряде случаев превысить нормативные значения. Характер временной и пространственной изменчивости концентраций вредных веществ в атмосферном

Таблица 1.2

*Значения предельно допустимых концентраций основных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в России, США, странах ЕС и по требованиям ВОЗ*

Загрязняющее вещество	Время осреднения	Значение ПДК, мг/м <sup>3</sup>			
		Россия	США	Страны ЕС	ВОЗ
СО	15 мин	–	–	–	100
	30 мин	5	–	–	60
	1 ч	–	40	–	30
	8 ч	–	10	10	10
	24 ч	3	–	–	–
NO <sub>2</sub>	30 мин	0,2	–	–	–
	1 ч	–	–	0,2 (не должна быть превышена более чем 18 раз за год)	0,2
	24 ч	0,04	–	0,125 (не должна быть превышена более чем 3 раза за год)	–
	Средняя за год	–	0,1	0,04	0,4
O <sub>3</sub>	30 мин	0,16	–	–	–
	1 ч	–	0,235	–	–
	8 ч	–	0,157	–	0,12
	24 ч	0,03	–	–	–
SO <sub>2</sub>	10 мин	–	–	–	0,5
	30 мин	0,5	–	–	–
	1 ч	–	–	0,350 (не должна быть превышена более чем 24 раз за год)	–
	24 ч	0,05	0,365	0,125 (не должна быть превышена более чем 3 раза за год)	0,125
	Средняя за год	–	0,08	0,02	0,05
PM10*	30 мин	–	–	–	–
	24 ч	–	0,15	0,05 (не должна быть превышена более чем 3 раза за год)	–
	Средняя за год	–	0,08	0,02	0,05
Бензол	30 мин	0,3	–	–	–
	24 ч	0,01	–	–	–
	Средняя за год	–	–	0,005	–

Примечание. Установленные в России ПДК для кратковременных и длительных воздействий для большинства загрязняющих веществ строже стандартов качества воздуха, рекомендованных ВОЗ и установленных директивами стран ЕС.

\*PM10 — взвешенные частицы размером менее 10 мкм, способные легко проникать в легкие человека и накапливаться в них.

воздухе определяется различными факторами. Знание закономерностей формирования уровней загрязнения атмосферного воздуха, тенденций их изменения является крайне необходимым для обеспечения требуемой чистоты воздушного бассейна. Основой для выявления закономерностей служат наблюдения за состоянием загрязнения воздушного бассейна. От возможностей и качества проводимых наблюдений зависит эффективность всех воздухоохраных мероприятий.

Загрязнения и техногенные воздействия, приводящие к загрязнению почвы и коррозионному разрушению подземных сооружений, также требуют тщательного анализа.

Рассмотрим подробнее в качестве объекта техногенного воздействия на природу протяженные металлические объекты — газопроводы, теплопроводы, водопроводы, золопроводы, мусоропроводы и силовые кабели, которые подвержены коррозии. Эти типы объектов характеризуются территориально-пространственной рассредоточенностью, значимостью для жизнеобеспечения городов, наличием большого количества параметров, а также их подверженностью коррозии.

В задаче контроля и электрохимической защиты (ЭХЗ) от коррозии основным параметром является поляризационный потенциал. Создание и поддержание необходимого значения поляризационного защитного потенциала на внешней поверхности объекта достигается путем наложения внешнего выпрямленного тока. Значение *поляризационного защитного потенциала*  $\varphi$  служит количественной мерой качества катодной защиты, а критерием защищенности в каждой точке является выполнение условия  $\varphi_{\min} \leq \varphi \leq \varphi_{\max}$ . Выполнение этого условия обеспечивается применением средств ЭХЗ, включающих, в частности, при применении катодной защиты электрод сравнения, датчик потенциала, анодное заземление, источник постоянного тока (преобразователь тока промышленной частоты в выпрямленный ток), средства сбора, формирования и интерпретации данных о значении поляризационного потенциала. В существующей технологии применяются неавтоматизированные, частично или полностью автоматизированные средства стабилизации поляризационного потенциала.

В условиях электрохимической коррозии металлы чаще всего находятся не в растворах их солей, а в растворах других электролитов, поэтому в образовании двойных электрических слоев на границе “металл—раствор” могут принимать участие также катионы других металлов или ионы водорода

[10]. В таких случаях возникают неравновесные слои, у которых число катионов металла, перешедших в раствор, не равно числу его катионов, вернувшихся на поверхность металла. Но если баланс между числом зарядов, потерянных металлом, и числом зарядов, вновь им приобретенных, все же устанавливается, то установившийся потенциал будет отличаться от нормального. Данный потенциал называют *стационарным*.

Далее приведены материалы, описывающие некоторые механизмы коррозии [10]. Стационарный потенциал стали в почвах и скорость анодной и катодной реакций зависят от влажности почвы, кислородной проницаемости, химического состава и др. Стационарный потенциал трубопроводной стали во влажной и глинистой почве имеет более отрицательное значение, чем в песчаной. В первом случае его значение может составлять до  $-0,7...-0,8$  В, во втором случае — до  $-0,3...-0,4$  В (по отношению к медносульфатному электроду сравнения). В результате образования на отдельных участках трубопровода различных стационарных потенциалов возникают макропары, образование которых приводит к изменению первоначальных значений этих потенциалов.

Если электролит представляет собой жидкость, то границу фаз можно легко достичь при помощи электрода сравнения. Однако на проложенных под землей трубопроводах измерение на границе фаз (например, в месте повреждения покрытия) невозможно. При измерении на поверхности земли целый ряд воздействующих значений искажает величину потенциала без омической составляющей. На рис. 1.3 показана эквивалентная схема электрического обнаружения дефекта покрытия на катодно-защищенном трубопроводе с помощью контрольно-измерительного комплекса (КИК). С одной стороны здесь имеется источник напряжения (он моделирует потенциал на границе фаз), с другой стороны — сопротивление растеканию, где блуждающие токи, защитный и уравнительный токи вызывают падение напряжения.

На практике в грунте протекает не только защитный (постоянный) ток рассматриваемого катодно-защищенного объекта. Пользователи других установок постоянного тока также используют грунт в качестве проводника, вызываемые при этом токи определяются как блуждающие. Существенными источниками блуждающих токов являются другие катодно-защищенные объекты, потребляющие постоянный



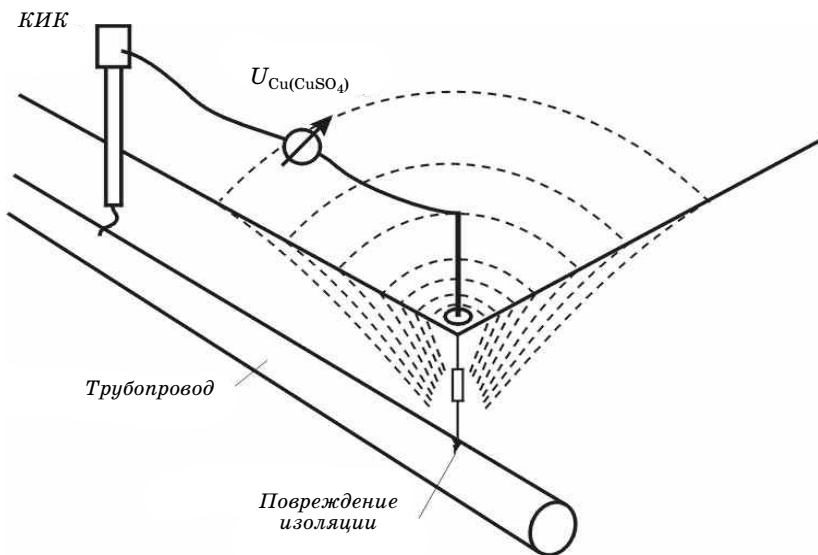


Рис. 1.3. Схема обнаружения дефекта покрытия

ток. Основными источниками являются рельсовые сети электрифицированной железной дороги, а также линии электропередач постоянного тока (ЛЭП ПТ) и катодные установки.

Наиболее мощными и распространенными из названных источников блуждающих токов являются линии электрифицированных железных дорог. Так как электроснабжение их принципиально одинаково, то и процессы возникновения в земле блуждающих токов от этих источников одинаковы.

Известно, что положительный полюс источника питания на электрических железных дорогах постоянного тока подключается к контактному проводу, а отрицательный — к ходовым рельсам. При такой схеме тяговый ток от положительной шины тяговой подстанции по питающей линии поступает в контактный провод, а оттуда через токоприемник — к двигателям электровоза или мотор-вагонной секции и далее через колесные пары, рельсы и землю — в отсасывающую линию к минусовой шине. Ток, стекающий в землю, который и называют блуждающим, тем больше, чем меньше переходное сопротивление между рельсами и землей и чем больше продольное сопротивление рельсов. В некоторых случаях величина блуждающих токов в земле может достигать 70–80 % от общей величины тягового тока.

Наиболее значительные токи утечки наблюдаются на участках станционных путей электрифицированных железных дорог, где имеются малые переходные сопротивления между рельсами и землей и существенные значения тяговых токов. Блуждающие токи, возникающие при этом, могут распространяться на большие расстояния. Отмечены случаи, когда влияние блуждающих токов было зарегистрировано на расстоянии до 30 км от линии железной дороги.

Распределение блуждающих токов в земле зависит от потенциалов металла рельс относительно окружающей земли. На всех источниках блуждающих токов имеются участки, где ток стекает в землю, и участки, где ток возвращается к источнику тока.

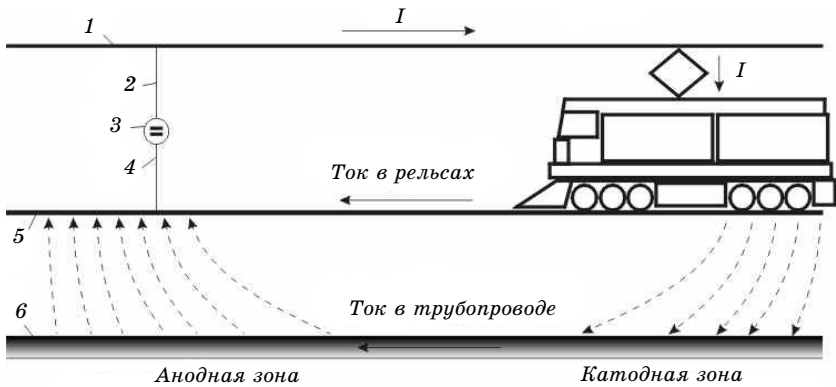
Распределение потенциальных зон на рельсах электрифицированной железной дороги, трамвая и метрополитена имеет общие закономерности (рис. 1.4). В районе расположения отсасывающего пункта тяговой подстанции потенциал “рельс—земля” отрицательный, т. е. рельсы находятся в катодной зоне. На перегоне, между тяговыми подстанциями или же отсасывающими пунктами, потенциал “рельс—земля” знакопеременный. Максимальное значение положительного потенциала наблюдается примерно в середине перегона.

Возникновение блуждающих токов в земле при работе линии электропередачи постоянного тока происходит по следующей схеме (рис. 1.5).

Переменный ток в выпрямителе преобразуется в постоянный, передается на линию, в которой одним из токопроводов является земля. Заземление полюсов на выпрямительной и инверторной (преобразующей постоянный ток в переменный) подстанциях осуществляется при помощи специально оборудуемых рабочих заземлений малого сопротивления. Через эти заземления протекает весь ток нагрузки ЛЭП, который может достигать сотен и тысяч ампер. В процессе работы ЛЭП может происходить перемена полярности заземлений, поэтому следует учитывать возможность протекания тока по земле как в одном, так и в другом направлениях.

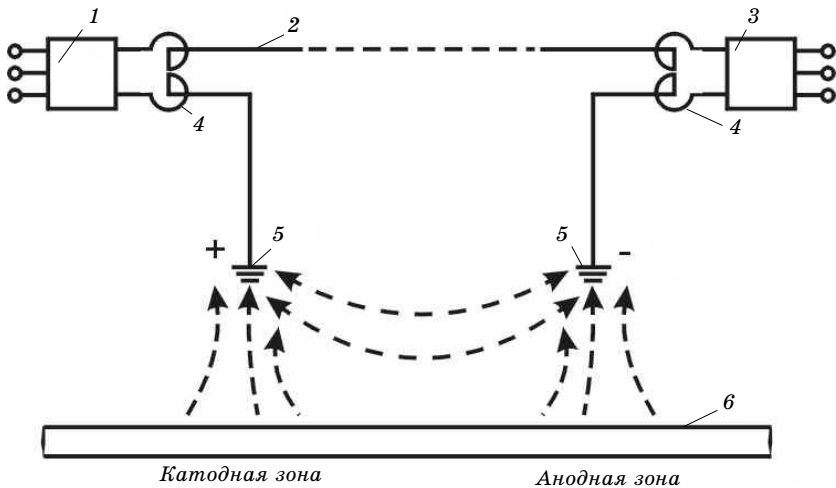
Определение количественных характеристик ЗВ и других техногенных воздействий достигается применением процессов контроля и мониторинга. *Мониторинг* — специально организованное систематическое наблюдение за состоянием объектов, явлений, процессов с целью их оценки, контроля или прогноза.

Основная сфера практического применения мониторинга — информационное обслуживание управления в предмет-



**Рис. 1.4.** Схема возникновения блуждающих токов от электрифицированного транспорта и влияние их на нефтепровод:

1 — контактный провод; 2 — питающая линия; 3 — тяговая подстанция; 4 — дренажная линия; 5 — рельсы; 6 — нефтепровод



**Рис. 1.5.** Схема возникновения и влияния блуждающих токов при работе линии электропередачи постоянного тока системы “провод—земля”:

1 — выпрямитель; 2 — кабельная или воздушная линия; 3 — инвертор; 4 — реакторы; 5 — рабочие заземления; 6 — нефтепровод

ных областях деятельности. Достаточно глубоко проработан его методологический аппарат, созданы средства измерения, адекватные поставленным задачам, существует отлаженная система реализации мониторинга, включающая в себя сбор,

хранение, обработку и распространение получаемой информации, статус его закреплен на законодательном уровне.

*Экологический мониторинг* — это информационная система наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды, созданная с целью выделения антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов [11]. Блок-схема мониторинга приведена на рис. 1.6.

Система экологического мониторинга должна накапливать, систематизировать и анализировать информацию:

- о состоянии окружающей среды;
- о причинах наблюдаемых и вероятных изменений состояния (т. е. об источниках и факторах воздействия);
- о допустимости изменений и нагрузок на среду в целом; о существующих резервах биосферы.

В соответствии с приведенными определениями и возложенными на систему функциями мониторинг включает три основных направления деятельности лиц, принимающих решения (ЛПР):

- 1) наблюдения за факторами воздействия и состоянием среды;
- 2) оценку фактического состояния среды;
- 3) прогноз состояния окружающей природной среды и оценку прогнозируемого состояния.

Следует принять во внимание, что сама система мониторинга не включает деятельность по управлению качеством среды, но является источником информации, необходимой

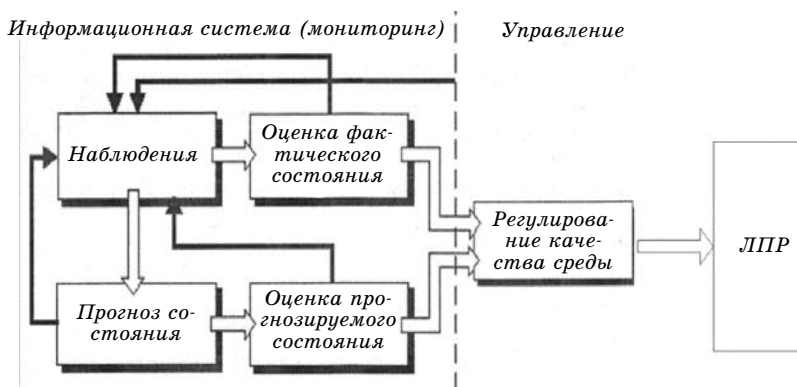


Рис. 1.6. Блок-схема системы мониторинга:

⇨ — прямая связь; ⇩ — обратная связь