

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Под общей ред. И.К. Леденева

*Рекомендовано УМО «Ядерные физика и технологии»
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений*

Москва 2007

УДК 621.039.58(075)+539.1.04(075)

ББК 31.4я7+22.383я7

О-75

Основы безопасности жизнедеятельности: учебное пособие / Е.А. Крамер-Агеев, В.В. Костерев, И.К. Леденев, С.Г. Михеенко, Н.Н. Могиленец, Н.И. Морозова, С.И. Хайретдинов; под общей ред. И.К. Леденева. – М.: МИФИ, 2007. – 328 с.

Изложены основы курса «Безопасность жизнедеятельности», читаемого студентам МИФИ. В пособии даны базовые понятия безопасности жизнедеятельности, приведена классификация опасностей, освещены вопросы моделирования опасных ситуаций математическими методами. Подробно рассмотрены вопросы радиационной опасности и радиационной защиты в чрезвычайных ситуациях (ЧС) техногенного характера, даны основы электробезопасности, а именно: действие электрического тока на человека, условия поражения электрическим током, способы обеспечения электробезопасности. Изложена проблема пожаро- и взрывоопасности, описаны процессы горения, перечислены пожароопасные свойства материалов, приведены основные нормы и правила пожарной безопасности. Даны начальные представления о ЧС. Рассмотрены ЧС химического происхождения, ЧС природного происхождения: наводнения, метеорологические ЧС и землетрясения, а также опасности в условиях войны. Разобраны вопросы гражданской защиты населения в условиях военных действий и мирного времени. Приведена структура РСЧС – инструмента МЧС РФ. В пособии даны типичные задачи или контрольные вопросы к излагаемому материалу. В приложении к пособию приведен материал, облегчающий понимание учебного пособия и позволяющий подготовить студентов для решения задач в повседневной жизни.

Предназначено для студентов, изучающих курс «Безопасность жизнедеятельности», а также может быть полезно аспирантам и инженерам, специализирующимся в различных областях промышленности и курирующим вопросы безопасности.

Пособие подготовлено в рамках Инновационной образовательной программы.

Рецензент проф. П.М. Нечай

ISBN 978-5-7262-0847-3

© *Московский инженерно-физический институт
(государственный университет), 2007*

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие.....	5
Глава 1. Концептуальные вопросы безопасности жизнедеятельности.....	6
1.1. Фактор опасности жизнедеятельности и его значимость	6
1.2. Начальные представления о безопасности жизнедеятельности.....	11
1.3. Классификация опасностей.....	14
1.4. Количественные меры вредоносности опасностей	18
1.4.1. Ущерб.....	19
1.4.2. Риск.....	21
1.5. Математические модели потоков опасных случаев.....	28
1.6. Прогнозирование опасных ситуаций и событий методом математического моделирования	36
1.7. Элементы теории надежности	43
1.8. Государственное нормативно-правовое обеспечение БЖД.....	63
Задачи	69
Глава 2. Радиационная безопасность	73
2.1. Радиационная опасность – фактор жизнедеятельности современного общества.....	73
2.2. Ионизирующее излучение и источники его образования.....	75
2.3. Дозовые характеристики радиационного воздействия	81
2.4. Биологическое действие и предельно допустимые уровни ионизирующих излучений.....	87
2.5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)	92
2.6. Радиационная защита в ЧС техногенного характера.....	99
2.6.1. Радиационная опасность техногенного характера.....	99
2.6.2. Характеристика радиационно опасных объектов	101
2.6.3. Классификация радиационных аварий	108
2.6.4. Фазы развития радиационных аварий.....	113
2.6.5. Перечень мероприятий радиационной защиты и их содержание.....	114
Задачи	127
Контрольные вопросы.....	129
Глава 3. Основы электробезопасности	130
3.1. Действие электрического тока на организм человека.....	130
3.2. Условия поражения человека электрическим током	134
3.3. Случай однофазной ЛЭП.....	136
3.4. Трехфазная четырехпроводная ЛЭП с глухозаземленной нейтралью....	139
3.5. Трехфазная ЛЭП с изолированной нейтралью	140
3.6. Опасность поражения при стекании тока в землю	141
3.7. Способы обеспечения электробезопасности	148
3.8. Особенности воздействия на человека электромагнитных полей	154
Задачи	170
Глава 4. Пожаро- и взрывобезопасность	173
4.1. Значимость пожаробезопасности	173
4.2. Горение и пожароопасные свойства материалов	177

4.3. Основные нормы и правила пожарной безопасности в РФ	185
Контрольные вопросы.....	191
Глава 5. Чрезвычайные опасности.....	192
5.1. Начальные представления о чрезвычайных опасностях.....	192
5.2. Химические чрезвычайные происшествия	195
5.2.1. Особенности химического поражения человека.....	195
5.2.2. Химическая опасность в современных условиях жизнедеятельности	200
5.2.3. Количественные характеристики токсичности веществ	209
5.2.4. Основы защиты людей в условиях химического заражения.....	211
5.2.5. Принципы прогнозирования и оценки обстановки в очагах химического заражения.....	215
5.3. Наводнения	216
5.4. Метеорологические чрезвычайно опасные происшествия.....	226
5.5. Землетрясения	231
5.5.1. Геофизические представления о землетрясениях	231
5.5.2. Поражающая способность землетрясений	236
5.5.3. Оповещение людей о землетрясении.....	245
Контрольные вопросы.....	248
Глава 6. Опасности в условиях войны	249
6.1. Возможность войн в современную эпоху и современные средства борьбы	249
6.2. Ядерное оружие	254
6.3. Поражающие факторы ядерного взрыва.....	260
6.3.1. Ударная волна.....	261
6.3.2. Световое излучение	265
6.3.3. Проникающая радиация.....	267
6.3.4. Радиоактивное заражение (загрязнение) местности.....	269
6.3.5. Глобальные эффекты ядерных взрывов.....	272
Контрольные вопросы.....	274
Глава 7. Гражданская защита	275
7.1. Предыстория становления.....	275
7.2. РСЧС – инструмент МЧС РФ	277
7.3. Гражданская оборона.....	281
7.4. Особые меры защиты от опасностей при ведении военных действий в условиях войны	284
Контрольные вопросы.....	291
Список литературы.....	292
Приложение 1. Активирование несчастных случаев	294
Приложение 2. Оказание первой помощи при несчастных случаях	300
Приложение 3. Средства защиты органов дыхания	306
Приложение 4. Виды ядерных взрывов и их последствия.....	307
Приложение 5. Методика оценки химической обстановки при выбросе аварийно химически опасных веществ.....	313

ПРЕДИСЛОВИЕ

Опасности всегда и повсеместно преследовали людей. Среда обитания человечества нашпигована опасностями, которые «срабатывают» подобно минам: иногда самопроизвольно, чаще из-за неосторожности или беспечности идущих «по минному полю». Люди вынуждены платить заметную дань опасностям в виде человеческих жертв, утраты материальных ценностей, снижения комфортности бытия.

Опасные события, будоражающие людские сообщества, чаще существенно нарушающие их режим жизни и деятельности, многолики. Существенная особенность опасностей, мишенями для которых являются люди, – это то, что многие из них порождены самими людьми – разумными существами с постоянно возрастающими (в отличие от других живых существ!) потребностями. Примером тому может служить весь современный спектр техногенных и большая часть социогенных опасностей.

Противостоять усиливающемуся натиску современных опасностей человек нашего времени в одиночку не способен, даже не смотря на то, что он *sapiens*. Функция противоборства с опасностями ныне должна исполняться под патронажем государств. Область знаний и практики, соответствующая этой проблеме, примерно столетие назад стала обособляться в автономную и получила название «Безопасность жизнедеятельности» (БЖД).

В РФ проблема БЖД характеризуется обостренностью, повышенным уровнем неблагополучия. Число погибающих за год в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП), при пожарах, в процессе производства и многих иных опасных ситуациях исчисляется десятками тысяч по каждой из упомянутых причин, а в совокупности эти потери достигают сотен тысяч за год. Число пострадавших (физически, морально или материально) – на порядок больше!

Одна из контрмер опасностям состоит в вооружении знаниями по БЖД. В РФ ныне обязательное обучение по БЖД ведется в школах и на более высоком уровне – в вузах. Вузовская подготовка по БЖД, как правило, строится с учетом профессиональных особенностей будущих специалистов, руководителей производственных, административных и иных коллективов. Данное учебное пособие подготовлено применительно к учебному процессу в МИФИ. По понятным причинам в нем присутствует акцент на проблеме радиационной безопасности.

Авторы

Глава 1

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

1.1. Фактор опасности жизнедеятельности и его значимость

Опасность – ключевое, изначальное понятие нашего изложения проблематики безопасности жизнедеятельности. Широкая трактовка этого понятия приводится в толковых словарях, например в словаре Ожегова С.И. «опасность» определяется как «наличие угрозы поражения кого-либо (чего-либо) кем-либо (чем-либо)». В контексте жизнедеятельности понятие «опасность» должно использоваться в зауженной трактовке, акцентирующей присутствие определенной угрозы в жизни людей. Дадим следующее определение термина «опасность», которого будем придерживаться далее.

Опасность – наличие угрозы или состоявшийся факт поражения чего-либо жизненно значимого для человека (людей) чем-либо.

Предварительно, до обстоятельного рассмотрения конкретных опасностей, под «*жизненно значимым*» условимся подразумевать:

- здоровье и жизнь человека;
- материальные ценности;
- качество среды обитания.

Именно эти три составляющие бытия, главным образом, определяют качество жизни, следовательно, и ценятся людьми как «жизненно значимые». Подчеркнем при этом то, что перечисленные атрибуты жизни и деятельности должны оцениваться не только *с позиций интересов ныне живущих людей*, но и *с учетом интересов людей будущих поколений*.

Опасности многообразны, разнородны. В жизни людей они проявляются в виде *опасных ситуаций* или *опасных событий*. Различие между ними состоит в том, что в состоянии ситуации опасно-

сти лишь потенциальны, когда имеет место угроза поражения, а в состоянии событий – фактически реализованы. Всякий факт реализации опасных ситуаций или опасных событий будем именовать *опасным случаем*. Такой терминологии будем придерживаться далее (рис. 1.1).

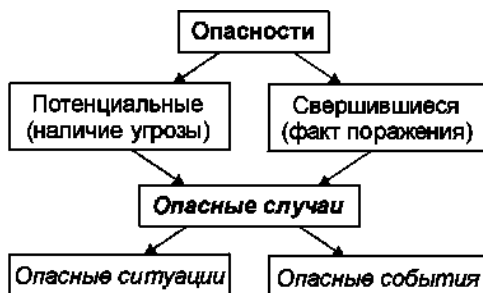


Рис. 1.1

Таким образом, будем различать две стадии развития опасности. В стадии «ситуации» опасность может быть предотвращена или снижена за счет оперативного проведения людьми некоторых упреждающих защитных мер. Во второй фазе – «события» – противодействие должно быть ориентировано на локализацию опасности и ликвидацию ее последствий.

На протяжении всей истории опасности были и остаются неизбежными спутниками людей. Параллельно со сменой эпох изменялся перечень опасностей, их вредоносность. Человек находил «противоядие» для одних опасностей, но появлялись другие, часто в виде неожиданных последствий его созидательной деятельности. Среда обитания всегда была как бы нашпигована опасностями. Образно говоря, люди проживают в «заминированном» пространстве и иной среды обитания у них нет. Осторожность, предусмотрительность, поиск «мин» и их обезвреживание позволяют повысить безопасность жизнедеятельности. И наоборот, беспечность в отношении опасностей приводит к печальным последствиям.

Природа человека такова, что он часто безоглядно игнорирует опасности, устремляясь к некоторой маячащей желанной цели. Полезно и поучительно будет проследить предысторию и современное отношение людей к опасностям и последствия этого.

Опасности, которые преследовали людей на начальном этапе истории человечества, имели по существу природное происхождение. Человечество занимало свою нишу в природной среде; опасности (стихийные явления, пожирание хищниками, ограниченность пищевых ресурсов, болезни и т.п.) на протяжении долгого периода сдерживали рост численности людей. Проявление опасностей для древнего человека представлялось неизбежным, его примирение с ними просматривается в их обожествлении, жертвоприношениях и т.п. Конечно, человек древнего мира принимал и разумные способы самозащиты: проживание племенами, использование пещер, одежды и т.д. Социогенная составляющая опасностей также имела место, но она не была преобладающей. Таким образом, на протяжении многих тысячелетий человечество проживало в условиях природных и биосоциогенных опасностей, используя для самозащиты от них все доступные ему меры, которые были каждодневными, постоянными. Без этого человечество не могло бы выжить.

Примерно 10 тыс. лет назад социогенная составляющая опасностей стала существенно видоизменяться, усиливаться под влиянием имущественного расслоения, образования государств, милитаризации, развития промыслов. Жизнь потребовала строительства укреплений, городов, освоения менее благоприятных регионов, стали вырубаться леса, используемые сельхозугодия – перегружаться.

На этом этапе люди стали проявлять готовность мириться с новыми для них возрастающими опасностями, чтобы избежать кажущиеся им более значимыми опасности экономического или военного поражения в конкуренции с соседями. Начался процесс осознанного размена возрастающих опасностей на атрибуты материального благополучия. И надо заметить, этот процесс продолжается и ныне.

Современный период истории человечества называется (и фактически является) индустриальным. Обладая мощным интеллектом, человек индустриальной эпохи нещадно эксплуатирует природу, приспособливая ее под свои постоянно возрастающие потребности. Природные ограничители потребления, регулировавшие в прошлом устойчивое сосуществование человека с окружающим миром, теперь оказались бессильными. В результате множится разнообразие антропогенных опасностей, некоторые из них приобретают глобальный размах. Примерами таковых являются возмож-

ная глобальная экологическая катастрофа, мировая война с применением оружия массового поражения и др.

Отношение людей современного мира становится все более недальновидным, погоня за материальным благополучием подавляет в людях необходимую осмотрительность.

Последствия такой недальновидности можно увидеть хотя бы из следующих фактов [1]. Специалисты установили различие позиций большинства населения нескольких стран по признакам морали и готовности к рискам (рис. 1.2). Кроме того, для периода с 1960 по 1990 г. известны общие статистические данные по тем же странам, приведенные в табл. 1.1 (данные приведены в относительных величинах).



Рис. 1.2

Из приведенных данных видим, что защищенность населения и объектов хозяйства от стихийных бедствий в Японии на порядок выше, чем в Западной Европе, и на два порядка выше, чем в США. Такая же картина наблюдается и по приведенным в таблице показателям социального неблагополучия. Очевидно, это является следствием поведенческого различия населения этих стран (см. рис. 1.2).

Таблица 1.1

Показатели стран	Япония	Западная Европа	США
Число событий с числом жертв более 10, или с материальным ущербом более 10 млн дол.	1	0,55	0,27
Плотность населения	1	0,52	0,08
Валовой национальный продукт на душу населения	1	0,39	0,07
Число погибших на 1 млн жителей	1	1,8	7,7
Экономический ущерб от опасных событий	1	4,1	8
Число убийств на 1 млн жителей	1	100	250

В Российской Федерации фактор опасности жизнедеятельности в настоящее время приобрел пиковую значимость. Обострение этой проблемы обязано событиям XX в. Сказываются последствия двух кровопролитнейших мировых войн, плюс Гражданской войны, последовавшего распада Советского Союза; к этому следует добавить режим массового террора 30 – 40-х гг. и другие неурядицы. Начиная с 1960 г., в РФ прекратился рост продолжительности жизни, растут алкоголизм, наркомания, преступность. Показатели по числу убийств, преступлений, частоте техногенных аварий хуже, чем в США, а там, как видим, они по общемировым меркам – высокие. Все это в совокупности снижает в людях предусмотрительность в отношении всевозможных опасностей [1 – 4].

Приведем некоторые количественные данные по вредоносности опасных событий в РФ, произошедших в последние годы, и по потенциальной опасности некоторых объектов хозяйства.

Российская Федерация граничит с 16-ю государствами и с половиной из них имеет неотрегулированные пограничные претензии.

В хозяйстве РФ имеется 160 тыс. относящихся к опасным производственным объектам, 30 энергоблоков АЭС, в их зонах наблюдения проживает 4 млн чел.

Общая протяженность нефте-, газо-, продуктопроводов составляет 225 тыс. км, ими можно почти 6 раз опоясать земной шар, более 30 % их выработали ресурс.

В отраслях экономики РФ эксплуатируется около 10 тыс. пожаро- и взрывоопасных объектов.

В РФ более 1000 крупных городов, из них 350 отнесено к объектам, подлежащим учету гражданской обороной.

В зонах химической опасности находится 148 городов.

Общая численность населения составляет 145 млн, но, главное, на протяжении последних лет она заметно снижается.

А вот официальные статистические данные о гибели людей в РФ за год на рубеже XX – XXI вв.:

- в ДТП – около 35 тыс. чел., при этом материальный ущерб, к примеру, в 2004 г. составил 369 млрд руб.;

- при пожарах – 15 – 18 тыс. чел.;

- в водоемах – более 17 тыс. чел.;

- вследствие суицида – до 30 тыс. чел.;

- вследствие алкогольной интенсификации – 27 тыс. чел.;

- вследствие производственных происшествий – 70 тыс. чел.

Если добавить к этому погибающих в ходе криминальных разборок, бесследно пропадающих и т.п., то получится, что более двух человек из тысячи живущих в РФ ежегодно уходят из жизни досрочно, что составляет около 10 % общей смертности. Следует еще иметь в виду, что число пострадавших в опасных событиях, как правило, превосходит на порядок число погибающих.

Отдельной статьей в списке неурядиц в России ныне является терроризм.

Даже приведенный, далеко неполный, перечень неблагоприятий в России показывает, что дань, взимаемая с россиян опасностями, чрезмерна. По этому показателю качества жизни Россия в настоящее время (увы!) находится в «лидирующей» группе государств.

Значимость проблемы безопасности жизнедеятельности для России ныне исключительно высока. Противодействие опасностям требует постоянного квалифицированного учета этого фактора в процессе жизни и деятельности россиян.

1.2. Начальные представления о безопасности жизнедеятельности

Характерной чертой цивилизации промышленного периода истории является бурный темп ее развития и одновременно проявление

ние настораживающих симптомов неблагополучия в форме натиска опасностей, разнообразие которых множится благодаря техническому прогрессу, его глобализации. Симптомы такого неблагополучия очевидны, перед человечеством встала проблема коллективного адекватного противодействия опасностям, иначе эту проблему будем обозначать термином «безопасность жизнедеятельности» (БЖД). Именно эта проблема является предметом нашего рассмотрения. Термин «безопасность жизнедеятельности», вошедший ныне в лексику научно-технической литературы и официальных документов, в настоящее время часто используется в различных смыслах. Имея это в виду, определим этот термин применительно к цели нашего изложения.

Вначале заметим, что семантически обоснованный смысл понятия «безопасность» состоит в отсутствии опасности. В то же время во многих информационных источниках применительно к излагаемой тематике это понятие определяется как «состояние защищенности от опасности» или как «приемлемый уровень опасности», или другим подобным образом. *Условимся под «безопасностью жизнедеятельности» понимать область человеческих знаний и соответствующую ей совокупность принимаемых людьми мер по снижению вредоносности опасностей бытия до приемлемого уровня.*

Итак, безопасность жизнедеятельности представляет собой синтез знаний и практики по защите людей от чрезмерной опасности. Оговорка «до приемлемого уровня», присутствующая в определении БЖД, утверждает тот факт, что человечество, в принципе, не может обеспечить себе абсолютную безопасность. Всякая деятельность (да и бездеятельность тоже) потенциально опасна. Устремленность людей к повышению качества жизни, развитие с этой целью новых технологий должны соизмеряться с возможной платой за это в форме риска гибели, поражения, разрушения и других видов неблагополучия.

Утверждение о согласии людей с некоторым приемлемым уровнем опасностей, на первый взгляд, может показаться аморальным, идея обеспечения абсолютной безопасности представляется более привлекательной. Однако весь исторический опыт людей подтверждает невозможность достижения абсолютной безопасности. Гипотетически возможное принятие тезиса о достижимости абсолютной

безопасности снимало бы с повестки дня подготовку людей к противодействию неизбежно свершающимся опасным событиям. Практически это означало бы то, что все средства, выделяемые на противодействие опасностям, тратились на недопущение опасных событий, а в случаях их реализации люди оказались бы в положении неподготовленной, не вооруженной массы.

Постулат о невозможности обеспечить абсолютную безопасность является краеугольным камнем официальных концепций безопасности государств современного мира.

К «приемлемому уровню» опасности, принципам его обоснования и количественного выражения еще вернемся.

В порядке обоснования принятых нами определений терминов «опасность» и «безопасность» приведем их определения, согласно Закону РФ «О безопасности» № 4235-1 от 22.12.1992:

«Безопасность – состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз.

Угроза безопасности – совокупность условий и факторов, создающих опасность жизненно важным интересам личности, общества и государства.»

Нетрудно видеть, что цитируемый закон более расширенно, чем мы, трактует проблему безопасности жизнедеятельности, включая в нее защиту прав и свобод личности и духовных ценностей, суверенитет и территориальную целостность государства и делая акцент именно на этом. В законе термин «угроза безопасности» (в нашем изложении ему соответствует термин «опасность») определяется как производный от термина «безопасность». Конечно, мы могли бы в нашем изложении проблемы БЖД придерживаться семантики терминов, приведенной в цитируемом законе, но приведенные нами определения «опасности» и «безопасности» более конкретно очерчивают именно ту «область знаний и практики», которую собираемся излагать далее. Более того, термином «безопасность жизнедеятельности» называется и учебная дисциплина, т.е. «область знаний», изучаемая в вузах РФ. Это дополнительно указывает на целесообразность наших определений терминов.

В рамках учебной дисциплины «БЖД» согласно директивным нормам должны рассматриваться только вполне конкретные опасности: производственные и так называемые чрезвычайные мирного

и военного времени. Имея в виду это, приведем еще одно, не лишнее для нас, более зауженное определение термина «безопасность жизнедеятельности», как предмета изучения в учебных заведениях.

Безопасность жизнедеятельности – область человеческих знаний и соответствующая ей совокупность принимаемых людьми мер по снижению до приемлемого уровня вредоносности техногенных и чрезвычайных мирного и военного времени опасностей.

1.3. Классификация опасностей

С позиций изучения опасностей общую картину бытия можно представить в виде трех взаимодействующих элементов – трех сфер (рис. 1.3):

- экосфера (природная окружающая среда);
- техносфера (все то, что создано руками людей);
- антропосфера (само человеческое общество).

Современный человек – *Homo-sapiens* – тесно связан с этими элементами бытия, взаимодействуя с ними.

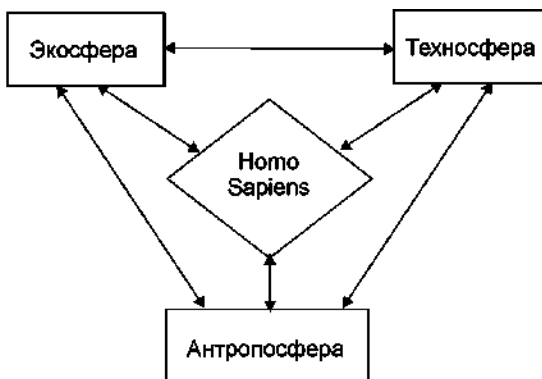


Рис. 1.3

В каждом из названных элементов бытия протекают многочисленные, различные по своей природе процессы: физические, химические, биологические, социальные и т.п. Не вдаваясь в детали

этих процессов, с точки зрения излагаемой нами проблемы, их можно разделить на две группы:

первая – *эволюционные* – плавно протекающие, приводящие к мало заметным, но накапливаемым во времени изменениям состояниям элементов бытия;

вторая – *бифуркационные* – скачкообразные, происходящие в результате случайного совпадения обстоятельств или возмущающего воздействия на элемент бытия, когда в нем накопились эволюционные изменения в таком количестве, что он стал неустойчив.

Бифуркационными называются процессы резкого перехода какого-либо элемента бытия или его части в новое устойчивое состояние.

Протекающие в каждом элементе бытия эволюционные и бифуркационные процессы подчиняются своим определенным закономерностям и будучи случайными, в определенных условиях накладываясь друг на друга, порождают опасность, по существу – опасный процесс.

Придерживаясь таких представлений о механизмах возникновения и реализации опасностей, приведем классификацию последних, выделив затем из них группу тех, которые являются объектом рассмотрения в учебной дисциплине «Безопасность жизнедеятельности». Классификация позволит упорядочить последующее изложение материала.

В официальной документации, в научно-технической литературе можно встретить различные классификационные признаки опасностей. Проведем классификацию опасностей по трем, на наш взгляд, наиболее существенным признакам:

- 1) источник опасности;
- 2) объект поражения;
- 3) вредоносность опасности (этот признак по иному можно назвать «категорией опасности»).

Классификация опасностей, а следовательно, и опасных ситуаций и опасных событий по этим признакам может быть представлена в наглядном виде (рис. 1.4).

По первому признаку опасности могут быть разделены на три разновидности: *антропогенные* (А-г), *техногенные* (Т-г) и *экогенные* (Э-г).

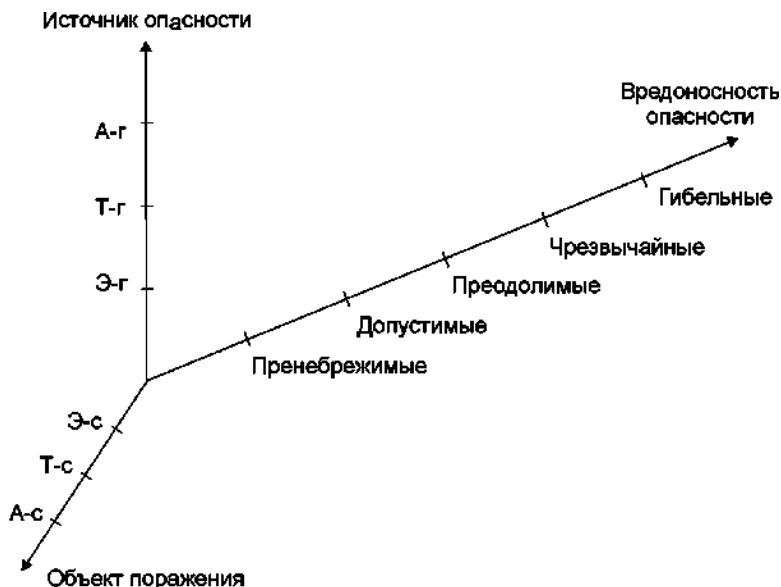


Рис. 1.4

По второму признаку классификации опасности следует разделить также на три группы: *антропо-* (А-с), *техно-* (Т-с) и *эко-*сферные (Э-с).

Таким образом, используя одновременно два классификационного признака, получим девять разновидностей опасностей. Например, к антропогенным антропосферным опасностям следует отнести социальные конфликты, акты насилия, грабежи и т.п.

Для классификации опасностей по признаку вредоносности (по иному – категорирования) ныне в различных областях человеческой деятельности используются разные критерии. Например, вредоносность землетрясений принято оценивать баллом, ветра – скоростью, ионизирующего излучения – дозой и т.д. Такие частные критерии вредоносности опасности удобны для использования в рамках отдельных отраслей жизнедеятельности и далее будем ими пользоваться при изложении конкретных видов опасностей. Однако для совокупного анализа всех видов опасностей крайне желателен единый количественный критерий их вредоносности. Эта проблема будет рассмотрена далее. Вначале приведем категорирова-

ние опасностей по некоторым неколичественным критериям их вредоносности, как это ныне распространено в обиходе, в научной литературе, в нормативно-правовых документах и т.п.

Первый приводимый нами принцип классификации опасностей можно назвать субъективным. В этом варианте опасности можно разделить на: *пренебрежимые, допустимые, преодолимые, чрезвычайные и гибельные* (см. рис 1.4).

Опасности допустимой категории – такие, вредоносностью которых пренебречь нельзя, но люди мирятся с ними, платя им определенную дань. Противодействие им фактически сводится к их контролю с целью исключить их переход за границу обоснованной допустимости.

К опасностям преодолимой категории следует отнести те, вредоносность которых можно преодолеть без существенных негативных последствий. Опасности, трагические последствия которых невозможны, хотя за счет принимаемых мер противодействия режим жизнедеятельности может быть восстановлен, следует относить к чрезвычайным; их еще называют *катастрофами*. К опасностям гибельной категории следует отнести такие, при реализации которых существенное ухудшение режима жизнедеятельности не обратимо.

Приведенная классификация опасностей, как, впрочем, и любая другая классификация, условна и имеет целью упорядочить последующее рассмотрение их отдельных разновидностей. Она позволяет наглядно, в единой упаковке, представить многообразие опасностей. Согласно нашей классификации в этой упаковке 45 фрагментов, каждый из которых может изучаться отдельно от других. Некоторые из этих фрагментов являются предметом изучения в рамках обособившихся научно-прикладных дисциплин и получили специфические устоявшиеся названия. Примерами могут служить «стихийные бедствия», «производственная санитария», «охрана окружающей среды» и др.

В вузовской учебной дисциплине «Безопасность жизнедеятельности», имеющей целью обеспечить знание специалистами – выпускниками вузов наиболее значимых проблем безопасности, согласно директивным распоряжениям и существующей практике, имеются два фрагмента опасностей. Первый фрагмент – опасности техногенные антропоферные допустимые и преодолимые, им со-

ответствует предмет «охрана труда». Второй фрагмент – чрезвычайные опасности, им соответствует проблематика «стихийных бедствий», «техногенные катастрофы» и «гражданская оборона».

В отечественной литературе часто в целях классификации опасностей используется другой неколичественный критерий их вредоносности – пространственный. По этому признаку опасности подразделяются на: *индивидуальные, локальные, объектовые, местные, региональные и глобальные*. К индивидуальным относятся опасности, угрожающие пусть даже каждому, но отдельно взятому человеку (например, угроза разбойного нападения). Локальными именуются опасности, создающие угрозы в границах рабочих участков, отдельного жилища и т.п. Объектовыми называются опасности, угрозы которых локализуются в границах объектов жизнедеятельности и последствия которых могут быть ликвидированы силами, сосредоточенными на этих объектах. К местным относятся опасности, вредоносность которых не распространяется за границы отдельно расположенного населенного пункта. По аналогии можно определить опасности региональные и глобальные.

Каждый обозначенный нами класс опасностей, в свою очередь, может быть разбит на более мелкие разновидности. Например, техногенные опасности включают в себя ударные, радиационные, пожарные, электрические, химические и т.д.

Для изучения общих свойств всех видов опасностей для сравнения их по признаку вредоносности необходим количественный критерий вредоносности. В качестве таких критериев примем «ущерб» и «риск», о них пойдет речь далее.

1.4. Количественные меры вредоносности опасностей

Вредоносность опасностей может быть выражена многими способами. В частности, как показали ранее, для этого могут быть использованы не количественные критерии, использованные нами для классификации опасностей. Для количественного выражения вредоносности, как уже условились, будем пользоваться двумя упомянутыми понятиями: «ущерб» и «риск». Отметим, что в практике используются и иные количественные критерии.

1.4.1. Ущерб

Понятие «ущерб» обычно используется для обозначения факта потери, убытка, урона, вреда. Необходимо придать этому термину количественный признак. Примем следующее определение понятия «ущерб» для целей нашего изложения.

Ущерб – количество вреда, наносимого опасностью. Он может использоваться в качестве меры вредоносности как опасных событий (фактический ущерб), так и опасных ситуаций (возможный ущерб).

Принципиальным является вопрос выбора единицы ущерба. Чаще всего в качестве таковой используются денежные единицы – рубль, доллар, фунт и т.п. Ущерб как количественный критерий может использоваться для выражения вреда, причиняемого либо одному человеку (его можно назвать индивидуальным ущербом), либо некоторой ассоциации людей (его можно назвать ассоциативным ущербом), а также для выражения вреда, наносимого какой-либо конкретной опасностью или некоторой совокупностью опасностей.

Примеры.

1. Ураган «Катрина», разбушевавшийся осенью 2005 г. у побережья США, практически разрушил город Орлеан, нанеся ущерб в 200 млрд дол.

2. В результате эпизоотии куриного гриппа некоторая хозяйка, содержащая домашних птиц, вынуждена их уничтожить. Тем самым хозяйке был нанесен ущерб в 10 000 руб.

3. В РФ в результате дорожно-транспортных происшествий общий ущерб всех владельцев транспортных средств, связанный с их повреждением или уничтожением, составляет 1 млрд руб. в год.

4. Из-за ожидаемого увеличения в 1,2 раза количества автотранспортных средств в следующем году в РФ возможный материальный ущерб из-за их повреждения в результате ДТП составит (с учетом показателя примера 3):

$$1 \text{ млрд руб.} \times (1,2)^2 = 1,44 \text{ млрд руб.}$$

Здесь множителем $(1,2)^2$ учитывается версия: число ДТП пропорционально квадрату числа транспортных единиц.

Применение денежных единиц для выражения ущерба является естественным, привычным и не должно вызывать сомнений и затруднений в случаях, когда речь идет о *материальном ущербе*, т.е. когда, по принятой нами терминологии, речь идет о техносферных опасностях. В случаях же эко- и антропосферных опасностей речь должна идти о вреде здоровью или гибели людей. В таких случаях денежное выражение ущерба становится затруднительным, а сам ущерб называют *моральным*. Более того, некоторые специалисты по проблематике безопасности считают даже аморальным выражать стоимость жизни человека или его здоровья в денежных единицах. Этот вопрос является, конечно, спорным. Ведь, с другой стороны, жизнь вынуждает людей прибегать к выражению морального ущерба в денежных единицах. Так, например, обстоит дело с заболеванием человека: затраты на излечение плюс потерянный заработок, выраженные в денежных единицах, составят денежное выражение морального ущерба. Другой пример – судебные разбирательства о компенсации причиненного морального ущерба.

Денежные эквиваленты жизни людей часто используются при анализе социально-экономических параметров государств. Например, в некоторых официальных нормативных документах Российской Федерации используется такой принцип оценки ущерба, связанного с утратой здоровья или гибелью людей: один утраченный человекогод жизни человека приравнивается стоимости душевого валового годового продукта. Конечно, логика такого преобразования не всегда безупречна, но она широко применяется.

Использование единого, денежного, способа выражения ущерба упорядочивает анализ проблем БЖД, и будем считать его основным. Однако во многих случаях целесообразно прибегать к выражению ущерба в более информативных единицах. Примером такого случая может служить ущерб, нанесенный человечеству волной цунами летом 2004 г. в прибрежных зонах Индийского океана. Число погибших в той катастрофе составило около 300 тыс. чел. В этом случае более информативным является выражение ущерба от цунами числом жертв, и жизнь одного человека приобретает смысл единицы ущерба. В иных ситуациях подобным образом за единицу ущерба может быть принята соответствующая унитарная единица (условно не делимая часть) объекта поражения опасностью. Например: одна сгоревшая при пожаре квартира, один уничтоженный

при ДТП автомобиль, один гектар уничтоженных наводнением посевов и т.п. В подобных случаях, как и в приведенных нами примерах выражения ущерба числом пораженных унитарных единиц, название поражаемой унитарной единицы должно сопровождаться указанием на степень ее поражения опасностью. Например: один человек, утративший в опасном событии трудоспособность на один день; или один человек, ставший инвалидом второй группы; или один автомобиль, пораженный опасностью до состояния, требующего среднего ремонта и т.п.

Таким образом, условились количество вреда, наносимого опасностями, выражать ущербом, а в качестве единиц ущерба использовать либо денежные единицы, либо унитарные (условно не делимые) материальные единицы объекта поражения с указанием степени их поражения.

1.4.2. Риск

Ущерб как количественный показатель вредоносности опасностей не может служить исчерпывающим критерием количества вреда. В самом деле, значение ущерба дает нам представление о вредоносных последствиях какого-либо опасного случая или совокупности опасных случаев. Но этот показатель ничего не говорит о возможной частоте повторения случаев. Для количественного описания этой стороны опасностей необходим критерий, выражающий статистическую картину повторяемости опасных случаев. Именно таким критерием является «риск», он объединяет в себе одновременно и величину ущерба, и возможную частоту повторения опасности.

Единой трактовки этого понятия в нашем Отечестве, к сожалению, не сложилось. Происхождение этого термина лингвисты находят в событиях давних времен. На острове с арабским названием «risk» имели привычку кучковаться пираты, где они, коротая время в ожидании очередных разбойных вылазок, увлекались азартными играми. Видимо, исходы этих игровых баталий были впечатляющими, и у современников название острова стало использоваться для обозначения поведенческих черт человека, склонного к азартным занятиям, стремящегося поймать удачу.

В современном отечественном толковании слово «риск» используется для обозначения: возможной опасности; действия наугад. В прикладных областях знаний, в том числе и в области БЖД, в официальных документах термину «риск» часто придается иной смысл, иногда – логически некорректный. Часто, применяя термин «риск», обозначают им одновременно и факт возможной однократной неудачи, опасности, и количественную меру такой возможности. Примером такого употребления термина может служить фраза: «Риск заблудиться в незнакомом лесу, отправляясь туда по грибы, составляет 30 %». Такая семантика термина «риск» вполне применима при описании вредоносности одиночных опасных событий. Но для этого применим критерий «вероятность». Однако мы собираемся описывать вредоносность совокупностей событий, их потоков. С учетом этого семантика термина должна быть изменена.

Дадим наше определение понятия «риск», которого будем придерживаться далее, предварительно заметив, что этому термину мы не придаем количественного признака.

Риск – факт присутствия в обстоятельствах жизнедеятельности предпосылок для реализации опасных случаев. Данное определение термина «риск» по существу соответствует одному из вариантов его определения по толковым словарям, а именно – как «возможная опасность», в нашем случае – с акцентом на опасности жизнедеятельности. Подчеркнем еще раз, что в приведенном толковании понятию «риск» не придается числового содержания. Введем в употребление три дополнительных понятия, производных от понятия «риск», с помощью которых намерены описывать количественную сторону риска. Такими понятиями будут:

- риск эпизодический (обозначим символом r_0);
- риск индивидуальный (условимся обозначать его символом r);
- риск социальный (его будем обозначать символом R).

А. Эпизодический риск – один из количественных показателей риска, показатель возможности нанесения:

- конкретного ущерба;
- конкретному объекту поражения;
- конкретной опасностью;

- при конкретных обстоятельствах, обособленных в некий «одноактный» эпизод жизнедеятельности.

Естественной мерой эпизодического риска является вероятность.

Нелишне подчеркнуть, что, не указав «конкретности», перечисленные в определении эпизодического риска, не имеет смысла говорить о его численном значении.

Критерий обособленного риска может быть применен как к условно мгновенным опасным актам, так и к актам, совершающимся на протяжении какого-либо оговоренного интервала времени. Приведем гипотетические примеры, иллюстрирующие использование понятия эпизодического риска.

1. Эпизодический риск травмирования альпиниста при однократном восхождении на вершину Эльбруса составляет 0,1. (В этом примере: ущерб – травмирование человека, объект поражения – альпинист, опасность – скалы, обстоятельства – однократное восхождение; численное значение вероятности поражения – 0,1.)

2. Эпизодический пожизненный риск курильщика заболеть туберкулезом, для примера скажем, равен 0,23.

3. Эпизодический риск профессионального заболевания работника на вредном производстве за полный рабочий стаж равен 10^{-4} (это значение, как и в предыдущих случаях, приведено условно).

Заметим, что нередко вероятность используется в качестве количественного показателя риска, т.е. само понятие «риск» принимается количественным. Это правомерно, если такое оговорено.

Б. Индивидуальный риск. Пояснение смысла понятия «индивидуальный риск» начнем с рассмотрения гипотетической ситуации. Пусть в некотором населенном пункте число жителей равно N , допустим, что оно остается неизменным, хотя это условие для наших пояснений необязательно. Предположим далее, что на протяжении некоторого периода T в городе происходили дорожно-транспортные происшествия, в которых погибло ΔN человек. Доля погибших жителей при нашем предположении неизменности их числа во времени составит $\Delta N/N$, а доля погибших людей за единственный период времени:

$$\Delta N/(N \cdot T) = r. \quad (1.1)$$

Этот параметр и примем за индивидуальный риск. Именно такой смысл вкладывается в понятие «индивидуальный риск» в большинстве работ по проблематике БЖД, хотя трактовка его во многих случаях отличается от нашей. Рассмотрев этот пример, дадим следующее определение понятию «индивидуальный риск».

Индивидуальный риск подразумеваемой степени поражения человека определенной опасностью – среднестатистическое значение доли поражаемых этой опасностью людей в единицу времени.

Индивидуальный риск численно выражает одновременно и величину (или характер) ущерба (заболевание, травма, гибель и т.д.), и возможность поражения индивидуума подразумеваемой опасностью в сложившихся условиях жизнедеятельности. При этом предполагается, что все «индивидуумы» придерживаются примерно одинакового режима жизнедеятельности. Фактически жители нашего гипотетического населенного пункта придерживаются различных норм поведения. Если это различие является существенным, то оценку индивидуального риска необходимо проводить раздельно по каждой примерно однотипной группе людей. Другими словами, применительно к каждой опасности при оценке индивидуального риска необходимо выявлять характерную, примерно однотипную *группу «рискующих»*, и применительно к этой группе проводить оценку индивидуального риска.

Не лишним будет и такое суждение. Каждый житель нашего гипотетического населенного пункта, зная о подстерегающей его опасности, вправе персонально выбирать для себя режим жизнедеятельности. При этом он может быть отнесен к иной группе рискующих и будет, соответственно, подвержен иному индивидуальному риску. Имея это в виду, можно утверждать: каждый конкретно взятый индивидуум подвержен *персональным (индивидуальным) рискам* поражения опасностями.

Сделаем еще одно замечание по трактовке понятия «индивидуальный риск», которое, возможно, покажется очевидным. Это понятие приобретает значение количественного критерия вредности опасности только тогда, когда дополнительно указывается (или подразумевается по умолчанию), какой опасностью и до какой степени может быть поражен каждый из индивидуумов выделенной группы рискующих.

Покажем, что между эпизодическим и индивидуальным рисками имеется логическая и количественная зависимость. Пусть некоторая опасность (допустим опасность, по иному – риск, простудного заболевания) эпизодически создается в жизни каждого человека некоторого сообщества людей. Пусть далее за некоторый типичный период наблюдения среднестатистическое число потенциально опасных эпизодов составляет k на одного человека, а для каждого из них эпизодический риск составляет r_{0i} , где $i = 1, 2, \dots, k$. Среднестатистическое количество заболеваний одного человека $\overline{\Delta n}$ на протяжении периода T найдем, как математическое ожидание случайной величины, принимающее значение 1 с вероятностью r_{0i} и 0 – с вероятностью $1 - r_{0i}$, т.е.

$$\overline{\Delta n} = \sum_{i=1}^k [1 \cdot r_{0i} + 0 \cdot (1 - r_{0i})] = \sum_{i=1}^k r_{0i}.$$

Теперь индивидуальный риск определится по формуле (1.1) и будет выражен через эпизодические риски r_{0i} и длительность периода T :

$$r = \frac{\Delta N}{N \cdot T} = \frac{N \cdot \overline{\Delta n}}{N \cdot T} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^k r_{0i}. \quad (1.1')$$

Теперь рассмотрим еще одну гипотетическую ситуацию. Пусть в том же городе проживает M автовладельцев и за период времени T произошло ΔM угонов транспортных средств злоумышленниками. Пользуясь прежней логикой, найдем индивидуальный риск автовладельца лишиться своего «железного коня»: $r = \Delta M / (M \cdot T)$. Здесь последствия опасности (угона транспортного средства) связали с индивидуумом – человеком. В то же время рассматриваемая ситуация может быть умозрительно «обесчеловечена», т.е. можем представить ситуацию так, будто транспортные средства находятся в городе сами по себе, но их все-таки крадут. Тогда смысл индивидуального риска изменится, это будет риск не индивидуума, а риск транспортной единицы. В подобных случаях, а они часто встречаются, например, в страховом деле, целесообразно вместо термина «индивидуальный риск» использовать какой-либо другой, например «унитарный риск» (по нашей трактовке: «унита» – условно неделимая единица техносферного объекта поражения).

Обратим внимание на то, что в определении индивидуального (унитарного) риска идет речь о среднестатистическом значении этого параметра. Это значит, что количество вреда, наносимого всякой опасностью, является случайной величиной. Это свойство опасностей подробнее будет рассмотрено в последующем.

В. Социальный риск. Теперь рассмотрим третий количественный критерий риска – риск социальный. Этот термин находит применение только при описании опасностей, связанных с поражением людей. Использование понятия «социальный риск» создает возможность количественно описывать распределение опасностей по величине их вредоносности, что с помощью индивидуального риска описать невозможно. В то же время картина такого распределения важна хотя бы потому, что общественное сознание очень часто возбуждается, порождает фобию в связи с редкими случаями массового поражения людей, но более привычно воспринимает многочисленные случаи одиночного или малочисленного поражения людей, хотя суммарно они более значимы. Это обстоятельство подчеркивается определением «социальный», присутствующим в названии понятия. Для пояснения смысла понятия «социальный риск» рассмотрим гипотетическую ситуацию.

Пусть в сообществе из N человек некоторая совокупность опасностей приводит к гибели людей, причем в одном событии может поражаться несколько человек: 1, 2, 3, ..., i , ..., m . Эти числа одновременно можно использовать в качестве номера категории опасности. Далее допустим, что за период времени T произошло (или может произойти) опасных событий i -й категории в количестве k_i .

Вначале убедимся, что условие приведенного примера позволяет вычислить индивидуальный риск гибели человека. В самом деле:

$$r = \Delta N / (N \cdot T) = \sum_{i=1}^n i \cdot k_i / (N \cdot T) .$$

Этот показатель не выражает возможность массовой гибели людей, что является социально значимым фактором. Эту особенность опасностей принято количественно описывать критерием «социальный риск».

Величину $\lambda_i = k_i/T$ назовем интенсивностью потока опасных событий категории i . Будем подразумевать, что k_i – величина средне-

статистическая. Следовательно, λ_i есть среднестатистическое число событий i -й категории в единицу времени.

Теперь вычислим функцию:

$$R = F(n) = \sum_{i=n}^m \lambda_i = \left(\sum_{i=n}^m k_i \right) / T. \quad (1.2)$$

Эта функция и называется социальным риском. Принимая во внимание логику приведенных пояснений, дадим следующее определение понятию «социальный риск».

Социальный риск – функция зависимости частоты опасных происшествий с числом пораженных людей в каждом из них не менее заданного числа n от этого числа.

Аппроксимированный график функции (1.2) специалистами в области безопасности жизнедеятельности принято называть F - N -диаграммой, с учетом используемой нами символики ее можно назвать F - n -диаграммой. Такие диаграммы дают наглядное представление о зависимости частоты опасных событий от их масштаба. Они могут быть построены для опасностей любого происхождения и использоваться для их сравнения. F - N -диаграммы, построенные в логарифмическом масштабе, в большинстве случаев имеют вид, близкий к линейному. Абстрактная F - n -диаграмма в качестве иллюстрации приведена на рис. 1.5.

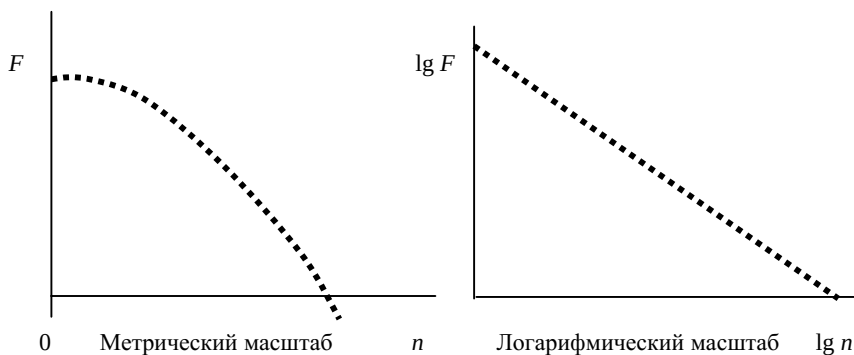


Рис. 1.5

1.5. Математические модели потоков опасных случаев

Практически всякая разновидность опасных случаев реализуется многократно. Последовательность таких реализаций будем называть *потоком опасных случаев* (конкретнее – ситуаций или событий). Количественная оценка вредоносности потоков опасных случаев предполагает использование математического аппарата, иначе – математического моделирования. Применительно к рассматриваемой проблематике оно имеет целью поиск ответов на вопросы «что? где? когда?», может создать угрозу или нанести поражение чему-либо жизненно важному или можно предпринять, чтобы минимизировать вредоносность опасности. В данном и следующих разделах рассмотрим наиболее подходящие варианты математических моделей, применимых для анализа потоков опасных случаев и мер по снижению их вредоносности [5].

Начнем с рассмотрения моделей потоков опасных случаев. Построение всякой математической модели предполагает принятие некоторых упрощений, абстракций, создающих возможность описывать рассматриваемую ситуацию математическими соотношениями. В данном случае примем следующие постулаты.

1. Время, место и вредоносность опасных случаев в потоке случайны. Приемлемость данного постулата подтверждается каждодневной практикой, хотя, следует оговориться, что в потоках опасных случаев могут проявляться и факторы детерминированности.

2. Отдельные реализации опасных случаев являются событиями, мгновенными во времени и точечными по пространственному признаку. Это допущение является существенной абстракцией: фактически всякое событие развивается на протяжении определенного промежутка времени и в очаге, имеющем конечные размеры. Мы не ставим перед собой цель – учесть в модели эти обстоятельства, и данным постулатом утверждаем это.

3. В неизменных условиях жизнедеятельности потоки опасных случаев обладают свойством статистической устойчивости, т.е. средние значения характеристик потоков опасных случаев сохраняются неизменными или устойчиво периодически изменяются под влиянием некоторых детерминированных обстоятельств.

4. В сходных условиях жизнедеятельности взаимно обособленных групп людей с одинаковыми поведенческими чертами средне-

статистические параметры потоков опасных случаев примерно одинаковы. Этот постулат дает возможность распространять результаты оценки безопасности жизнедеятельности, полученные для одного региона, на другие регионы.

5. Потоки опасных случаев аддитивны по показателям вредности. Это значит, ущербы и риски, обусловленные разными опасностями, суммируются.

Основываясь на перечисленных постулатах, рассмотрим несколько часто используемых математических моделей, применимых для описания потоков опасных случаев.

Вначале займемся рассмотрением временной картины потока опасных случаев.

Обратимся к рис. 1.6. Пусть за некоторый прошедший период времени T' произошло N' опасных событий, их моменты (см. постулат 2) известны: $t'_1, t'_2, \dots, t'_i, \dots, t'_N$, на временной оси они обозначены. Если и временной интервал T' , и общее число опасных случаев N' достаточно большие, то картину событий можно считать представительской и согласно постулату о статистической устойчивости утверждать, что за достаточно длительный предстоящий период времени T количество опасных событий N будет таким, что интенсивность потока останется прежней:

$$\lambda = N / T \approx N' / T' = \lambda'. \quad (1.3)$$

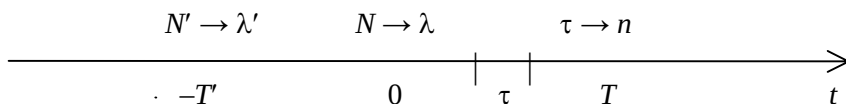


Рис. 1.6

Подчеркнем, что фактически не может быть строгого равенства между λ и λ' , их значения будут статистически сближаться с увеличением T и T' , и следовательно, N и N' .

Моменты реализации отдельных опасных событий на интервале T предсказать точно невозможно, на основе соотношения (1.3) можем лишь с некоторой достоверностью предсказать их общее количество.

Выделим на временном интервале T некоторый интервал τ и попробуем предсказать вероятность того, что в него попадет некоторое число опасных событий $n < N$.

Примем версию о полном хаосе распределения моментов всех N событий на временном интервале T , т.е. произвольное (i -е) событие может случайно попасть в интервал τ . Вероятность такого исхода составит:

$$p_1 = \tau / T .$$

Вероятность того, что конкретные опасные события в количестве n попадут в интервал τ , а остальные, в количестве $N - n$, не попадут в него (произведение независимых случайных событий), равна:

$$p_n = p_i^n (1 - p_i)^{N-n} .$$

Число возможных, отличающихся составом, комбинаций из N опасных событий по n в каждой комбинации равно числу сочетаний из N по n . Следовательно, с учетом несовместимости исходов (комбинаций) искомая вероятность того, что в интервал τ попадет ровно n любых опасных событий из общего их количества, равного N , будет:

$$P_n = C_N^n p_i^n (1 - p_i)^{N-n} = C_N^n (\tau / T)^n (1 - \tau / T)^{N-n} . \quad (1.4)$$

Записанное выражение носит название биномиального распределения. По логике этого выражения на любом конечном интервале времени $\tau \leq T$ может произойти число опасных событий в количестве n , причем $0 \leq n \leq N$. Биномиальное распределение получено при условии заданности параметров T и N . Это условие часто не согласуется с логикой случайности опасных событий. Исключить этот недостаток биномиальной модели потока опасных случаев можно за счет следующей несложной процедуры преобразования формулы (1.4). Произведем замену ($N = \lambda T$), и далее:

$$\begin{aligned} P_n &= \{(\lambda T)! / [n!(\lambda T - n)!]\} (\tau / T)^n (1 - \tau / T)^{\lambda T - n} = \\ &= (1 / n!) \lambda T (\lambda T - 1) (\lambda T - 2) \dots (\lambda T - n + 1) (\tau / T)^n (1 - \lambda / T)^{T - n} = \end{aligned}$$

$$=[(\lambda\tau)^n / n!](1 - 1/\lambda T)(1 - 2/\lambda T)\dots[1 - (n-1)/T](1 - \tau/T)^{\lambda T - n}.$$

Теперь устремим T к бесконечности и используем формулу замечательного предела:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} (1 - \tau/T)^{\lambda T - n} = \exp(-\lambda\tau).$$

Итак,

$$P_n = [(\lambda\tau)^n / n!] \exp(-\lambda\tau). \quad (1.5)$$

Полученное соотношение носит название «*распределение Пуассона*». В пуассоновской модели нет необходимости в задании числа событий N , которые должны произойти в интервале времени T , как это было в биномиальной модели.

Распределение Пуассона обладает рядом замечательных свойств, и к нему еще вернемся. Но предварительно нам целесообразно кратко остановиться на трех фундаментальных свойствах всевозможных потоков случайных событий, приведем их без детального объяснения.

Любой поток случайных событий (такowymi являются и рассматриваемые нами потоки опасных случаев) можно представить в виде непрерывающейся череды мгновенных процессов, совершающихся в случайные моменты времени, параметр λ численно равен их среднестатистической частоте.

1. Поток событий называется *стационарным*, если $\lambda = \text{const}$, в противном случае он называется *нестационарным*, для него параметр λ является некоторой функцией времени — $\lambda(t)$.

2. Поток событий называется *ординарным*, если события совершаются поодиночке, это можно выразить формулой:

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} P_k \text{ (при } k \geq 1) = 0.$$

В иных случаях он называется *неординарным*.

3. Поток событий называется *потоком без последействия*, если в любой момент времени вероятность событий в будущем не зависит от того, когда и сколько событий произошло до этого момента. Другими словами потоки без последействия «не обладают па-

матью». Поток с противоположным свойством называется *поток с последствием*.

Ординарные потоки без последствия называются еще пуассоновскими. Если такой поток к тому же стационарен, то он называется пуассоновским стационарным или простейшим.

Формула (1.5) описывает поведение простейшего потока. Для нестационарного пуассоновского потока формула (1.5) принимает вид

$$P_n = \left\{ \left[\int_0^{\tau} \lambda(t) dt \right]^n / n! \right\} \exp \left[- \int_0^{\tau} \lambda(t) dt \right]. \quad (1.6)$$

Итак, в пуассоновском потоке события следуют друг за другом по одиночке, интервалы между ними – случайная величина. При практическом применении пуассоновского потока в качестве модели потока опасных случаев важным становится выявление числовых характеристик этой случайной величины. Приведем основные из них.

Не сложно показать, что математическое ожидание и дисперсия случайного числа событий n , имеющих пуассоновское распределение, составляют $\lambda\tau$:

$$m_n = D_n = \lambda\tau. \quad (1.7)$$

Функцию распределения случайного интервала времени t между событиями потока найдем из условия:

$$F(t) = 1 - P_0,$$

где P_0 – вероятность того, что за промежуток времени t не произойдет ни одного события. Эту вероятность найдем из соотношения (1.5), положив в нем $n = 0$ и $\tau = t$. В результате получим:

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t).$$

Если вместо t задаться элементарным (стремящимся к нулю) промежутком времени Δt , то с учетом ординарности потока событий из последнего выражения получим значение вероятности того, что за промежуток времени Δt произойдет ровно одно событие:

$$P_1 \approx \lambda \Delta t.$$

Соответственно найдем выражение для плотности распределения случайной величины t :

$$\varphi(t) = \lambda \exp(-\lambda t). \quad (1.8)$$

Затем определим математическое ожидание m_t , дисперсию D_t и среднеквадратическое отклонение σ_t случайной величины t :

$$m_t = \int_0^{\infty} t \lambda \exp(-\lambda t) dt = 1/\lambda;$$

$$D_t = \int_0^{\infty} t^2 \lambda \exp(-\lambda t) dt = 1/\lambda^2; \quad \sigma_t = 1/\lambda. \quad (1.9)$$

Таким образом, случайная величина временного интервала между событиями пуассоновского потока распределена по показательному закону, а ее среднее значение и среднеквадратическое отклонение равны.

Модели пуассоновских потоков, как уже отмечалось, соответствуют условию полного хаоса в последовательности их повторения. Это адекватно соответствует реальной картине повторения большинства разновидностей опасных случаев, поэтому такие модели находят широкое применение для прогнозирования вредоносности опасностей и для оценки эффективности мер противодействия им. В то же время многие опасные случаи обнаруживают такую закономерность: после очередного опасного события следует некоторый период «спокойствия», следующее событие как бы «созревает» и реализуется по истечении некоторого промежутка времени. Другими словами, для таких потоков опасных случаев характерна определенная регулярность, по крайней мере, в сравнении с пуассоновскими потоками. Эти потоки обладают «памятью» своей предыстории, они относятся к категории потоков *с последствием*.

Для математического моделирования потоков опасных случаев с признаками наличия последствия удобно использовать модели потоков Эрланга. Образно говоря, потоки Эрланга образуются путем «просеивания» пуассоновского потока. Поясним это с помощью рис. 1.7.

На верхней временной оси Ot отмечены моменты событий пуассоновского потока. Если этот поток «просеять», оставив каждое

второе, а остальные исключить из потока, то образованный поток событий (их моменты реализации отображены на временной оси ниже) будет обладать свойствами, отличными от свойств исходного пуассоновского потока. Назовем образованный поток *поток Эрланга второго порядка (Э-2)*. Если из исходного пуассоновского потока оставить каждое третье событие, то получим поток Эрланга третьего порядка (Э-3) и т.д. Исходный пуассоновский поток событий логично назвать еще потоком Эрланга первого порядка (Э-1).

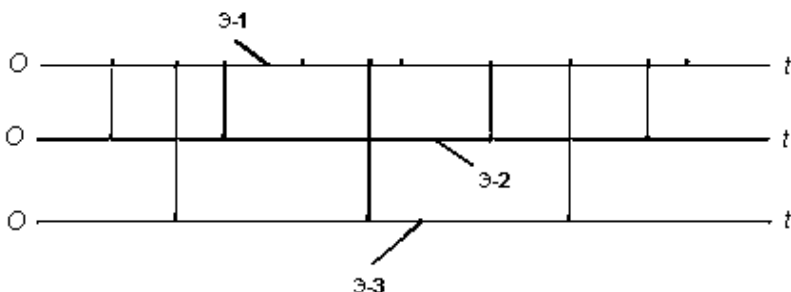


Рис. 1.7

Если исходный пуассоновский поток имеет интенсивность λ , то поток Эрланга z -го порядка будет иметь интенсивность $\lambda_z = \lambda/z$. Можно доказать, что для потока Эрланга z -го порядка математическое ожидание временного интервала между событиями m_t , дисперсия D_t и среднеквадратическое отклонение σ_t равны соответственно:

$$m_t = 1/\lambda_z, \quad D_t = 1/(z\lambda_z)^2, \quad \sigma_t = 1/(z\lambda_z). \quad (1.10)$$

Важно отметить, что при $z \rightarrow \infty$ дисперсия и среднеквадратическое отклонение временного интервала между событиями потока Эрланга стремятся к нулю. Это значит, что с увеличением порядка потока Эрланга он приближается к регулярному с постоянным интервалом между событиями.

Из последних соотношений следует:

$$z = m_t^2 / D_t. \quad (1.11)$$

Из этого соотношения следует важная для практики рекомендация. Произведя статистический анализ моментов реализации опасных событий за некоторый истекший период времени, можно определить m_t и D_t , а далее по соотношению (1.11) оценить порядок потока Эрланга, который соответствует ему (естественно, значение z должно быть округлено до целого). Тогда, прогнозируя ситуацию на предстоящий период, в качестве математической модели потока опасных случаев следует использовать модель потока Эрланга того же порядка.

До сих пор рассматривались математические модели, описывающие временную картину потоков опасных случаев. В некоторых случаях требуется прогнозировать пространственно-временную картину опасных случаев, когда события хаотично распределяются по некоторой территории. Покажем, как можно приспособить записанные выше соотношения для математического моделирования соответствующей этому случаю ситуации.

Закон распределения случайных величин, носящий имя Пуассона, может быть применен не только для одномерных случаев, как предполагалось в вышеизложенном (распределение событий на временной оси), но и для многомерных, когда точки (события) распределены в некоторой области (плоскости, объеме и т.д.). Если заданы статистические характеристики, то для описания распределения точек (событий) применим закон Пуассона.

Пусть за период времени T на некоторой территории площадью S произошло N опасных событий. Будем считать, что события распределяются хаотично по времени и площади. Поставим перед собой задачу спрогнозировать число опасных событий за период времени τ на участке территории σ . Используя логику вывода формулы Пуассона, можно записать выражение для вероятности того, что это число окажется равным ровно n :

$$P_n = \frac{(N\tau\sigma / TS)^n}{n!} \exp(-N\tau\sigma / TS). \quad (1.12)$$

Данное выражение описывает так называемое пуассоновское поле – закон распределения в нем событий. Нетрудно видеть, что при $\sigma = S$ это выражение трансформируется в известную формулу Пуассона. Положив $\tau = T$, выражение можно использовать для опи-

сания территориального распределения опасных случаев. Еще раз заметим, что при записи выражения (1.12) принята была версия о полном хаосе распределения событий как по времени, так и по территории. Нетрудно видеть, что при необходимости учесть признаки регулярности, можно образовать модель эрланговского поля событий.

В заключение сделаем следующее замечание. В формулах, выражающих вероятности, часто встречаются биномиальные коэффициенты и факториалы, вычисление которых затрудняется их громоздкостью. Эта процедура может быть облегчена применением асимптотической формулы Стирлинга:

$$n! = ne^{-n} \sqrt{2\pi n} . \quad (1.13)$$

Для этих же целей можно использовать справочные таблицы, выборочные данные из одной такой таблицы приведем в табл. 1.2.

Таблица 1.2

n	1	5	10	15	20	30	40	50	70	100	200	300
$\lg n!$	0	2,08	6,56	12,12	18,39	32,42	47,91	64,48	100,08	157,91	394,90	614,49

1.6. Прогнозирование опасных ситуаций и событий методом математического моделирования

Оценка рисков, обусловленных опасностями, анализ эффективности мер противодействия им требует применения соответствующего вероятностного математического аппарата [7 – 8]. Не ставя целью детальное рассмотрение применимых для этого методов математического решения таких проблем, изложим основы наиболее подходящего из них – метода марковских случайных процессов. Этот метод базируется на идеях, изложенных в разд. 1.5, представляет дальнейшее их развитие и является удобным инструментом количественного анализа проблем БЖД.

С позиций теории марковских случайных процессов, для вычисления числовых показателей вредоносности опасностей и для оценки эффективности мер защиты от них строится некоторая абстрактная схема взаимодействия объекта поражения, источника

опасности, средств противодействия опасностям и т.д. Далее поведение этой схемы описывается математическими соотношениями, исследование которых позволяет решать многочисленные практически важные проблемы, в том числе и проблемы прогнозирования опасных случаев и их последствий.

Проиллюстрируем процедуру моделирования на примере. Пусть индивидуальный риск травмирования жителя некоторого города составляет r при их общем числе N . Для оказания помощи пострадавшим в городе создан пункт медицинской помощи в составе некоторого числа k выездных бригад, находящихся в состоянии постоянной готовности к выезду для оказания помощи. Пусть среднестатистическое значение времени оказания помощи одному пострадавшему составляет τ_n . В этой ситуации возможна постановка различных практически значимых вопросов. Например: сколько экипажей оказания помощи надо иметь для удовлетворительного обслуживания жителей; какова вероятность немедленного обслуживания пострадавшего; какой будет нагрузка на медицинских работников и т.д.?

В терминах теории марковских процессов совокупность взаимодействующих элементов обозначенной схемы (в нашем примере – пострадавшие и экипажи медицинских работников) принято называть системой, присвоим ей символ S . Далее следует умозрительно выявить и перечислить все возможные состояния системы, их будем обозначать: $S_0, S_1, S_2, \dots, S_k$. Применительно к нашему примеру такими состояниями могут быть:

S_0 – все экипажи свободны, обращений пострадавших нет;

S_1 – один пострадавший обратился за помощью, к нему выехал один экипаж;

...

S_k – задействованы все k экипажей.

Схематично изобразим процесс изменения состояний в виде так называемого *графа состояний*, он приведен на рис. 1.8. Граф состоит из образов всех возможных состояний, соединенных стрелками, показывающими направления возможных перескоков системы, у каждой стрелки записывается значение интенсивности соответствующего потока событий, изменяющих состояние в направлении стрелки. Если все названные атрибуты графа состояний присутствуют, он называется размеченным.

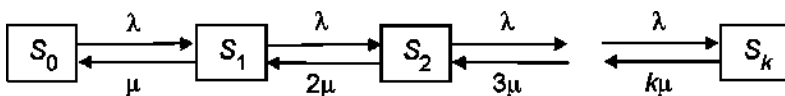


Рис. 1.8

Система, соответствующая графу состояний, в каждый момент времени может находиться в одном из возможных состояний. В то же время по направлению каждой из стрелок непрерывно генерируется случайный поток событий, способных изменить то состояние системы, из которого выходит данная стрелка. Таким образом, события вдоль каждой стрелки генерируются непрерывно, но изменяет состояние системы лишь первое событие в потоке, исходящем из того состояния, в котором система находится в данный момент.

Здесь нужно сделать ремарку о том, что пока будем считать все потоки событий в системе пуассоновскими. В рассматриваемом примере интенсивность потока обращений пострадавших в пункт медицинской помощи составляет: $\lambda = rN$. Потоки событий такой интенсивности будут изменять состояния системы в направлении слева направо. При этом возможными будут перескоки лишь в соседние состояния, так как пуассоновские потоки ординарны. По мере завершения процедуры оказания помощи будут освобождаться бригады медицинских работников, система будет изменять состояния, переходя из состояния S_i в состояние S_{i-1} , соответствующие потоки событий также ординарны. Однако эти потоки будут иметь разную интенсивность. В самом деле, $\mu_{10} = 1/\tau_{\text{п}}$, но $\mu_{21} = 2\mu_{10}$, две обслуживающих бригады имеют производительность в два раза больше, чем одна и т.д.

Если размеченный граф состояний марковского процесса построен, и задано начальное состояние системы, то становится возможным определение вероятности любого состояния системы в любой момент времени. Это значит, что аппарат теории марковских процессов позволяет получать ответы на многие практически важные вопросы. Например, вероятность немедленного выезда медиков по вызову пострадавшего определится как сумма вероятностей для всех состояний, кроме последнего. Или среднее число одновременно задействованных бригад медиков найдется как математическое ожидание случайного числа одновременно задействованных брига и т.д.

Процедура определения вероятностей состояний при заданном размеченном графе состояний основывается на использовании математических соотношений, носящих название уравнений Колмогорова. Смысл этих соотношений нетрудно понять, воспроизведя их вывод.

Рассмотрим некоторый абстрактный граф состояний, приведенный на рис. 1.9. Поставим себе цель: выразить вероятность того, что система в произвольный момент времени $t > 0$ окажется в заданном состоянии, например в состоянии S_2 . Другими словами, необходимо установить зависимость P_2 от времени – функцию $P_2(t)$.

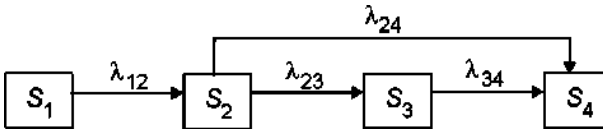


Рис. 1.9

Зададим малое приращение Δt и выразим вероятность $P_2(t + \Delta t)$. В момент $t + \Delta t$ система (иными словами – процесс) может случайно оказаться в состоянии S_2 в итоге суммирования двух несовместных случайных событий.

Первое: в момент времени t процесс находился в состоянии S_2 (вероятность этой ситуации равна $P_2(t)$) и за время Δt не изменил этого состояния (вероятность этой ситуации, с учетом малости Δt и ординарности потоков событий, равна $1 - (\lambda_{23} + \lambda_{24})\Delta t$; а общая вероятность этого события, как произведения двух независимых событий, равна $P_2(t) (1 - \lambda_{23}\Delta t - \lambda_{24}\Delta t)$.

Второе: в момент t процесс был в состоянии S_1 и за время Δt перешел в состояние S_2 , вероятность этого варианта, как произведения этих двух событий, составит $P_1(t)\lambda_{12}\Delta t$.

Следовательно,

$$P_2(t + \Delta t) = P_2(t)(1 - \lambda_{23}\Delta t - \lambda_{24}\Delta t) + P_1(t)\lambda_{12}\Delta t.$$

Преобразуем данное соотношение:

$$[P_2(t + \Delta t) - P_2(t)] / \Delta t = -\lambda_{23}P_2(t) - \lambda_{24}P_2(t) + \lambda_{12}P_1(t).$$

Устремив Δt к нулю, получим:

$$\frac{dP_2}{dt} = -\lambda_{23}P_2(t) - \lambda_{24}P_2(t) + \lambda_{12}P_1(t).$$

Такое уравнение можно записать для каждого состояния, их называют уравнениями Колмогорова. Правило записи этих уравнений достаточно простое: производная по времени от вероятности любого возможного состояния приравняется алгебраической сумме произведений вероятностей состояний на интенсивность потока событий, взятых для тех стрелок, которые связаны с рассматриваемым состоянием; знак слагаемых: плюс, если стрелка направлена к нему, и минус, если от него; значение интенсивности всегда умножается на вероятность того состояния, из которого стрелка исходит. Соответственно этому правилу общий вид уравнений Колмогорова можно представить в виде

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -P_i(t) \sum_{j \neq i} \lambda_{ij} + \sum_{j \neq i} P_j \lambda_{ji}, \quad ij = 1, 2, \dots, k. \quad (1.14)$$

Граф состояний процесса в совокупности с уравнениями Колмогорова, записанными для него, можно считать полной марковской математической моделью изучаемого процесса.

Отметим, что уравнения (1.14) справедливы и в случае, когда интенсивности потоков событий (λ_{ij}) переменны во времени, т.е. являются функциями времени. Конечно, решение системы дифференциальных уравнений даже при постоянной интенсивности потоков событий может оказаться делом непростым. Но главным в математическом моделировании опасных ситуаций и событий является умение представить процесс адекватной схемой и записать соответствующие дифференциальные уравнения. Современные вычислительные средства позволяют решать и более сложные системы уравнений. При решении системы уравнений следует одно из

дифференциальных уравнений заменить очевидным: $\sum_i^k P_i = 1$.

Далее остановимся на рассмотрении специфических случаев применения теории марковских случайных процессов, а именно:

случая беступикового графа состояний;

случая непурассоновских потоков событий в системе.

Для иллюстрации этих случаев обратимся к графу состояний некоторого условного процесса, приведенного на рис. 1.10.

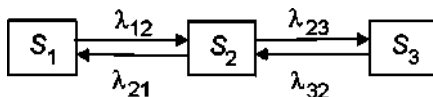


Рис. 1.10

Случайный процесс согласно этому графу состоит из трех состояний, причем процесс протекает так, что он может попадать в любое состояние из любого другого, пусть не непосредственно, а через другие, промежуточные. В графе нет таких состояний (тупиковых), из которых процесс не мог бы выйти, попав в него. Такие графы состояний условимся называть беступиковыми. Если же граф состояний является тупиковым, то процесс будет развиваться так, что рано или позже, попав в тупиковое состояние, он остановится.

Далее предположим, что потоки случайных событий, обозначенных интенсивностями λ_{12} , λ_{23} и λ_{32} , являются пуассоновскими, а поток интенсивностью λ_{21} — непуассоновским. Пусть для последнего потока событий отношение математического ожидания m_t к среднему квадратическому отклонению σ_t случайного времени между следующими друг за другом событиями равно $\sqrt{3}$:

$$m_t / \sigma_t = \sqrt{3}.$$

Поясним вначале, каким образом такой граф состояний можно привести к такому, чтобы все потоки событий в нем можно было бы считать пуассоновскими, и тогда правомерным станет описание процесса уравнениями Колмогорова. Очевидно, для этого следует поток событий интенсивностью λ_{21} считать эрланговским. Порядок соответствующего потока Эрланга найдем согласно соотношению (1.11), в данном случае имеем:

$$z = m_t^2 / \sigma_t^2 = 3.$$

Тогда введем два «псевдосостояния» (не имеет значения, что под ними подразумевается) и будем считать, что переход процесса из состояния S_2 в состояние S_1 происходит не непосредственно, а через псевдосостояния, причем с утроенной интенсивностью пото-

ков событий ($3\lambda_{21}$), которые теперь можно считать пуассоновскими. Видоизмененный граф состояний приведен на рис. 1.11. Теперь с полным основанием можно записать уравнения Колмогорова, решая такую систему уравнений надо помнить, что вероятность состояния S_2 должна вычисляться как $P_2 + P_{21} + P_{22}$.

Теперь обратим внимание на то, что граф состояний, приведенный на рис. 1.10 (следовательно, и на рис. 1.11), является беступиковым. Конечно, если для него будет задано начальное состояние, то можно обычным порядком искать для каждого состояния закон изменения вероятности во времени. Однако при достаточно большом времени, при многократных изменениях состояний процесс станет статистически постоянным – средняя относительная продолжительность пребывания процесса в каждом из состояний окажется постоянной, стремясь к вероятности соответствующего состояния. Следовательно, при достаточно длительном протекании процесса производные по времени от вероятностей состояний могут быть приняты равными нулю. Тогда дифференциальные уравнения (1.14) превратятся в алгебраические. Запишем такие уравнения для графа состояний, приведенного на рис. 1.11:

$$\begin{aligned} -\lambda_{12}P_1 + 3\lambda_{21}P_{22} &= 0; \quad \lambda_{12}P_1 - \lambda_{23}P_2 + \lambda_{32}P_3 - 3\lambda_{21}P_2 = 0, \\ \lambda_{23}P_2 - \lambda_{32}P_3 &= 0; \quad 3\lambda_{21}P_2 - 3\lambda_{21}P_{21} = 0; \quad 3\lambda_{21}P_{21} - 3\lambda_{21}P_{22} = 0. \end{aligned}$$

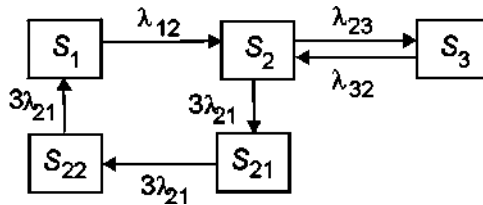


Рис. 1.11

Решая эту систему уравнений, получим:

$$\begin{aligned} P_1 &= 3\lambda_{21}\lambda_{32} / (3\lambda_{21}\lambda_{32} + 3\lambda_{12}\lambda_{32} + \lambda_{12}\lambda_{23}); \\ P_2 = P_{21} = P_{22} &= \lambda_{32}\lambda_{12} / (3\lambda_{21}\lambda_{32} + 3\lambda_{12}\lambda_{32} + \lambda_{12}\lambda_{23}); \\ P_3 &= \lambda_{21}\lambda_{23} / (3\lambda_{21}\lambda_{32} + 3\lambda_{12}\lambda_{32} + \lambda_{12}\lambda_{23}). \end{aligned}$$

Соответствующие численные значения вероятностей, полученные из этих соотношений, выражают долю времени, в течение которого процесс будет оставаться в соответствующем состоянии. С учетом того, что состояния S_{21} и S_{22} – фиктивные, доля времени, в течение которого процесс будет пребывать в фактическом состоянии S_2 , будет равна: $P_2 + P_{21} + P_{22}$.

1.7. Элементы теории надежности

Надежность все более и более становится важнейшим фактором разработки инженерных систем, так как наша жизнь больше чем когда-либо зависит от удовлетворительного функционирования этих систем. Примеры этих систем – компьютеры, поезда, автомобили, самолеты и космические спутники. Некоторые из определенных факторов, которые играют ключевую роль в увеличении важности надежности разрабатываемых систем, включают сложность системы; усовершенствование, увеличение числа судебных процессов, связанных с качеством; общественное давление; высокая стоимость; прошлые отказы (аварии) систем и потеря престижа.

Тем не менее, стоимость проверки качества составляет приблизительно 7 – 10 % от полного коммерческого дохода изготовителей.

Сегодня безопасность стала критической проблемой, потому что каждый год очень большое число людей умирает и серьезно травмируется в результате несчастных случаев. Например, в США согласно ежегодному отчету Совета национальной безопасности за 1996 г. было зарегистрировано 93400 смертных случаев и большое число травмированных в результате несчастных случаев. Общий ущерб от этих несчастных случаях оценивается приблизительно в 121 млрд дол.

Сегодня миллиарды долларов тратятся ежегодно, чтобы произвести новые изделия с использованием современных технологий. Многие из этих изделий очень сложны и состоят из миллионов частей. Например, Боинг 747 содержит приблизительно 4,5 млн деталей. Надежность, качество и безопасность таких систем важны как никогда.

В начале 60-х годов прошлого века анализ безопасности базировался на эмпирических методах, а термин надежность имело весьма

ограниченное применение [6 – 9]. Толчок для создания численных методов оценки надежности был дан авиационной индустрией. В частности, увеличение интенсивности полетов и авиационных катастроф привело к выработке критериев надежности и требований к безопасности. Так, было установлено, что одна катастрофа приходится в среднем на 1 млн посадок. Следовательно, для создаваемых автоматических систем посадок допустимым можно было принять частоту катастроф одну на 10 млн.

В США в 40-х годах прошлого века основные усилия по повышению надежности были сосредоточены на улучшении качества. Разнообразные меры были направлены на увеличение долговечности машин: совершенные конструкции, повышенная прочность материалов, чистота обработки, повышение прочности и новейшие измерительные инструменты. Например, фирма «Дженерал моторс» увеличила ресурс двигателей локомотивов в четыре раза за счет улучшенной изоляции и применения усовершенствованных подшипников.

В 50-е годы министерство обороны США обнародовало информацию о том, что годовая стоимость обслуживания вооружения составляет 2 дол. на 1 дол. стоимости вооружения. Таким образом, за 10 лет эксплуатации вооружения стоимостью 1 млн дол. требуется 20 млн дол. на его содержание. Это показало целесообразность мероприятий по повышению надежности конструкций еще на стадии проектирования. В эти же годы положено начало разработке методов количественной оценки «человеческого фактора» – оценки вклада ошибок человека в аварийность систем «человек – машина». Частота ошибок человека в зависимости от условий составила 0,01 – 0,02. Это позволило в дальнейшем учитывать человеческие ошибки при проведении оценок надежности.

В 60-е годы в связи с развитием космической техники назрела необходимость в новых методах повышения надежности. Основные усилия были сосредоточены на последствиях отказов различных элементов в системах. В 1961 г. Х.А. Уотсон из «Белл телефон» предложил метод анализа надежности с использованием дерева отказов для систем управления межконтинентальными ракетами «Минитмен». В дальнейшем Д.Ф. Хаасль развил эту методику для широкого круга технических проблем, относящихся к надежности. В 1966 г. министерство обороны США приняло стандарты и ввело

требования по проведению анализа надежности всех видов вооружений. В эти же годы стали широко издаваться книги и журналы, посвященные надежности. Все это привело к накоплению и систематизации данных по параметрам элементов, систем и ошибок человека.

70-е годы ознаменовались интенсивными работами в области оценки безопасности атомных электростанций. Она ознаменовалась выходом в 1977 г. «WASH-1400. Анализ безопасности реактора». Руководимая профессором Н. Расмуссеном группа исследователей проанализировала возможные аварии в атомной энергетике, провела их классификацию в зависимости от вероятности появления и оценила потенциальные последствия в отношении населения. Используемые в этом отчете дерево отказов, дерево событий и методы оценки риска стали использоваться и в других отраслях промышленности.

Возрастание индустриальных опасностей на человека и окружающую среду, и рост в связи с этим озабоченности населения привели к принятию в развитых странах ряда законов, предписывающих проведение исследований источников риска перед началом строительства предприятий. Принятие в США законов об охране здоровья на производстве привело к увеличению расходов в 1977 г. только в химической промышленности на 2 млрд дол.

Статические модели оценки надежности. Во многих случаях надежность технических систем оценивают без учета фактора времени. При этом надежность компонентов системы предполагается постоянной. Как правило, этот тип анализа – обычно предварительный или элементарный анализ. Надежность системы при этом представлена блок-схемой. В свою очередь, блок-схема составлена из многих составляющих блоков, представляющих подсистемы (части системы). Вероятность отказа, или надежность системы, оценивают путем оценки вероятности отказа (надежности) составляющих блоков. При этом вероятность отказа компонентов предполагается не изменяющейся со временем (постоянной). Обычно при таком типе анализа надежности предполагается, что компоненты отказывают независимо друг от друга. Ниже будут рассмотрены три типа соединений элементов: последовательный, параллельный и типа моста.

Последовательное соединение элементов. Это соединение – наиболее простое из всех соединений, и ее блок-схема приведена на рис. 1.12. Каждый блок на диаграмме представляет один компонент (элемент). Более определенно блок-схема представляет систему с n элементами, действующими последовательно. Если любой из элементов отказывает – отказывает система. Другими словами, все элементы должны работать для успешной работы системы.

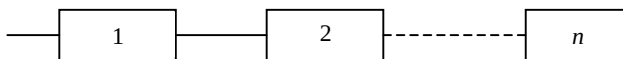


Рис. 1.12

Надежность системы R_s , представленной на рис. 1.12, описывается формулой

$$R_s = P(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1.15)$$

где R_s – надежность системы или вероятность ее безотказной работы; x_i – событие, означающее безотказную работу элемента i , $i = 1, 2, \dots, n$; $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вероятность реализации событий $x_1, x_2, \dots, x_n$.

Для независимо отказывающих элементов i уравнение (1.15) трансформируется в

$$R_s = P(x_1)P(x_2) \dots P(x_n), \quad (1.16)$$

где $P(x_i)$ – вероятность появления события i , $i = 1, 2, \dots, n$.

Обозначив $R_i = P(x_i)$, можно записать

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i, \quad (1.17)$$

где R_i – надежность i -го элемента.

Иными словами, надежность элементов, соединенных последовательно, равна произведению надежностей элементов.

Пример. Допустим, система состоит из трех независимых одинаковых элементов с надежностью $R_i = 0,8$; $i = 1, 2, 3$. Если отказы-

ваает один из элементов, то система выходит из строя. Какова надежность системы?

Подставив значения $R_i = 0,8$ в уравнение (1.17), получим

$$R_s = (0,8) \cdot (0,8) \cdot (0,8) = 0,512.$$

Параллельное соединение элементов. Этот тип соединения представляет систему элементов, функционирующих одновременно. При этом предполагается, что для нормальной работы системы должен работать хотя бы один элемент. Система n параллельно соединенных элементов представлена на рис. 1.13. Вероятность отказа системы определяется как

$$P_s = P(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n), \quad (1.18)$$

где $\bar{x}_i$ – событие, означающее отказ элемента; $i = 1, 2, \dots, n$; $P(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ – вероятность появления событий $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n$.

Для независимо отказывающих элементов уравнение (1.18) можно переписать как

$$P_s = P(\bar{x}_1) P(\bar{x}_2) \dots P(\bar{x}_n), \quad (1.19)$$

где $P(\bar{x}_i)$ – вероятность события $\bar{x}_i$ (отказа элемента i); $i = 1, 2, \dots, n$.

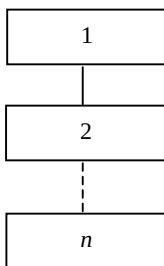


Рис. 1.13

Пример. Система состоит из трех независимых идентичных элементов, функционирующих одновременно. Работоспособность ее сохраняется, если хотя бы один элемент работоспособен. Найти вероятность отказа системы, если вероятность отказа элемента равна 0,1.

Подставив данные в уравнение (1.19), получаем

$$P_s = (0,1) \cdot (0,1) \cdot (0,1) = 0,001.$$

Методы оценки надежности. Оценка надежности – важное направление для обеспечения надежности технических изделий. Она обычно начинается на стадии проектирования. За последние годы были развиты различные методы оценки надежности. К ним относятся: метод дерева отказов, метод дерева событий, марковский метод, метод таблиц решений, метод сокращений сети, анализ видов отказов и последствий, анализ критичности, предварительный анализ опасности и другие, а также различные их разновидности. Конкретное использование этих методов зависит от различных факторов, включая требования, выдвигаемые при решении конкретной задачи. Например, метод дерева отказов является одним из основных инструментов оценки надежности в ядерной индустрии. Необходимо иметь в виду и то, что использование некоторых методов предполагает наличие опыта по их использованию. Это, в частности, относится к методу дерева отказов. Другие же методы, например метод сокращения сети, не требуют наличия определенного опыта.

Ниже дается представление об основных методах оценки надежности.

Метод упрощения сети (схемы). Это один из самых простых методов оценки надежности системы, состоящей из подсистем: последовательно и параллельно соединенных элементов. Последовательно объединяя и уменьшая количество последовательных и параллельных подсистем можно свести сложную систему к гипотетической единице. Главное преимущество этого подхода состоит в том, что он прост в понимании и легко применим. Продемонстрируем метод на следующем примере.

Пример. Схема на рис. 1.14 представляет собой систему с независимыми элементами – каждый блок есть отдельный элемент. Надежности элементов R_i для $i = 1, 2, \dots, 5$ приведены здесь же. Определим надежность системы с использованием метода упрощения.

Во-первых, выделим подсистемы А, В и С как показано на рис. 1.14, а. Подсистема А включает элементы 1 и 2, соединенные

последовательно. Заменяем их одним гипотетическим элементом с надежностью

$$R_A = R_1 R_2 = (0,4) \cdot (0,5) = 0,2;$$

где R_A – надежность подсистемы А.

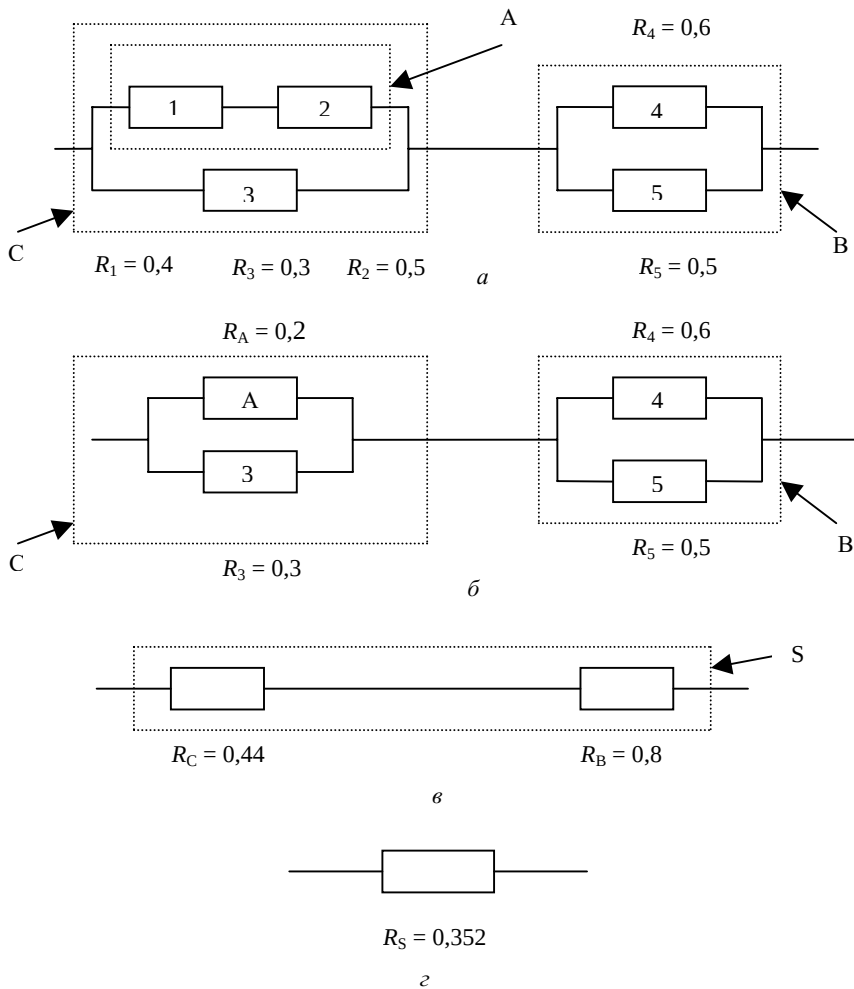


Рис. 1.14

Таким образом, подсистема А упрощается до единственного гипотетического элемента, имеющего надежность 0,2. Соответственно, упрощенная схема приведена на рис. 1.14, б. Левая часть системы содержит два элемента А и З, соединенных параллельно. Упростим подсистему С, сведя ее к одному гипотетическому элементу следующим образом:

$$R_C = 1 - (1 - R_A)(1 - R_3) = 1 - (1 - 0,2) \cdot (1 - 0,3) = 1 - 0,56 = 0,44.$$

Аналогичным образом упростим подсистему В:

$$R_B = 1 - (1 - R_4)(1 - R_5) = 1 - (1 - 0,6) \cdot (1 - 0,5) = 1 - 0,2 = 0,8.$$

Соответствующая упрощенная схема приведена на рис. 1.14, в.

Таким образом, система упростилась до двух гипотетических элементов В и С, соединенных последовательно. Надежность этой системы определяется как

$$R_S = R_B R_C = (0,8) \cdot (0,44) = 0,352,$$

т.е. исходная схема из пяти элементов упрощена до одного гипотетического элемента (см. рис. 1.14, г) с надежностью R_S , которая равна надежности исходной сети.

Дерево отказов. Метод анализа с использованием дерева отказов был разработан в лаборатории «Белл телефоун» Х.А. Уотсоном в 1961 – 1962 гг. Полезность дерева отказов заключается в следующем:

- 1) анализ сосредоточен на отыскании отказов;
- 2) выявляются важные для отказов аспекты системы;
- 3) обеспечивается графическое представление материала;
- 4) появляется возможность проведения качественного и количественного анализа надежности системы;
- 5) обеспечивается возможность сосредоточиться на конкретном отказе системы;
- 6) появляется возможность глубокого проникновения в процесс работы системы.

Фактически деревья отказов стали средством общения специалистов.

Основная структура дерева отказов приведена на рис. 1.15.

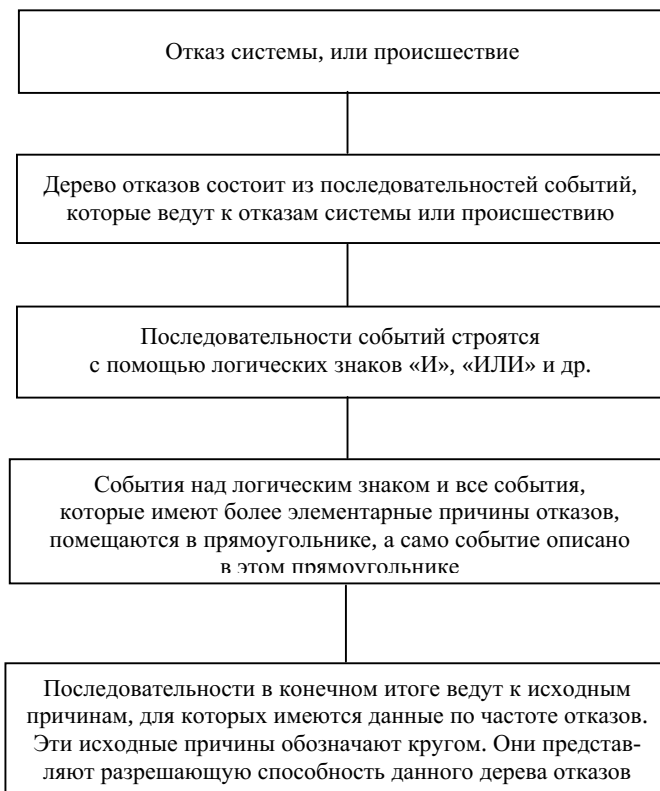


Рис. 1.15

Нежелательное событие, являющееся предметом анализа, располагается вверху дерева отказов (конечное событие) и соединяется с другими элементарными отказами вплоть до исходных путем *констатаций событий и логических символов*. Основное преимущество дерева отказов в сравнении с другими методами заключается в том, что анализ ограничен выявлением только тех элементов системы и событий, которые приводят к данному конкретному отказу или аварии.

Построение дерева отказов является определенным видом искусства в науке. Вряд ли найдутся два специалиста, которые создадут два идентичных дерева отказов. Эти деревья, естественно, должны быть эквивалентны в смысле выявления отказов. В этом

смысле ответ на вопрос о пригодности для использования процедур дерева отказов (если это искусство) является открытым.

Основные блоки дерева отказов. Для отыскания и наглядного представления причинной взаимосвязи с использованием дерева отказов необходимы блоки, подразделяющие и связывающие события. Существует два типа блоков: *логические символы* и *символы событий*.

Логические символы. Логические символы связывают события в соответствии с причинными взаимосвязями. Основные логические символы приведены на рис. 1.16. В нижней части логического знака располагаются входные события, в верхней – выходное. Входных событий может быть два или более, выходное – одно.

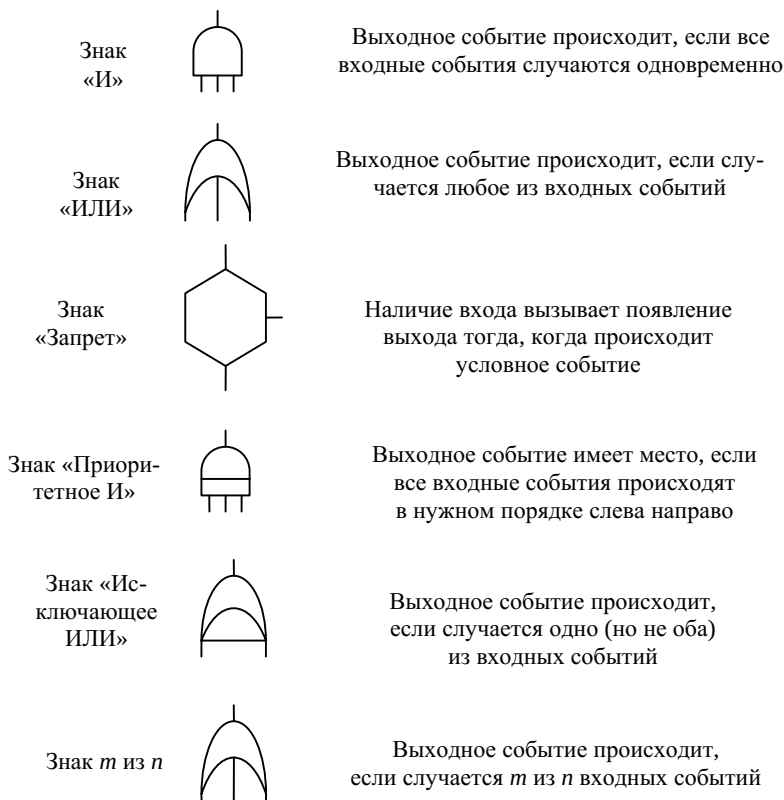


Рис. 1.16

Выходное событие логического знака «И» наступает в том случае, когда все входные события появляются одновременно. Выходное событие у логического знака «ИЛИ» наступает, когда имеет место любое из входных событий.

Причинные связи, определяемые логическими связями «И» и «ИЛИ», являются детерминированными в том смысле, что появление выходного события полностью определяется входными. Для представления вероятностных причинных связей используется логический знак «Запрет». Наличие входа вызывает появление выхода тогда, когда происходит условное событие. Иными словами, входное событие вызывает выходное событие с вероятностью появления условного события. Например, события «утечка горючей жидкости» и «пожар» связаны не детерминированной, а вероятностной связью, так как не всякая утечка горючей жидкости приводит к пожару. Для возникновения пожара необходимо условное событие – наличие источника воспламенения.

Примеры использования логических знаков «И» и «ИЛИ», или пример дерева отказов, приведены на рис. 1.17.

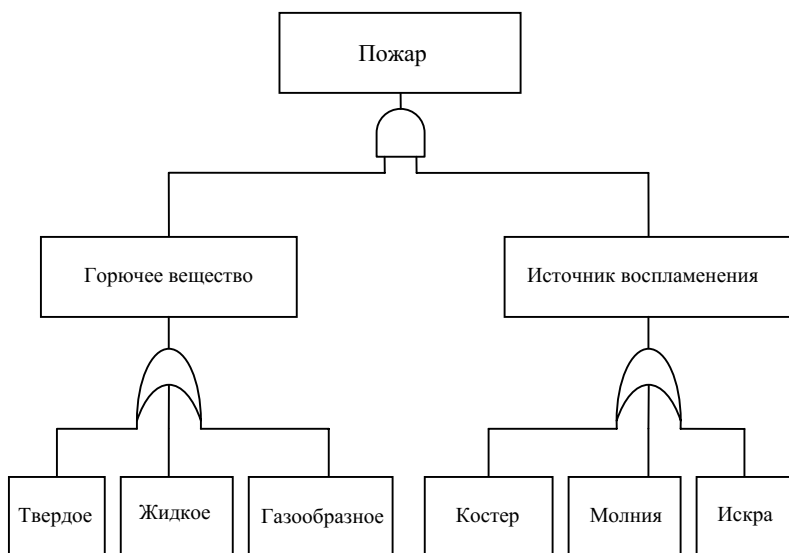


Рис. 1.17

Символы событий. Символы событий приведены на рис. 1.18. Круг обозначает исходное событие, обеспеченное достаточными данными, т.е. по которому есть данные по вероятности отказов. Ромб – событие недостаточно детально разработанное, т.е. не обеспеченное данными по вероятности отказов. Прямоугольник – событие, которое вводится логическим элементом, т.е. описываемое в этом прямоугольнике. Овал – условное событие, используемое с логическим знаком «Запрет». Для описания события, которое может случиться или не случиться, используется символ «Домик». Для упрощения изображения дерева отказов используются символы «Треугольники».

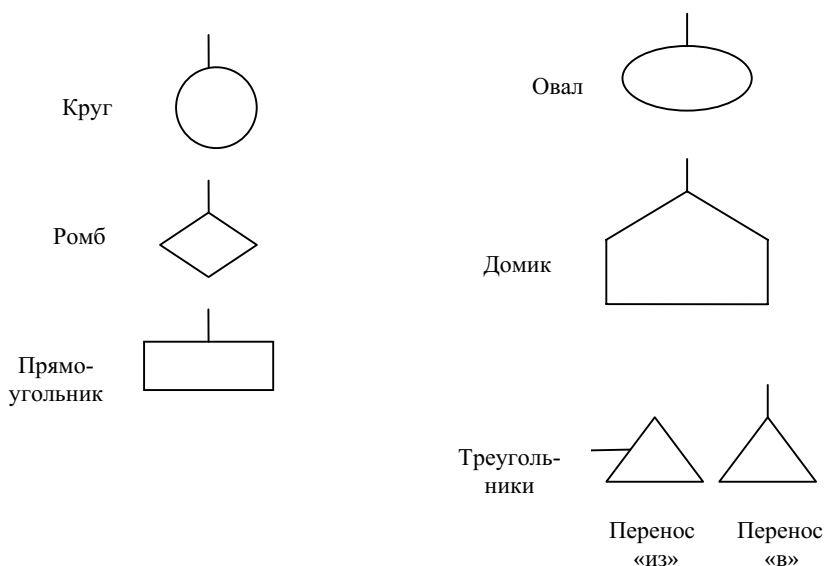


Рис. 1.18

Нахождение аварийного события. Для анализа причинных связей в системе имеются два подхода: прямой анализ и анализ с обратным порядком. Анализ с прямым порядком начинается с определения перечня отказов и развивается в прямом направлении с определением последствий этих событий.

При этом используется прямая (индуктивная) логика: «Что случится, если откажет насос?» Анализ с обратным порядком начинается с отыскания опасного состояния системы. От этого состояния

в обратном направлении отыскиваются возможные причины появления этого состояния. При этом используется обратная (дедуктивная) логика: «Каким образом может отказать система?» Характерным примером использования прямого подхода является построение дерева событий, обратного – дерева отказов. При выполнении анализа в прямом порядке принимается набор последовательностей событий, и составляются соответствующие им сценарии, оканчивающиеся опасными состояниями. Для составления сценария необходимы данные по *взаимосвязи элементов* и *топографии системы*, а также данные по отказам элементов. Эти же данные необходимы и для построения дерева отказов.

Взаимосвязи элементов и топография системы. Система включает элементы оборудования, персонал, которые находятся в окружающей и социальной среде и подвергаются старению. Старение, окружающая среда и персонал могут влиять на систему только посредством влияния на элементы. Каждый элемент в системе связан с другими. Эти связи специфичны и могут по-разному проявляться в различных системах. При проведении анализа надежности системы необходимо уточнить взаимосвязи и топографию системы.

Характеристики отказов элементов. При анализе причинных связей основными данными являются данные по отказам. Отказы классифицируются на *первичные*, *вторичные* и *ошибочные команды*.

Первичный отказ элемента определяют как его нерабочее состояние, причиной которого является сам элемент. Эти отказы происходят при входных воздействиях, находящихся в номинальном диапазоне. Причина этих отказов – естественное старение.

Для вторичного отказа сам элемент не является причиной отказа. Их причина – предыдущие или текущие избыточные нагрузки на элементы. Эти нагрузки могут быть вызваны соседними элементами, окружающей средой или персоналом. Примером такого рода отказов может быть «Выход из строя устройства из-за повышенного напряжения в сети». Как правило, вторичные отказы не обеспечены данными по частоте (вероятности) отказов. Если же вид первичного или вторичного отказа определен и данные по нему известны, их рассматривают как исходные, которые в дереве отказов помещают в круг.

Ошибочные команды представляются в виде элемента, который находится в нерабочем состоянии из-за неправильного сигнала

управления или помехи при этом в отличие от двух предыдущих видов отказов может не требоваться ремонт для возвращения в исходное состояние. Пример ошибочной команды «Оператор не включил сигнал оповещения».

На рис. 1.19 приведены характеристики отказов элементов. Он включает «Отказ элемента», виды отказов, их характеристику и причины. На рис. 1.19 обозначено: 1 – первичный отказ; 2 – вторичные отказы; 3 – ошибочные команды; 4 – элементы в заданных режимах работы; 5 – избыточные напряжения; 6 – ошибочные команды; 7 – естественное старение; 8 – соседние элементы; 9 – окружающая среда; 10 – персонал предприятия.

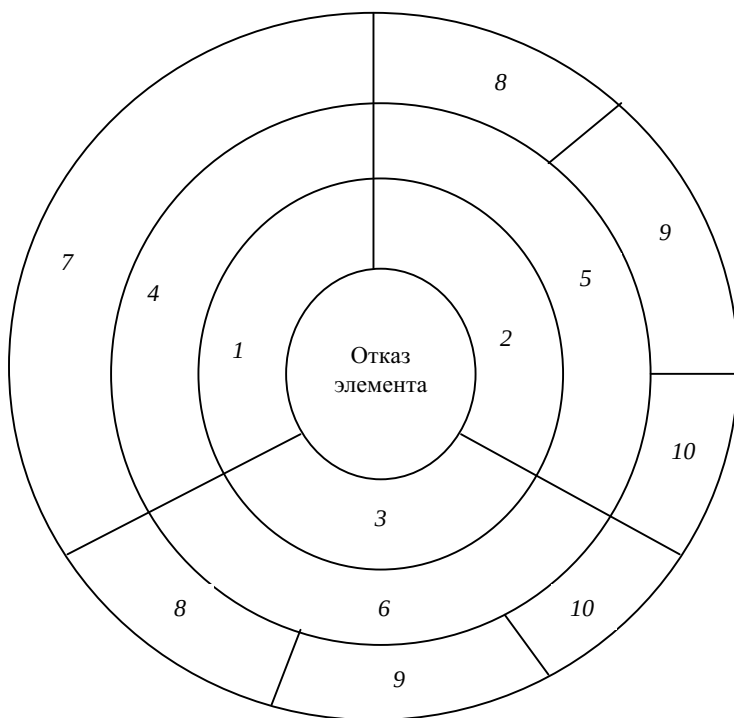


Рис. 1.19

Эвристические правила для построения дерева отказов. Алгоритм разработки отказа элемента приведен на рис. 1.20. Он включает первичный отказ, вторичный отказ и ошибочную коман-

ду. При анализе системы с использованием дерева отказов ошибочная команда является обычно событием «Состояние системы», которое следует разрабатывать детальнее, пока не будут найдены соответствующие события типа «Состояние элемента».

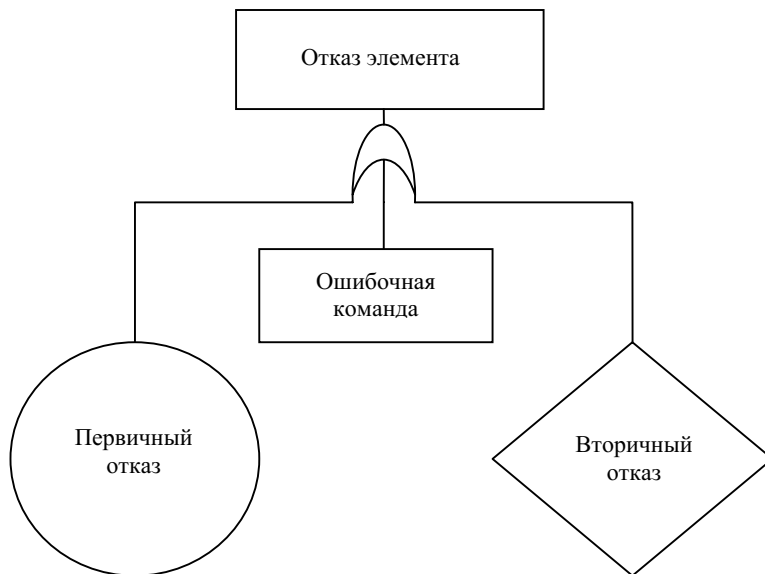


Рис. 1.20

При построении дерева отказов применяют семь основных правил, в соответствии с которыми необходимо:

- 1) заменять абстрактные события менее абстрактными;
- 2) разделять события на более элементарные;
- 3) точно определять причины событий;
- 4) связывать инициирующие события с событием типа «отсутствие защитных действий»;
- 5) отыскивать совместно действующие причины событий;
- 6) точно указывать место отказа элемента;
- 7) детально разрабатывать отказы элементов в соответствии с электрической схемой, приведенной на рис. 1.20, где 1 – генератор; 2 – выключатель; 3 – электродвигатель; 4 – кабель; 5 – предохранитель.

Построение дерева отказов для сложных систем требует значительных затрат средств и времени. К тому же при построении неизбежны ошибки человека. Были разработаны различные методы, позволяющие упростить процесс построения дерева отказов, например метод построения дерева отказов при помощи таблиц решений. При этом используется компьютерная программа, что позволяет сравнительно быстро построить дерево отказов.

Построение дерева отказов. Рассмотрим пример построения дерева отказов для конечного события «отказ запуска электродвигателя» в системе рис. 1.21.

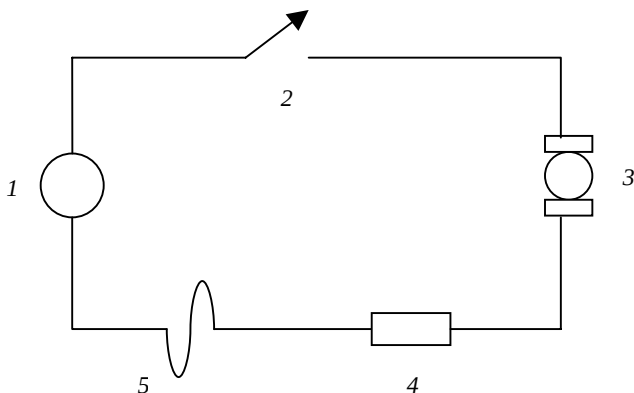


Рис. 1.21

Дерево отказов является графическим представлением причинных взаимосвязей, полученных в результате прослеживания опасных ситуаций в системе в обратном порядке для отыскания возможных причин их возникновения. Таким образом, опасная ситуация в системе является конечным событием дерева отказов. В нашем случае полное конечное событие – «Отказ запуска электродвигателя при включении выключателя».

Это событие может быть вызвано тремя причинами:

- 1) первичный отказ электродвигателя;
- 2) вторичный отказ;
- 3) ошибочная команда.

Первичный отказ – отказ электродвигателя в результате естественного старения. Вторичные отказы происходят из-за причин, лежащих за пределами, заданными техническими условиями, например, как:

- перегрев обмотки,
- недопустимые вибрации,
- неправильное обслуживание.

Ошибочные команды вызываются самопроизвольными управляющими сигналами или помехами. В нашем случае это «Отсутствие напряжения на электродвигателе».

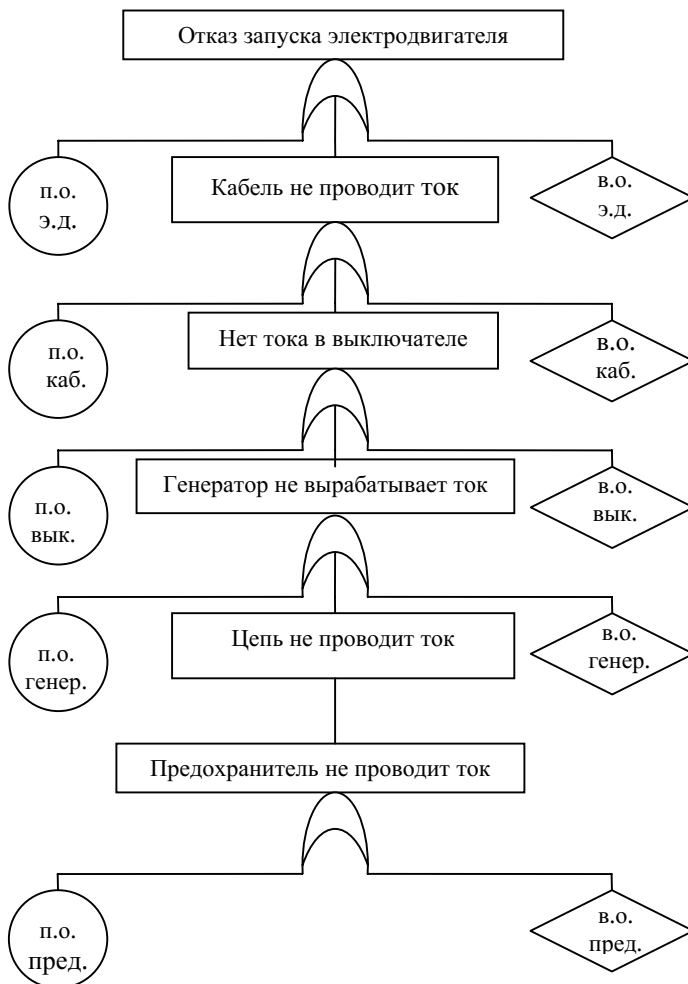


Рис. 1.22

Дерево отказов для данной системы приведено на рис. 1.22, где п.о. и в.о. – первичный и вторичный отказы соответственно; каб. – кабель; вык. – выключатель; э.д. – электродвигатель; генер. – генератор; пред. – предохранитель.

Причины, приведшие к вторичному отказу, могли произойти в любое время до рассматриваемого момента t . Но процесс не рассматривается во времени, т.е. первичный или вторичный отказы в момент t являются конечными событиями, а детальный анализ не проводится. Иными словами, дерево отказов есть «Мгновенный» снимок системы в момент времени t . Первичное событие заключено в круге, поскольку является исходным событием, для которого есть данные по отказам. Вторичное событие не является полностью разработанным, поэтому помещается в ромб. Количественные характеристики вторичных отказов необходимо оценить соответствующими методами, после этого они становятся исходными событиями. Ошибочная команда «Нет напряжения на электродвигателе» возникает при отказе соседних элементов. В дереве отказов представлена более детальная проработка этого события. В итоге она приводит к событию «Предохранитель не проводит ток». Это событие может происходить как из-за первичного отказа предохранителя, так из-за вторичного отказа. Можно ввести соответствующую ошибочную команду, однако все элементы цепи рассмотрены ранее, и не было обнаружено отказов, вызывающих это событие. Следовательно, можно не учитывать данную ошибочную команду, т.е. дерево отказов построено полностью.

Дерево событий. Дерево событий используется для определения последовательности событий при аварии, при этом применяется прямая (индуктивная логика), т.е. задается вопрос: «Что случится, если ...?» Рассмотрим пример построения дерева отказов при аварии с потерей теплоносителя для типичной атомной электростанции (АЭС). Авария начинается с разрушения трубопровода, имеющего вероятность P_A (рис. 1.23). Анализируются возможные варианты развития событий, которые могут последовать за разрушением трубопровода. Дерево событий изображает все возможные альтернативы (и их вероятности). На первой ветви рассматривается состояние электрического питания. Если питание есть, подвергается анализу аварийная система охлаждения активной зоны реактора.

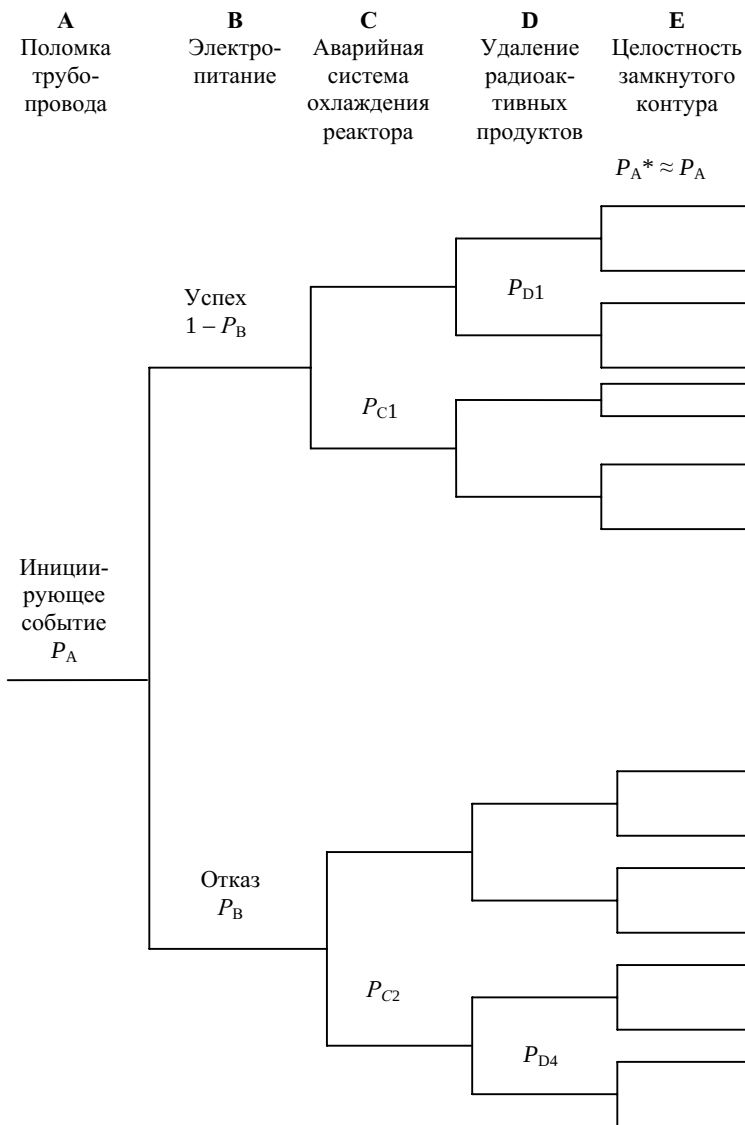


Рис. 1.23

Ее отказ с вероятностью P_{C1} может привести к расплавлению топлива и утечке радиоактивных продуктов. Работоспособность системы удаления радиоактивных отходов, в свою очередь, приводит к

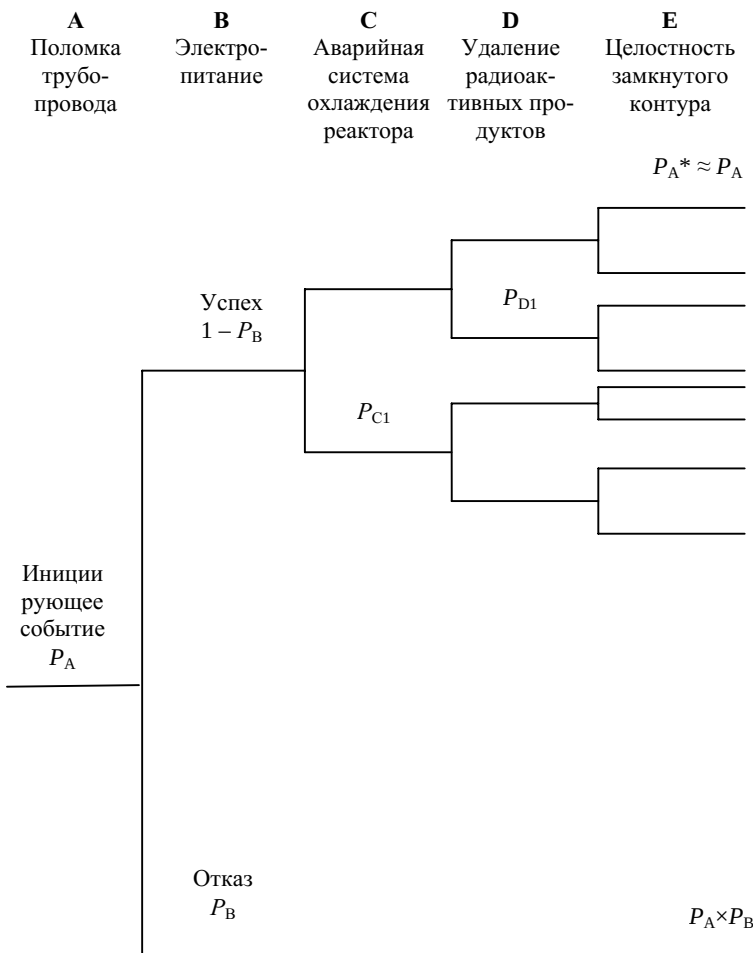


Рис. 1.24

меньшим утечкам, чем в случае ее отказа. Рассмотрев все варианты дерева отказов, получаем различные варианты возможных утечек и их вероятности для различных сценариев развития аварии.

На практике в ряде случаев удастся упростить построенное дерево отказов. В нашем примере в случае отказа электрического питания никакие системы защиты задействованы быть не могут. Упрощенное дерево отказов при аварии с потерей теплоносителя

на АЭС, приведенное на рис. 1.24, не содержит выбора в случае отсутствия электропитания. В этом случае происходит очень большая утечка с вероятностью $P_A \times P_B$.

Подсчет количеств утечки радиоактивного материала для каждого варианта развития аварии и их графическое представление дает фактически кривую Фармера, которая служит оценкой надежности реактора. Кривая Фармера – зависимость между средней величиной радиоактивных утечек в атмосферу из реактора и вероятностью этого события – спадающая кривая, отделяющая область недопустимого риска (выше и правее) от области приемлемого риска (ниже и левее).

1.8. Государственное нормативно-правовое обеспечение БЖД

Опасности всегда были и остаются недружелюбными попутчиками человечества. Они, как тени, постоянно сопровождают людей, но в отличие от теней проявляют назойливость, часто перерастающую во враждебность, а то и в агрессию. Для защиты от опасностей, преследующих современного человека, не достаточно простой индивидуальной осмотрительности, хотя, конечно, она должна иметь место; необходимо социально организованное противодействие опасностям. Обеспечение безопасности является государственно-значимой проблемой, оно должно осуществляться всеми, постоянно и повсеместно и под патронажем государственных институтов.

Проблема государственного обеспечения БЖД значительно шире излагаемой нами тематики учебной дисциплины. Однако интуитивно понятно, что нормы и правила БЖД, изучаемые в рамках учебных программ, являются продуктом государственного регулирования безопасности жизни и деятельности граждан. Поэтому представляется целесообразным кратко рассмотреть систему мер государственного регулирования безопасности и увидеть ту ее условно обособленную часть, которую здесь рассматриваем как учебную дисциплину «Безопасность жизнедеятельность».

Систему общегосударственных мер по обеспечению безопасности граждан в Российской Федерации можно условно представить в виде двух ее составляющих:

- 1) правовых нормативных актов;

2) институтов, практически обеспечивающих минимизацию рисков.

Соответствующие этому компоненты системы безопасности могут быть представлены схемой, показанной на рис. 1.25.

Конституция РФ провозглашает право каждого на безопасные условия жизни. Конечно, это право не абсолютно, оно ограничивается рамками возможностей государства, которые, кстати сказать, находят свое отражение в упоминавшейся выше концепции приемлемого риска.

Государственное видение проблемы безопасности жизнедеятельности содержится во многих общедоверальных нормативных актах. Обобщенно и конкретно на сегодняшний день эти взгляды изложены в Законе «О безопасности» № 4235-1 от 25.12.1992 и в Концепции национальной безопасности № 24 от 10.01.2000, утвержденной Президентом РФ.

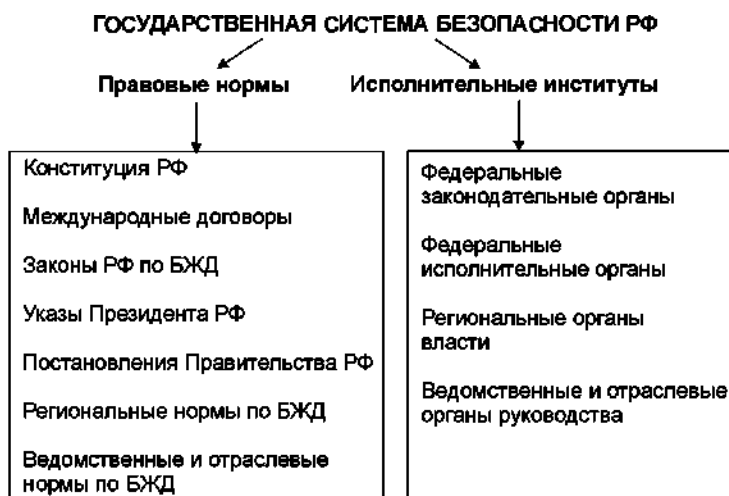


Рис. 1.25

Исходным положением Закона «О безопасности» является декларирование обязательства государства обеспечить *безопасность каждого гражданина, защиту интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз*. Государство возлагает на себя функции прогнозирования угроз, поддержание в готовности сил и средств обеспечения безопасности, управление ими в условиях

чрезвычайных ситуаций. Полномасштабное обеспечение безопасности возлагается на Совет безопасности РФ, возглавляемый Президентом РФ. Совет безопасности создает постоянно действующие, а в особых случаях – временные, комиссии, которые в непрерывном режиме исполняют свои руководящие полномочия. В поле зрения Закона «О безопасности» состоят, в основном, опасности и угрозы, имеющие статус чрезвычайных или общенациональных.

Концепция национальной безопасности содержит изложение взглядов и установок по конкретным внутренним и внешним угрозам. Акцент в ней также делается на угрозах, диктующих создание силовых структур. Некоторые из перечисляемых в Концепции угроз напрямую связаны с тематикой учебной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности». К ним относятся угрозы военного характера, чрезвычайные техногенного и природного происхождения.

Законодательные акты по проблематике БЖД многочисленны, более того, любой государственный акт подвергается экспертизе по критерию безопасности жизнедеятельности в широком смысле этого термина. Приведем далеко неполный перечень законов, которые создают нормативную базу безопасности жизнедеятельности в Российской Федерации.

1. Закон «Об обороне» № 61-ФЗ от 31.05.1996.
2. Закон «О гражданской обороне» № 28-ФЗ от 12.02.1998.
3. Закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» № 68-ФЗ от 21.12.1994.
4. Закон «О радиационной безопасности населения» № 03-ФЗ от 09.01.1996.
6. Закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.1997.
7. Закон «О техническом регулировании» № 184-ФЗ от 27.12.2002.
8. Закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ от 30.03.1999.
9. Трудовой кодекс РФ от 31.12.2001 (раздел «Охрана труда»).
10. Закон «О борьбе с терроризмом» № 130-ФЗ от 25.07.1998.

Даже этот неполный список приведенных законов, судя по их названиям, свидетельствует об исключительно высокой значимости, которая придается в Российской Федерации проблеме БЖД. К от-

дельным законам еще вернемся при дальнейшем изложении нюансов конкретных опасностей и, соответственно, мер по защите от них.

Примером указов Президента РФ по проблеме безопасности могут служить Указы «Основы единой государственной политики в области обеспечения безопасности на период до 2010 года»:

- ядерной и радиационной – Пр – 2106 от 4.12.2003;
- химической и биологической – Пр – 2194 от 4.12.2003;
- в области гражданской обороны – Пр – 12 от 5.12.2004.

В качестве примера постановления Правительства РФ по проблеме БЖД назовем Постановление «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» № 794 от 30.12.2003.

Далее обратим внимание на порядок соблюдения и исполнения правовых норм БЖД в РФ. На выполнение этих функций уполномочены практически все органы исполнительной власти РФ всех уровней, а также руководящие органы отраслей, ведомств, предприятий и прочих объектов хозяйственной деятельности вне зависимости от их форм собственности. Обычно полномочия властных органов распространяются на соответствующие административно-территориальные единицы, а руководящих органов производственных отраслей – на функциональные объекты хозяйственной деятельности. За повседневное проведение в жизнь законодательных норм по БЖД в РФ персонально ответственным является премьер-министр, который, кстати, в условиях военного времени становится начальником гражданской обороны. Общая координация деятельности структур государственной власти в области охраны труда осуществляется федеральным органом исполнительной власти по труду.

Среди министерств РФ следует выделить группу таких, которые по функциональному предназначению нацелены исключительно на обеспечение безопасности жизнедеятельности на общегосударственном уровне. Такие министерства, как правило, являются силовыми, возглавляющие их министры подчиняются непосредственно Президенту РФ. К числу таких министерств относятся МВД, МЧС, МО, МИД, Минюст, ФСБ. Подчиненность силовых министров непосредственно Президенту РФ подчеркивает приоритетность проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности.

Силовые способы обеспечения безопасности не являются предметом нашего изложения. Обобщенно, в кратком изложении опишем принципы государственного обеспечения безопасности лишь для трех интересующих нас секторов проблематики БЖД. К ним относим:

- охрану труда;
- техногенные и экогенные чрезвычайные опасности;
- гражданскую оборону.

Государственное управление охраной труда в РФ провозглашается приоритетным принципом государственной политики в области БЖД. Государство через систему контролирующих органов ведет строгий надзор за соблюдением требований охраны труда, за соблюдением принятых правовых норм. Концентрированное изложение правовых основ охраны труда содержится в 10-й главе Трудового кодекса РФ. Конкретные обязательные общегосударственные правила обеспечения безопасности участников трудовой деятельности, сохранения их жизни и здоровья содержатся в системе стандартов по безопасности труда (ССБТ), в частности, в системе ГОСТов, относящихся к 12-й группе. Полное обозначение любого ГОСТа этой группы можно понять на примере: «ГОСТ 12.1.030 – 81», в нем цифрами обозначены: 1 – правила электробезопасности; 030 – стандарты защитного заземления; 81 – год утверждения стандарта.

С принятием в 2003 г. Закона «О техническом регулировании» государственная система стандартов в значительной мере утрачивает свою приоритетность. Этим законом вводится в практику новый нормирующий документ – «регламент», который, как и ГОСТы, подлежит государственной регистрации, становится обязательным для исполнения всех заявителей, декларирующих безопасность своей деятельности.

Все требования охраны труда государством объявляются обязательными для исполнения юридическими и физическими лицами при осуществлении ими любых видов деятельности. Обеспечение безопасности трудовой деятельности является обязанностью работодателя. Для практического исполнения этих полномочий в организациях с численностью работников более 100 должна создаваться служба охраны труда или должен назначаться ответственный специалист по охране труда. За неисполнение полномочий по ох-

ране труда законом предусматривается наказание виновных вплоть до уголовного.

Государственное управление защитой от чрезвычайных опасностей в РФ осуществляется в рамках созданной в 1992 г. «Единой государственной системы предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций» – РСЧС. Здесь нужно снять недоразумение, которое, возможно, возникнет у пользователя данным пособием. В приведенном названии системы участвует термин «ситуация» и нет термина «событие». Придерживаясь введенной нами терминологии, с учетом фактического предназначения, данную систему можно бы назвать семантически более точно: «... системой предупреждения чрезвычайно опасных ситуаций и ликвидации последствий чрезвычайно опасных событий».

По установившейся терминологии опасность относится к чрезвычайной, если она может привести или уже привела к гибели людей, большому материальному ущербу или нарушению условий жизнедеятельности значительного числа людей. Численные значения критериев отнесения опасностей к чрезвычайным, используемые разными ведомствами, могут различаться. Например, в рамках МЧС РФ пороговые значения трех названных критериев составляют: два человека, 1000 МРОТ или 100 чел. соответственно.

Изучаемые чрезвычайные опасности по традиции принято подразделять на две разновидности:

- происходящие в мирных условиях (техногенные и экогенные);
- обусловленные применением средств вооруженной борьбы (подразумевается опасность поражения населения).

В наши дни «Система ...» функционирует в режиме мирного времени, с объявлением войны она переводится в режим гражданской обороны с приоритетом защиты населения от средств вооруженной борьбы. Особенности поражения и защиты людей и объектов в условиях чрезвычайных опасностей будут рассмотрены нами позже, пока ведем речь о проблеме в целом.

РСЧС объединяет органы управления, силы и средства органов власти (от федерального до местного самоуправления) и организаций, в полномочия которых входит защита населения в условиях чрезвычайных опасностей. Координирующим федеральным органом РСЧС является Правительственная комиссия, а головным правительственным подразделением, обеспечивающим ее функциони-

рование, – МЧС РФ. Акцентируем факт: органы управления РСЧС замкнуты на МЧС, но по регламенту в «Системе ...» могут быть задействованы силы и средства практически всех ведомств РФ, в первую очередь МВД, МО, МЗ и др.

Элементы РСЧС (штабы, центры управления, пункты постоянного дежурства, силы и средства спасения и т.д.) рассредоточены по всей территории РФ и способны оперативно реагировать на проявления опасностей. В зависимости от обстановки РСЧС может функционировать в одном из трех режимов:

- повседневный режим – в мирное время при нормальной обстановке;
- режим повышенной готовности – в условиях чрезвычайно опасной ситуации;
- чрезвычайный режим – в условиях чрезвычайно опасного события, а также с началом войны.

Понятно, что эффективность функционирования РСЧС в большой степени определяется оперативностью реагирования на опасные случаи. Отечественная «Система ...» имеет высокие показатели оперативности и организованности действий в очагах опасностей. Нередко она участвует и в проведении спасательных работ в очагах опасных событий на территории других государств.

Задачи

1.1. В некотором регионе с числом жителей равным N зарегистрированы все случаи гибели людей в ДТП на протяжении двухлетнего периода; данные по ним приведены в следующей таблице:

Число погибших в одном случае ДТП	1	2	3	4	5	6	7	8	15	25	40
Количество	20	15	15	10	9	8	6	4	4	2	1

Требуется:

- определить индивидуальный риск гибели жителя региона в ДТП;
- рассчитать и построить график социального риска гибели в ДТП жителей региона.

Числом N задаться или принять равным 10^7 .

1.2. Доля автовладельцев среди жителей региона (см. условие задачи 1.1) составляет 25 %. Средняя стоимость одного транспортного средства составляет 8 у.е. Среднестатистические данные за тот же период по материальному ущербу в связи с порчей транспортных средств в ДТП приведены в следующей таблице:

Ущерб, нанесенный в ДТП одному транспортному средству, у.е.	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
Количество случаев	16	12	10	8	8	5	6	6	4	3	3	1

Определить:

- индивидуальный риск автовладельца, проживающего в регионе, повредить свое транспортное средство в ДТП (по-иному – унитарный риск повреждения в ДТП автотранспортного средства);
- унитарный риск утраты денег, вложенных в приобретение автотранспортного средства в результате ДТП.

1.3. За прошедший год на станции регионального мониторинга зарегистрировано 100 сейсмических событий. Какова вероятность того, что за предстоящий месяц число событий окажется не менее 10, но не более 12? Расчет произвести по двум моделям – биномиальной и пуассоновской; результаты сравнить.

1.4. Можно ли утверждать, что поток событий является пуассоновским, если в нем для случайного числа событий за заданный промежуток времени математическое ожидание и дисперсия равны?

1.5. В каком соотношении находятся математическое ожидание и дисперсия случайного времени между событиями пуассоновского потока?

1.6. Плотность распределения случайного времени между событиями потока графически изображается треугольником, катет которого соответствует отрезку (0; 1) числовой оси, вдоль которой отсчитывается значение случайной величины. Определить порядок потока Эрланга, которым можно смоделировать такой поток.

1.7. Индивидуальный риск гибели человека в ДТП в некотором населенном пункте с числом жителей 10^6 составляет 10^{-5} год⁻¹. Определить:

- вероятность гибели в ДТП произвольно взятого жителя населенного пункта в течение 10 лет;

- интенсивность потока событий гибели людей в городе;
- вероятность того, что в предстоящий год в ДТП погибнет: а) ровно 10 жителей, б) не менее 10 жителей.

1.8. На территории некоторого региона за год произошло 100 опасных событий. Считая, что распределение событий соответствует модели пуассоновского поля, определить вероятность того, что за предстоящее полугодие произойдет такое же число событий, причем все они окажутся сосредоточены в выделенной половине территории региона.

1.9. Постоянная распада атома материнского радионуклида равна λ_m . Дочерний атом является также радиоактивным, постоянная распада для него равна λ_d . Атом, образующийся при распаде дочернего атома, будем называть его внучатым, является стабильным. В исходном состоянии атом находится в состоянии материнского.

Методом теории марковских процессов для каждого из трех состояний найти формулы зависимости вероятности от времени.

Ответ:

$$P_m(t) = \exp(-\lambda_m t);$$

$$P_d(t) = [\lambda_m / (\lambda_d - \lambda_m)] \exp(-\lambda_d t) [\exp(\lambda_d - \lambda_m)t - 1];$$

$$P_v = 1 - P_m - P_d.$$

Заметим, что если задаться исходным числом N_0 атомов материнского радионуклида и умножить обе части каждого уравнения на это число, то получим уравнения, описывающие изменение числа атомов каждого продукта во времени. Это следует из того, что произведение λN_0 имеет смысл среднего арифметического числа атомов, оно может быть принято за математическое ожидание и по закону больших чисел обладает пренебрежимо малой дисперсией.

1.10. С целью обеспечения надежности некоторого функционального блока АЭС предусмотрено его дублирование. В рабочем режиме находится лишь один из блоков, и в этом режиме его надежность характеризуется интенсивностью потока отказов λ . Выход из строя блока в режиме «холодного резерва» исключается. При отказе работающего блока автоматически в работу включается резервный, а отказавший подвергается восстановлению. Время

восстановления – величина случайная, равная $\tau\lambda$ (интенсивность потока восстановлений равна $\mu = 1/\tau$). Потоки отказов и восстановлений – пуассоновские. При отказе второго блока до восстановления первого АЭС останавливается.

Найти вероятность того, что АЭС будет находиться в выключенном состоянии по причине отказа обоих блоков.

1.11. Решить задачу 1.10 при условии, что в нормальном режиме оба блока постоянно включены (состояние «горячего резерва») и интенсивности потоков отказов для каждого из них равны.

1.12. Для оказания скорой медицинской помощи жителям в населенном пункте создано медицинское учреждение с числом выездных бригад, равным m . За одни сутки за медицинской помощью в пункт обращается в среднем k вызовов поток обращений – пуассоновский. Продолжительность задействования бригады на обслуживание одного обращения – величина случайная, ее среднее значение равно τ , поток обслуживаний – пуассоновский.

Определить вероятность того, что на обращение нуждающегося в медицинской помощи будет немедленное реагирование пункта помощи (в момент обращения на пункте будут незадействованные бригады).

Возможные значения параметров задания:

$m = 3; 4; 5; 6;$

$\tau = 1; 2; 3; 4; 5$ ч;

$k = 10; 15; 20$ сут⁻¹.

Г л а в а 2

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2.1. Радиационная опасность – фактор жизнедеятельности современного общества

Первые исследования с ионизирующими излучениями были выполнены в конце прошлого века: 1895 г. – открытие немецким физиком В.К. Рентген x -лучей, названных впоследствии в его честь рентгеновским излучением; 1896 г. – обнаружение следов неизвестного излучения от солей урана на фотографических пластинках французским физиком А. Беккерелем, положившее начало изучению естественной радиоактивности урана; 1898 г. – супруги М. Кюри и П. Кюри установили, что уран после излучения превращается в другие химические элементы. Один из этих элементов они назвали радием, поскольку по-латыни это слово означает «испускающий лучи».

За весьма малый срок (сто с небольшим лет) бурное развитие радиационной техники и атомной энергетики обеспечило широкое внедрение источников ионизирующего излучения (ИИИ) в науку (радиационная химия, медицина, генетика); технику (дефектоскопы, производство легированного кремния, радиационная полимеризация и упрочнение изделий); сельское хозяйство (предпосевная обработка семян, стерилизация продукции). Вместе с тем ИИИ породили новую для человечества потенциальную опасность – радиационную опасность, связанную с их применением.

Особое место занимает ядерная (атомная) энергетика. Первая в мире атомная электростанция (АЭС) мощностью 5 МВт была пущена в нашей стране в июне 1954 г., а сегодня в мире работает 417 энергетических реакторов, которые производят 16 % всей электроэнергии. В некоторых странах значительная часть электроэнергии вырабатывается на АЭС: во Франции – 70 %, Бельгии – 66 %, США и Великобритании – более 17 %. В СССР на 45 энергоблоках уста-

новленной мощностью 34,4 ГВт вырабатывалось в 1991 г. 12,7 % всей производимой энергии. АЭС позволили сэкономить сотни миллионов тонн угля и нефти, а также предотвратить загрязнение воздушного бассейна копотью, сернистыми соединениями, углекислым газом.

Авария на Чернобыльской АЭС в какой-то мере подорвала доверие к ядерной энергетике и временно снизила темпы ввода в строй новых мощностей АЭС, являясь наиболее тяжелым событием в истории атомной энергетике после бессмысленной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки. Произошел выброс радиоактивных материалов, суммарная активность которого оценивается в $2 \cdot 10^{18}$ Бк. В течение трех месяцев непосредственно от аварии погибли 30 человек. Выбрасываемые из активной зоны разрушенного реактора в атмосферу радиоактивные продукты в течение 10 сут разносились воздушными потоками на значительные расстояния. В наибольшей степени радиоактивному загрязнению подверглись Белоруссия, Украина и Российская Федерация. Незначительные загрязнения возникли на территориях прибалтийских республик, стран Северной и Центральной Европы, а также на Балканах. В России общая площадь радиоактивно загрязненных территорий с плотностью загрязнения выше 1 Ки/км² по цезию-137 достигла 60 тыс. кв. км. На загрязненных территориях оказалось 7608 населенных пунктов, где проживало 3 млн чел. Вообще же радиоактивному загрязнению подверглись территории 16 областей и трех республик России. Это загрязнение нанесло значительный ущерб, парализовало в ряде районов хозяйственную деятельность, а на некоторых территориях сделало невозможным проживание людей. Чернобыльская катастрофа стала общенародным бедствием.

Эта авария заставила по-другому рассматривать проблему радиационной опасности в более широком аспекте, чем она представлялась ранее. Наряду с возникшей необходимостью принятия дополнительных мер по повышению безопасности АЭС и других объектов атомной промышленности и энергетике, создания АЭС с «внутренней безопасностью», встал вопрос о радиационной безопасности населения как состояния защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения.

Спустя почти десять лет после аварии на ЧАЭС были разработаны и приняты два основополагающих для решения проблемы радиационной безопасности Федеральных закона: «Об использовании атомной энергии» № 170-ФЗ от 21.11.1995 и «О радиационной безопасности населения» № 03-ФЗ от 09.01.1996.

Согласно Федеральному Закону «О радиационной безопасности населения» № 03-ФЗ от 09.01.1996 (ст. 22): «Граждане Российской Федерации, иностранные граждане и лица без гражданства, проживающие на территории Российской Федерации, имеют право на радиационную безопасность. Это право обеспечивается за счет проведения комплекса мероприятий по предотвращению радиационного воздействия на организм человека ионизирующего излучения выше установленных норм, правил и нормативов».

Радиационная безопасность должна рассматриваться как составная часть общей техники безопасности, обеспечивающей безопасные условия труда персонала и проживания населения при использовании различных источников ионизирующих излучений, как в нормальном режиме их работы, так и аварийном. Радиационная безопасность есть совокупность технических, гигиенических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасные условия для персонала и населения в целом.

При этом следует отчетливо понимать, что решение проблемы радиационной безопасности требует больших экономических затрат. Так, доля затрат на обеспечение безопасности строящихся сегодня АЭС составляет почти 50 % общих капиталовложений в АЭС, а стоимость защиты современных ядерно-технических установок может достигать 20 – 30 % стоимости всего сооружения.

2.2. Ионизирующие излучения и источники их образования

Основные понятия. Для понимания физической природы ионизирующего излучения необходимо вспомнить строение ядра атома. В состав ядра атома входят положительно заряженные частицы – протоны и электрически нейтральные частицы, почти равные по массе протонам, – нейтроны. Число протонов в ядре атома одного и того же элемента всегда постоянно, число нейтронов может быть разным. Нуклидом называется вид атома одного элемента с данным числом протонов и нейтронов в ядре. Заряд нуклида определяется количест-

вом протонов в ядре, а сумма нейтронов и протонов ядра составляет массу нуклида (в атомных единицах массы). Атомы, имеющие в ядре одно и тоже число протонов, но различающиеся числом нейтронов называются изотопами одного и того же элемента.

В зависимости от соотношения числа протонов и нейтронов в ядре атома часть его нуклидов стабильна, т.е. самопроизвольно, спонтанно они не претерпевают ядерных превращений. Нейтроно-избыточные нуклиды, как правило, радиоактивны, т.е. обладают способностью к самопроизвольному превращению в другие нуклиды. Весь процесс самопроизвольного превращения называют радиоактивным распадом нуклида, а сам такой нуклид – радионуклидом. Такие превращения претерпевают только нестабильные ядра. Радиоактивность, наблюдающаяся у ядер, существующих в природных условиях, называется естественной. Радиоактивность ядер, полученных посредством ядерных реакций, называется искусственной. Ядерные превращения сопровождаются испусканием ионизирующего излучения (ИИ).

Активность радионуклида. Активность радионуклида в источнике (образце) A – отношение числа dN спонтанных (самопроизвольных) ядерных превращений, происходящих в источнике (образце) за интервал времени dt , к этому интервалу:

$$A = dN/dt. \quad (2.1)$$

Единица активности радионуклида в СИ — беккерель (Бк). 1 Бк равен активности радионуклида в источнике (образце), в котором за время 1 с происходит одно спонтанное ядерное превращение.

Внесистемная единица активности – кюри (Ки). Кюри – активность радионуклида в источнике (образце), в котором за время 1 с происходит $3,7 \cdot 10^{10}$ спонтанных ядерных превращений.

Таким образом, $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

Отношение активности радионуклида в источнике к массе, объему (для объемных источников), площади поверхности (для поверхностных источников) источника называется удельной, объемной, поверхностной активностью и имеют обозначения A_m , A_v , A_s соответственно.

Выбор единиц этих величин определяется конкретной задачей. Например, допустимую концентрацию радионуклида (объемную активность) в воде удобнее выражать в беккерелях на литр (Бк/л), а

в воздухе в беккерелях на кубический метр (Бк/м³), так как суточное потребление человеком воды определяется обычно в литрах, а воздуха – в кубических метрах.

Активность радионуклида $A(t)$ или число радиоактивных атомов нуклида $N(t)$ уменьшается во времени t по экспоненциальному закону:

$$A(t) = A_0 \exp(-\lambda t) \quad \text{или} \quad N(t) = N_0 \exp(-\lambda t),$$

где A_0 , N_0 – активность радионуклида и число радиоактивных атомов нуклида в источнике в начальный момент времени $t = 0$; λ – постоянная распада, определяемая как $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$, где $T_{1/2}$ – период полураспада, время, по истечении которого число радиоактивных атомов вещества в среднем уменьшается в два раза. Период полураспада $T_{1/2}$ является важнейшей характеристикой любого радиоактивного вещества. У одних радиоактивных веществ этот период исчисляется тысячами и даже миллиардами лет, а у других – секундами или их долями. Например, $T_{1/2}$ урана-235 – около 700 млн лет, радона-219 – 4 с, а полония-212 – всего 0,0000003 с.

Один из источников образования ионизирующего излучения (ИИ) – радиоактивный распад. Как правило, распад радиоактивных ядер сопровождается испусканием заряженных корпускулярных частиц – электронов (бета-частицы, конверсионные электроны), позитронов и квантов электромагнитного излучения – фотонов. При этом число ядерных превращений практически всегда не совпадает с числом испускаемых корпускулярных частиц и еще реже – с числом испускаемых фотонов. Активность характеризует лишь число ядерных превращений. Связать активность радионуклида с числом испускаемых корпускулярных частиц или фотонов можно, зная индивидуальную схему распада нуклида.

Другим источником образования ИИ служат ядерные реакции. В ходе этих реакций часто появляются нейтральные корпускулярные частицы – нейтроны. Заметим, что видимый свет и ультрафиолетовое излучение общепринято не включать в понятие «ионизирующее излучение».

Ионизирующие излучения подразделяется на прямо ионизирующее и косвенно ионизирующее излучение. К первой группе относятся все заряженные частицы, ко второй – фотоны и нейтроны.

Фотонное ионизирующее излучение представляет собой поток квантов электромагнитного излучения, обладающих определенной энергией и не имеющих массы покоя. К фотонному ионизирующему излучению относятся гамма-излучение, возникающее при изменении энергетического состояния атомных ядер или при аннигиляции частиц; тормозное излучение с непрерывным энергетическим спектром, возникающее при торможении заряженных частиц в поле ядра атома вещества, через которое проходит эта частица; характеристическое излучение с дискретным энергетическим спектром, возникающее при изменении энергетического состояния электронов атома; рентгеновское излучение, состоящее из тормозного и (или) характеристического излучений.

Фотонное излучение электрически нейтрально, поэтому само по себе ионизирующими свойствами не обладает. Ионизация происходит за счет передачи части энергии фотонов электронам облучаемого вещества, разрыва их связи с ядрами атома и придания им начальной скорости движения. Поэтому удельная ионизирующая способность фотонов относительно невелика и расстояния, на которые распространяется фотонное излучение в воздухе, достигают нескольких километров.

Если мысленно представить барьер, на который падает нормально к поверхности мононаправленный поток фотонов плотностью $\varphi(E_0, 0)$ с энергией E_0 , то закон ослабления пучка фотонов на расстояниях будет носить экспоненциальный характер:

$$\varphi(E_0, x) = \varphi(E_0, 0) \exp(-\mu_t x),$$

где μ_t – линейный коэффициент ослабления, его значения для многих материалов можно найти в справочниках [10 – 11]. За барьером любой толщины существует вероятность обнаружить фотоны с начальной энергией.

Вместо линейного коэффициента ослабления иногда используют понятие «слой половинного ослабления» $\Delta_{1/2}$. Очевидно,

$$\Delta_{1/2} = \ln 2 / \mu_t .$$

Величина $\Delta_{1/2}$ определяется энергией фотонов, атомным номером вещества барьера, плотностью вещества. В качестве примера в

табл. 2.1 приведены значения $\Delta_{1/2}$ для разных энергий и материалов.

Высокая проникающая способность фотонного излучения делает его одинаково опасным как при внешнем, так и при внутреннем расположении источника радиоактивного излучения.

Таблица 2.1

Энергия излучения, МэВ	Величина слоя половинного ослабления $\Delta_{1/2}$		
	воздух, м	алюминий, см	свинец, см
0,5	60	3,2	0,4
1,0	85	4,4	1,0
2,0	120	6,0	1,4

Альфа-частицы представляют собой положительно заряженные ядра гелия, содержащие два протона и два нейтрона. Это сравнительно тяжелые частицы (массой в 7360 раз больше массы электрона), излучаемые почти исключительно ядрами тяжелых элементов – урана, плутония, тория, радона и т.д. – с начальной высокой энергией (2 – 8 МэВ). Обладая значительными массой, зарядом и относительно небольшой скоростью движения (около 25000 км/с), α -частицы имеют высокую ионизирующую способность (40000 пар ионов на 1 см пути в воздухе). Вследствие большого расхода энергии на ионизацию длина пробега этих частиц незначительна и в воздухе составляет 1 – 8 см. При прохождении через вещество альфа-частицы рассеиваются в актах упругого рассеяния в основном на малые углы. Поэтому их число вдоль траекторий почти не изменяется. Существует конечное значение пробега альфа-частиц. Альфа-частицы не могут проникнуть ни через одежду человека, ни через ороговевший наружный слой кожи. Поэтому если источник излучения этих частиц находится вне организма (внешнее облучение), они не представляют сколько-нибудь серьезной опасности для здоровья людей. Однако при попадании этого источника внутрь организма, например с пищей или воздухом (внутреннее облучение), α -частицы становятся исключительно опасными для человека.

Бета-излучение (электроны или позитроны с непрерывным энергетическим спектром) подобно альфа-частицам обладают способностью к ионизации вещества. Но поскольку масса бета-частицы значительно меньше массы альфа-частицы, среднее значение удельной ионизации бета-частицы в воздухе – от 40 до нескольких сотен пар ионов на одном сантиметре пути, а длина пробега может достигать нескольких метров при скорости частиц, близкой к скорости распространения электромагнитного излучения. Будучи легкими частицами электроны испытывают многократные рассеяния на электронах среды. Поэтому поток β -частиц по мере прохождения вещества непрерывно уменьшается. Существует определенное значение толщины, зависящее от максимальной энергии β -частицы и атомного номера вещества, далее за которую β -частица не проходит.

При облучении тела человека длина пробега бета-частицы составляет всего несколько миллиметров. Поток бета-частиц существенно ослабляется одеждой. Но при внешнем облучении открытого тела человека интенсивным потоком β -частицы могут вызвать пигментацию кожи (так называемый «ядерный загар») и радиационные ожоги кожи, образовывать плохо заживающие язвы на теле. Особую опасность для здоровья представляет попадание источника бета-излучения внутрь организма с пищей, водой и ингаляционным путем.

Нейтронное излучение – поток нейтронов, которые, как правило, являются продуктами ядерных реакций, в частности реакции деления. Для получения потоков нейтронов в промышленных целях созданы такие специальные технические устройства, как реакторы, нейтронные генераторы, нейтронные сборки или размножители. Нейтроны электрически нейтральны, и это позволяет им беспрепятственно проникать в глубь атомов облучаемого вещества. Достигая ядер, нейтроны либо поглощаются ими, либо рассеиваются на них, теряя значительную часть энергии и, следовательно, скорость. Особенно большое количество энергии (до 50 %) нейтроны теряют при столкновении с почти равными им по весу ядрами атомов водорода. Поэтому вещества, содержащие большое количество атомов водорода (вода, полиэтилен, парафин), широко используются как для защиты от нейтронного излучения, так и для замедления движения нейтронов. Например, вода служит в качестве замед-

лителя быстрых нейтронов в одном из самых распространенных типов реакторов. Атомные ядра при поглощении нейтронов становятся неустойчивыми и, распадаясь, испускают протоны, бета-частицы и гамма-кванты. При таких ядерных реакциях могут образовываться радиоактивные изотопы разных элементов и возникает наведенная радиоактивность, в свою очередь, создающая дополнительное ионизирующее излучение (например, при наземном ядерном взрыве происходит активация грунта).

Следовательно, ионизация среды при нейтронном воздействии определяется протонами, ядрами отдачи и частицами, продуктами ядерных реакций, и зависит от энергии нейтронов, а также от химического состава облучаемого вещества. Нейтроны по величине их энергии и характеру взаимодействия со средой могут быть представлены четырьмя группами: быстрые нейтроны с энергией более 100 кэВ, промежуточные – с энергией от 100 до 1 кэВ, медленные – с энергией менее 1 кэВ и тепловые нейтроны – со средней энергией около 0,025 эВ.

Ионизирующее излучение, состоящее из частиц различного вида или частиц и фотонов, называется смешанным ионизирующим излучением.

Различают моно- и немоноэнергетическое ионизирующее излучение. Под моноэнергетическим понимается ионизирующее излучение, состоящее из частиц с одинаковой энергией.

2.3. Дозовые характеристики радиационного воздействия

Облучение – воздействие на людей ионизирующего излучения, которое может быть внешним от источников вне тела человека или внутренним от источников, попавших внутрь его организма.

Основными дозиметрическими характеристиками радиационного воздействия, критериями, определяющими меру его опасности для человека и его потомства, являются дозы облучения.

Поглощенная доза. Результат воздействия ионизирующих излучений на облучаемые объекты, в первую очередь, определяется количеством поглощенной энергии, приходящейся на единицу массы облучаемого вещества, и выражается поглощенной дозой:

$$D = \frac{dE}{dm},$$

где dE – средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, находящемуся в элементарном объеме; dm – масса вещества в этом элементарном объеме.

Поглощенная доза является фундаментальной дозиметрической величиной.

В СИ за единицу поглощенной дозы ионизирующих излучений принят грей (Гр): 1 Гр = Дж/кг. Внесистемной единицей поглощенной дозы, которую часто используют на практике, является рад (радиационная адсорбированная доза): 1 рад = 0,01 Гр. Для целей радиационной безопасности введено понятие дозы в органе. Средняя поглощенная доза в органе:

$$D_T = \frac{E_T}{m_T},$$

где E_T – полная энергия, переданная органу с массой m_T .

Скорость накопления поглощенной дозы называется мощностью поглощенной дозы:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt},$$

которая измеряется в Гр/с, Гр/ч, рад/с, рад/ч.

Эквивалентная доза. Эмпирическим путем было установлено, что для разных видов излучения биологический эффект при прочих равных условиях, в том числе и при одинаковой поглощенной дозе, оказывается различным. Под биологическим эффектом понимают генетические изменения в клетках и специфические изменения биологической ткани, например помутнение хрусталика глаза, покраснение кожи, производимые действием ионизирующего излучения. Поэтому для оценки биологического эффекта воздействия излучения произвольного состава потребовалось введение новой характеристики дозы.

Одинаковые биологические эффекты при воздействии различных видов (или энергий) частиц могут реализовываться при различных дозах. Для сравнения биологических эффектов, производимых одинаковой поглощенной дозой различных видов излучения, используют понятие относительной биологической эффективности (ОБЭ) излучения.

Под ОБЭ излучения понимают отношение поглощенной дозы образцового рентгеновского излучения, вызывающего определенный биологический эффект, к поглощенной дозе данного рассматриваемого вида излучения, вызывающего тот же биологический эффект.

Регламентированные значения ОБЭ, установленные для контроля степени радиационной опасности при хроническом облучении, называют взвешивающими коэффициентами W_R для отдельных видов излучения. Эти коэффициенты определяют зависимость неблагоприятных биологических последствий облучения человека в малых дозах от полной линейной передачи энергии (линейная передача энергии – отношение энергии, переданной веществу первичной или вторичной заряженной частицей вследствие столкновений на элементарном пути, к длине этого пути).

Для определения биологического воздействия различных видов излучения на биологические ткани, в том числе ткани и органы человека, была введена так называемая эквивалентная доза $H_{T,R}$, которая вычисляется как произведение поглощенной дозы D в органе или ткани на соответствующий взвешивающий коэффициент W_R для данного вида излучения:

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R}.$$

Взвешивающие коэффициенты W_R для отдельных видов излучений, используемые при расчете эквивалентной дозы, приведены в табл. 2.2 (см. НРБ-99 [13]).

При одновременном воздействии различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения:

$$H_T = \sum_R H_{T,R},$$

где $H_{T,R}$ – эквивалентная доза для излучения типа R .

Единица для эквивалентной дозы в СИ та же, что и поглощенной дозы, а именно Дж/кг, но со специальным наименованием – зиверт (Зв). Названа в честь Рольфа Зиверта – известного шведского ученого, первого председателя Международной комиссии по

радиологической защите, внесшего большой вклад в различные области радиационной безопасности. Иными словами, зиверт – единица эквивалентной дозы любого вида излучения в биологической ткани, которое создает такой же биологический эффект, как и поглощенная доза в 1 Гр образцового рентгеновского или γ -излучения. В качестве образцового излучения обычно принимают рентгеновское излучение с граничной энергией 200 кэВ. Предпочтительной единицей эквивалентной дозы является миллизиверт. Эквивалентная доза допустима к применению при ее значениях, не превышающих нескольких сотен миллизиверт при облучении всего тела человека.

Таблица 2.2

Вид излучения	W_R
Фотоны любых энергий	1
Электроны любых энергий	1
Нейтроны с энергией:	
менее 10 кэВ	5
от 10 до 100 кэВ	10
от 100 кэВ до 2 МэВ	20
от 2 до 20 МэВ	10
более 20 МэВ	5
Протоны, кроме протонов отдачи, с энергией более 2 МэВ	5
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

Внесистемная единица эквивалентной дозы – бэр (биологический эквивалент рада). Бэр – единица эквивалентной дозы любого вида излучения в биологической ткани, которое создает такой же биологический эффект, как и поглощенная доза в 1 рад образцового рентгеновского, или γ -излучения. Таким образом, 1 бэр = 0,01 Зв.

Эквивалентная доза, отнесенная к единице времени, называется мощностью эквивалентной дозы:

$$\dot{H}_T = \frac{dH_T}{dt}.$$

Предпочтительной единицей мощности эквивалентной дозы является мкЗв/ч вне зависимости от размера величины.

Эффективная доза. Разные органы или ткани имеют разные чувствительности к излучению. Известно, например, что при одинаковой эквивалентной дозе облучения возникновение рака в легких более вероятно, чем в щитовидной железе, а облучение гонад (половые железы) особенно опасно из-за риска генетических повреждений. Поэтому в последние годы для случаев неравномерного облучения разных органов или тканей тела человека введено понятие эффективной дозы E .

Для определения этой величины необходимо ввести понятие риска. Риск – вероятность возникновения неблагоприятных последствий для человека (частота смертельных случаев, снижение продолжительности жизни, частота возникновения профессиональных заболеваний, травматизма, нетрудоспособности и т.д.) вследствие облучения, аварии или другой причины, проявление которой носит стохастический характер.

Эффективная доза E – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности.

Эффективная доза E определяется как сумма произведений эквивалентной дозы в органе или ткани T на соответствующий взвешивающий коэффициент W_T для данного органа или ткани:

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T ,$$

где H_T – средняя эквивалентная доза в органе или ткани T , а W_T – взвешивающий коэффициент для органа или ткани T , представляющий собой отношение стохастического риска смерти от отдаленных последствий облучения T -го органа или ткани к риску смерти от равномерного облучения всего тела при одинаковых эквивалентных дозах. Таким образом, W_T определяет весовой вклад данного органа или ткани в риск неблагоприятных последствий для организма при равномерном облучении:

$$\sum_T W_T = 1 .$$

Эффективная доза так же, как эквивалентная доза, измеряется в зивертах.

В табл. 2.3 приведены, рекомендованные для проведения расчетов радиационной защиты Нормами радиационной безопасности (НРБ-99), взвешивающие коэффициенты W_T для тканей и органов.

Таблица 2.3

Орган или ткань	Заболевание	W_T
Гонады	Наследственные дефекты	0,20
Костный мозг (красный)	Лейкемия	0,12
Толстый кишечник	Рак	0,12
Легкие	Рак	0,12
Желудок	Рак	0,12
Мочевой пузырь	Рак	0,05
Грудная железа	Рак	0,05
Печень	Рак	0,05
Пищевод	Рак	0,05
Щитовидная железа	Рак	0,05
Кожа	Рак	0,01
Клетки костных поверхностей	Злокачественные новообразования	0,01
Остальное	То же	0,05

При пользовании рекомендованными данными учитывать, что «Остальное» включает надпочечники, головной мозг, экстракторальный отдел органов дыхания, тонкий кишечник, почки, мышечную ткань, поджелудочную железу, селезенку, вилочковую железу и матку. В тех исключительных случаях, когда один из перечисленных органов или тканей получает эквивалентную дозу, превышающую самую большую дозу, полученную любым из двенадцати органов или тканей, для которых определены взвешивающие коэффициенты W_T , следует приписать этому органу или ткани взвешивающий коэффициент, равный 0,025, а оставшимся органам или тканям из рубрики «Остальное» приписать суммарный коэффициент, равный 0,025.

Наряду с перечисленными выше дозовыми характеристиками вводятся такие дозовые характеристики как эффективная (эквивалентная) годовая доза и эффективная (эквивалентная) коллективная доза.

Эффективная (эквивалентная) годовая доза – сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной (эквивалентной) дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за тот же год.

Коллективная эффективная (эквивалентная) доза – мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения; она равна сумме индивидуальных эффективных доз. Единица измерения коллективной дозы – человекозиверт (чел.-Зв).

Экспозиционная доза. На практике до последнего времени используется также внесистемная единица экспозиционной дозы – рентген. Рентген – единица экспозиционной дозы фотонного излучения, при прохождении которого через 0,001293 г воздуха в результате завершения всех ионизационных процессов в воздухе создаются ионы, несущие одну электростатическую единицу количества электричества каждого знака. Использование этой дозовой характеристики не рекомендуется после 1 января 1990 г., так как экспозиционная доза была введена только для фотонного излучения, поэтому она не может использоваться в полях часто встречающегося на практике смешанного излучения разных видов. Даже и для фотонного излучения область практического использования этой величины ограничена энергией 3 МэВ.

2.4. Биологическое действие и предельно допустимые уровни ионизирующих излучений

Биологическое действие ионизирующих излучений. Вскоре после открытия биологического действия ионизирующих излучений было установлено, что любой живой объект при определенной дозе облучения погибает. Дозы фотонного излучения D , приводящие к гибели разных объектов в облученной популяции, различаются в очень широких пределах (табл. 2.4). Для человека доза фотонного излучения, вызывающая 50 %-ную вероятность гибели, равна 4,5 Гр.

Каждому биологическому виду свойственна своя радиочувствительность. Степень радиочувствительности сильно варьируется в пределах одного вида, а для определенного индивидуума зависит также от возраста и пола, даже в одном организме различные клетки и ткани очень сильно различаются по радиочувствительности.

Таблица 2.4

Биологический вид	<i>D</i> , Гр	Биологический вид	<i>D</i> , Гр
Обезьяны	2,5 – 6	Насекомые	10 – 100
Крысы	7 – 9	Растения	10 – 1500
Кролик	9 – 10	Дрожжи	300 – 500
Птицы, рыбы	8 – 20	Простейшие	1000 – 3000

В среднем в организме человека насчитывается $5 \cdot 10^{13}$ клеток. До 20 % клеток организма интенсивно делятся. Высокая скорость деления клеток присуща костному мозгу, кишечнику, коже, роговице глаза, половым железам. Однако большая часть органов состоит из редко делящихся клеток (печень, легкие, сердце, сосуды, кости, эндокринные железы). Клетки нервной системы практически не делятся. Такие органы называют стационарными системами.

Большинство клеток млекопитающих имеют типичные размеры 10 – 30 мкм. В каждой клетке многие тысячи молекул ферментов управляют взаимодействием химических соединений. Все процессы в клетке строго функционально структурированы. В ядре клетки сосредоточены гигантские биополимерные молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), которые, по крайней мере, в период деления представляют собой две спиралевидные нити. В строго определенной последовательности две нити связаны чередующимися молекулами четырех типов оснований. Хромосомы (от греч. хромо – цвет, краски; сома – тело) – структурные элементы ядра клетки, содержащие ДНК, в которой заключена наследственная информация организма. В хромосомах в линейном порядке расположены гены (от греч. genos – род, происхождение) – единицы наследственного материала, отвечающие за формирование какого-либо элементарного признака. Совокупность генов, содержащихся в одинарном наборе хромосом данного организма, называется геномом.

В процессе деления происходит расхождение нитей ДНК и синтез на каждой нити, как на матрице еще по одной нити с сохранением последовательности оснований. В отличие от ядра, содержащего уникальные молекулы ДНК, в цитоплазме содержатся многочисленные дублирующие структуры, отвечающие за энергетику клетки, синтез белка, транспорт питательных веществ и т.д.

В активно делящихся клетках период между двумя клеточными делениями занимает от 12 до 48 ч. При этом на сам процесс деления приходится не более часа. Пока клетка не делится, ее системы не воспринимают факт нарушений, который возник от действия ионизирующих излучений (или от некоторых химических соединений). Однако в процессе деления в месте поврежденной ДНК образуется разрыв хромосомы и образуются фрагменты, обрывки хромосом. Новообразованная клетка, лишенная части ДНК, утрачивает способность к синтезу жизненно важных веществ и может быть обречена на гибель. Поэтому интенсивно делящиеся клетки в большей степени подвержены действию ионизирующих излучений. Вместе с тем в организме действует механизм репараций, который может «залечивать» некоторые повреждения. Это относится, прежде всего, к одноразрывным дефектам в нитях хромосом. Например, если провести облучение большой дозой в два этапа с интервалом между ними около четырех часов, то число выживших клеток млекопитающих возрастает в 2 – 3 раза по сравнению с непрерывным облучением той же дозой. Двуразрывные нарушения молекул ДНК характерны для плотноионизирующих частиц или при очень больших мощностях доз. Такие разрывы почти не «залечиваются».

Механизм биологического действия ионизирующего излучения на биологическую ткань следующий. Энергия ионизирующего излучения при прохождении через биологическую ткань передается атомам и молекулам. Это приводит к образованию ионов и возбужденных молекул. Однако это лишь первый, физический «акт драмы», разыгрывающейся в клетке. Следующий акт называется химическим этапом поражения клетки.

В основе первичных радиационно-химических изменений молекул могут лежать два механизма: 1) прямое действие, когда данная молекула испытывает изменения за счет ионизации или возбуждения непосредственно при взаимодействии с излучением; 2) косвенное действие, когда молекула непосредственно не поглощает энер-

гию ионизирующего излучения, а получает ее путем передачи от другой молекулы.

Различие между прямым и косвенным действием излучения наглядно рассмотрено на примере облучения воды в работе [12].

В клетке организма ситуация значительно более сложная, чем при облучении воды, особенно если поглощающим веществом являются крупные и многокомпонентные биологические молекулы. В этом случае образуются органические радикалы D^* , отличающиеся также крайне высокой реакционной способностью. Располагая большим количеством энергии, они легко могут привести к разрыву химических связей. Именно этот процесс и происходит чаще всего в промежутке между образованием ионных пар и формированием конечных химических продуктов.

Кроме того, биологическое действие усиливается за счет кислородного эффекта. Образующийся в результате взаимодействия свободного радикала с кислородом высокореакционный продукт приводит к образованию новых молекул в облучаемой системе.

Получающиеся в процессе радиолиза воды свободные радикалы и окислители, обладая высокой химической активностью, вступают в химические реакции с молекулами белка, ферментов и других структурных элементов биологической ткани, что приводит к изменению биохимических процессов в организме. В результате нарушаются обменные процессы, подавляется активность ферментных систем, замедляется и прекращается рост тканей, возникают новые химические соединения, не свойственные организму, – токсины. Это приводит к нарушению жизнедеятельности отдельных систем или организма в целом.

Индукцированные свободными радикалами химические реакции вовлекают в этот процесс многие сотни и тысячи молекул, не затронутых излучением. В этом состоит специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты. Никакой другой вид энергии (тепловой, электрической и др.), поглощенной биологическим объектом в том же количестве, не приводит к таким изменениям, какие вызывает ионизирующее излучение. Например, смертельная доза фотонного излучения для млекопитающих равна 10 Гр, что соответствует поглощенной энергии 10 Дж/кг. Если эту энергию подвести в виде тепла, то она нагрела бы организм человека лишь на 0,002 °C.

Нежелательные радиационные эффекты воздействия облучения на организм человека условно делятся на соматические (сома – по-гречески тело) и генетические (наследственные). Соматические эффекты проявляются непосредственно у самого облученного, а генетические – у его потомства.

Генетические эффекты проявляются вследствие мутаций – изменений наследственных свойств организма, возникающих или естественно (спонтанно), или вызываемых искусственно, например при облучении. Мутации (от лат. *mutatio* – изменение, перемена) возникают в результате перестройки и нарушений в генетическом материале организма (хромосомах и генах).

К соматическим эффектам условно относятся непосредственные ранние эффекты облучения (острая или хроническая лучевая болезнь и локальные лучевые поражения), которые проявляются в течение нескольких недель, и его отдаленные последствия (сокращение продолжительности жизни, возникновение опухолей и др.), проявляющиеся только через много месяцев или лет после облучения у самого облученного лица. К генетическим относятся последствия облучения генома зародышевых клеток в потомстве облученных особей (врожденные уродства и нарушения у потомков облученных, передающиеся по наследству).

Различают стохастические и нестохастические эффекты воздействия излучения на организм.

Эффекты излучения стохастические – вредные биологические эффекты, вызванные ионизирующим излучением, не имеющие дозового порога возникновения, вероятность возникновения которых пропорциональна дозе и для которых тяжесть проявления не зависит от дозы. Основные стохастические эффекты – канцерогенные (лейкемия и другие формы злокачественных новообразований) и генетические эффекты. Для предсказания частоты проявления стохастических эффектов облучения на практике обычно пользуются линейной зависимостью доза-эффект. Стохастические эффекты обычно обнаруживаются через длительное время после облучения и выявляются лишь при длительном наблюдении за большими группами населения в десятки тысяч человек.

Если вредные эффекты облучения выявляются, начиная с какого-то определенного порогового значения дозы, то их называют нестохастическими детерминированными или пороговыми. Для

этих эффектов вероятность возникновения (частота) и степень тяжести возрастают с увеличением дозы. Тяжесть эффекта (степень его выраженности) может возрастать более круто у лиц, чья радиочувствительность наибольшая. К нестохастическим эффектам относятся помутнение хрусталика глаза (лучевая катаракта), нарушение воспроизводительной функции, косметические повреждения кожи, дистрофические повреждения разных тканей и т.д.

Самые разнообразные проявления поражающего действия ионизирующих излучений на организм называют *лучевой болезнью человека*. Многообразие этих проявлений зависит, прежде всего, от вида облучения (общее или местное, внешнее или от инкорпорированных радиоактивных веществ), временного фактора (однократное, повторное, хроническое облучение), равномерности поля (равномерное или неравномерное облучение) и т.п.

Цель радиационной защиты – предотвращение вредных нестохастических эффектов и ограничение вероятности возникновения стохастических эффектов до уровней, считающихся приемлемыми.

2.5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)

Область применения. Нормы радиационной безопасности НРБ-99 (далее – Нормы) применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения.

Требования и нормативы, установленные Нормами, являются обязательными для всех юридических лиц, независимо от их подчиненности и формы собственности, в результате деятельности которых возможно облучение людей, а также для администраций субъектов Российской Федерации, местных органов власти, граждан Российской Федерации, иностранных граждан и лиц без гражданства, проживающих на территории Российской Федерации.

Настоящие Нормы являются основополагающим документом, регламентирующим требования Федерального закона «О радиационной безопасности населения» в форме основных пределов доз, допустимых уровней воздействия ионизирующего излучения и других требований по ограничению облучения человека. Никакие другие нормативные и методические документы не должны противоречить требованиям Норм.

Нормы распространяются на следующие виды воздействия ионизирующего излучения на человека:

- в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;
- в результате радиационной аварии;
- от природных источников излучения;
- при медицинском облучении.

Требования по обеспечению радиационной безопасности сформулированы для каждого вида облучения. Суммарная доза от всех видов облучения используется для оценки радиационной обстановки и ожидаемых медицинских последствий, а также для обоснования защитных мероприятий и оценки их эффективности.

Требования Норм и Правил не распространяются на источники излучения, создающие при любых условиях обращения с ними:

индивидуальную годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв;

индивидуальную годовую эквивалентную дозу в коже не более 50 мЗв и в хрусталике не более 15 мЗв;

коллективную эффективную годовую дозу не более 1 чел.-Зв, или когда при коллективной дозе более 1 чел.-Зв оценка по принципу оптимизации показывает нецелесообразность снижения коллективной дозы.

Требования Норм и Правил не распространяются также на космическое излучение на поверхности Земли и внутреннее облучение человека, создаваемое природным калием, на которые практически невозможно влиять.

Перечень и порядок освобождения источников ионизирующего излучения от радиационного контроля устанавливается санитарными правилами.

Общие положения. Главной целью радиационной безопасности является охрана здоровья населения, включая персонал, от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности без необоснованных ограничений полезной деятельности при использовании излучения в различных областях хозяйства, в науке и медицине.

Основу системы радиационной безопасности, сформулированной в данных Нормах, составляют современные международные научные рекомендации, опыт стран, достигших высокого уровня радиационной защиты населения, и отечественный опыт. Данные

мировой науки показывают, что соблюдение Международных основных норм безопасности, которые легли в основу Норм, надежно гарантирует безопасность работающих с источниками излучения и всего населения.

Ионизирующая радиация при воздействии на организм человека может вызвать два вида эффектов, которые клинической медициной относятся к болезням: детерминированные пороговые (лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии в развитии плода и др.) и стохастические (вероятностные) беспороговые (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни) эффекты.

Нормы радиационной безопасности относятся только к ионизирующему излучению. В Нормах учтено, что ионизирующее излучение является одним из множества источников риска для здоровья человека, и что риски, связанные с воздействием излучения, не должны соотноситься только с выгодами от его использования, но их следует сопоставлять и с рисками нерадиационного происхождения.

Для обеспечения радиационной безопасности при нормальной эксплуатации источников излучения необходимо руководствоваться следующими основными принципами:

- непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения (принцип нормирования);
- запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением (принцип обоснования);
- поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения (принцип оптимизации).

Ответственность за соблюдение настоящих норм устанавливается в соответствии со ст. 55 Закона Российской Федерации «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

Для обоснования расходов на радиационную защиту при реализации принципа оптимизации принимается, что облучение в коллективной эффективной дозе в 1 чел.-Зв приводит к потенциально-

му ущерб – ущерб, равному потере 1 чел.-года жизни населения. Величина денежного эквивалента потери 1 чел.-года жизни населения устанавливается методическими указаниями федерального органа Госсанэпиднадзора в размере не менее 1 годового душевого национального дохода.

Снижение риска до возможно низкого уровня (оптимизацию) следует осуществлять с учетом двух обстоятельств:

предел риска регламентирует потенциальное облучение от всех возможных источников излучения (поэтому для каждого источника излучения при оптимизации устанавливается граница риска);

при снижении риска потенциального облучения существует минимальный уровень риска, ниже которого риск считается пренебрежимым и дальнейшее снижение риска нецелесообразно.

Предел индивидуального пожизненного риска в условиях нормальной эксплуатации для техногенного облучения в течение года персонала принимается округленно $1,0 \cdot 10^{-3}$, а для населения – $5,0 \cdot 10^{-5}$.

Уровень пренебрежимого риска разделяет область оптимизации риска и область безусловно приемлемого риска и составляет 10^{-6} .

Требования к ограничению техногенного облучения в контролируемых условиях. Для нормальных условий эксплуатации источников излучения устанавливаются следующие категории облучаемых лиц:

- персонал (группы А и Б);
- все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для категорий облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов:

- основные пределы доз (ПД), приведенные в табл. 2.5;
- допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз – пределов годового поступления (ПГП), допустимых среднегодовых объемных активностей (ДОВА), среднегодовых удельных активностей (ДУА) и др.;
- контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.), их значения должны учитывать достигнутый в организации уровень радиационной безопасности и обеспечивать

условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

Таблица 2.5

Нормируемые величины*	Пределы дозы	
	персонал (группа А)**	население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год:		
в хрусталике глаза***	150 мЗв	15 мЗв
коже****	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

* Допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.

** Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни облучения персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А. Далее в тексте все нормативные значения для категории персонал приводятся только для группы А.

*** Относится к дозе на глубине 300 мг/см².

**** Относится к среднему по площади в 1 см² значению в базальном слое кожи толщиной 5 мг/см² под покровным слоем толщиной 5 мг/см². На ладонях толщина покровного слоя – 40 мг/см². Указанным пределом допускается облучение всей кожи человека при условии, что в пределах усредненного облучения любого 1 см площади кожи этот предел не будет превышен. Предел дозы при облучении кожи лица обеспечивает непревышение предела дозы на хрусталик от бета-частиц.

Основные пределы доз облучения не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий. На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) – 70 мЗв. Начало периодов вводится с 1 января 2000 г.

При одновременном воздействии на человека источников внешнего и внутреннего облучения годовая эффективная доза не должна превышать пределов доз, установленных в табл. 2.5.

В стандартных условиях монофакторного поступления радионуклидов, определенных в разд. 8 Норм, годовое поступление радионуклидов через органы дыхания и среднегодовая объемная активность их во вдыхаемом воздухе не должны превышать числовых значений ПГП и ДОО, приведенных в приложениях П-1 и П-2 НРБ-99 [13], где пределы доз взяты равными 20 мЗв в год для персонала и 1 мЗв в год для населения.

В условиях нестандартного поступления радионуклидов величины ПГП и ДОО устанавливаются методическими указаниями федерального органа госсанэпиднадзора.

Для женщин в возрасте до 45 лет, работающих с источниками излучения, вводятся дополнительные ограничения: эквивалентная доза на поверхности нижней части области живота не должна превышать 1 мЗв в месяц, а поступление радионуклидов в организм за год не должно быть более 1/20 предела годового поступления для персонала. В этих условиях эквивалентная доза облучения плода за 2 месяца невыявленной беременности не превысит 1 мЗв. Для обеспечения выполнения указанного норматива при одновременном воздействии источников внешнего и внутреннего излучения должно выполняться требование при условии одновременного воздействия на человека источников внешнего и внутреннего облучения.

Администрация предприятия обязана перевести беременную женщину на работу, не связанную с источниками ионизирующего излучения, со дня информации о факте беременности, на период беременности и грудного вскармливания ребенка.

Для студентов и учащихся старше 16 лет, проходящих профессиональное обучение с использованием источников излучения, годовые дозы не должны превышать значений, установленных для персонала группы Б.

Планируемое повышенное облучение. Планируемое облучение персонала группы А выше установленных пределов доз (см. табл. 2.5) при ликвидации или предотвращении аварии может быть разрешено только в случае необходимости спасения и (или) предотвращения их облучения. Планируемое повышенное облучение допускается для мужчин старше 30 лет лишь при их добровольном письменном согласии, после информирования о возможных дозах облучения и риске для здоровья.

Планируемое облучение экипажей, находящихся в море судов ВМФ с атомными энергетическими установками, личного состава аварийно-спасательных и других специальных формирований выше установленных пределов доз при ликвидации или предотвращении аварии регламентируется ведомственными документами, согласованными с Минздравом России.

Планируемое повышенное облучение в эффективной дозе до 100 мЗв в год и эквивалентных дозах не более двухкратных значений, приведенных в табл. 2.5, допускается с разрешения территориальных органов госсанэпиднадзора, а облучение в эффективной дозе до 200 мЗв в год и четырехкратных значений эквивалентных доз по табл. 2.5 – только с разрешения федерального органа госсанэпиднадзора.

Повышенное облучение не допускается:

- для работников, ранее уже облученных в течение года в результате аварии или запланированного повышенного облучения с эффективной дозой 200 мЗв, или с эквивалентной дозой, превышающей в четыре раза соответствующие пределы доз, приведенные в табл. 2.5;
- для лиц, имеющих медицинские противопоказания для работы с источниками излучения.

Лица, подвергшиеся облучению в эффективной дозе, превышающей 100 мЗв в течение года, при дальнейшей работе не должны подвергаться облучению в дозе свыше 20 мЗв за год.

Облучение эффективной дозой свыше 200 мЗв в течение года должно рассматриваться как потенциально опасное. Лица, подвергшиеся такому облучению, должны немедленно выводиться из зоны облучения и направляться на медицинское обследование. Последующая работа с источниками излучения этим лицам может быть разрешена только в индивидуальном порядке с учетом их согласия по решению компетентной медицинской комиссии.

Лица, не относящиеся к персоналу, привлекаемые для проведения аварийных и спасательных работ, должны быть оформлены и допущены к работам как персонал группы А.

Требования к защите от природного облучения в производственных условиях. Эффективная доза облучения природными источниками излучения всех работников, включая персонал, не

должна превышать 5 мЗв в год в производственных условиях (любые профессии и производства).

Воздействие космических излучений на экипажи самолетов нормируется как природное облучение в производственных условиях.

Радиационная безопасность населения – состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующих излучений.

Воздействие ионизирующих излучений на население и окружающую среду может происходить как за счет естественного радиационного и техногенно измененного радиационного фона, так и в случае радиационных аварий на радиационно опасных объектах (РОО).

Естественный радиационный фон – доза излучения, создаваемая космическим излучением и излучением природных радионуклидов, естественно распределенных в земле, воде, воздухе, других элементах биосферы, пищевых продуктах и организме человека.

Техногенно измененный радиационный фон – естественный радиационный фон, измененный в результате деятельности человека.

2.6. Радиационная защита в ЧС техногенного характера

2.6.1. Радиационная опасность техногенного характера

Современное развитие общества все в большей мере сталкивается с проблемой обеспечения безопасности и защиты человека и окружающей среды от воздействия ЧС техногенного характера.

Как известно, наибольшую техногенную опасность несут в себе аварии и катастрофы на радиационно и химически опасных объектах.

Одна из первых получивших известность радиационных аварий произошла на предприятии по переработке ядерных материалов ПО «Маяк» (г. Озерск, Челябинская обл.) в 1957 г. По международной семиуровневой шкале ядерных событий теперь она отнесена к высокому шестому уровню. В результате химического взрыва одной из емкостей с радиоактивными отходами произошел выброс в окружающую среду большого количества радиоактивных продуктов. Возникшее при этом радиоактивное облако накрыло значительную территорию – около 23 тыс. кв. км. В зону радиоактивного загрязнения попали 217 сел и деревень с населением 270 тыс. чел. Из ряда населенных пунктов пришлось осуществить эвакуацию

населения. И по сей день серьезную опасность для местных жителей представляет загрязненность реки Теча.

В том же году в Великобритании на газоохлаждаемом графитовом реакторе в Уиндскейле (ныне Селлафилд) произошла авария с выбросом радиоактивных продуктов деления. В 1973 г. на том же предприятии случилась авария с выбросом радиоактивного материала в зону обслуживания. На американской АЭС «Три-Майл-Айленд» в 1979 г. возникло тяжелое повреждение активной зоны реактора второго блока АЭС с выбросом радиоактивных веществ во внутреннее пространство реакторного здания и последующим ограниченным выбросом за пределы производственной площадки. Первая авария в Уиндскейле и авария на «Три-Майл-Айленд» отнесены по международной шкале к событиям 5-го уровня. В 1980 г. на АЭС «Сен-Лоран» во Франции произошла авария со значительным повреждением активной зоны реактора, но без выброса радиоактивности. По международной шкале она, как и вторая авария в Уиндскейле, была классифицирована в качестве события 4-го уровня.

Наиболее тяжелым событием в истории атомной энергетики, а возможно и всей техногенной сферы, явилась авария на Чернобыльской АЭС – Чернобыльская катастрофа, как ее называют. Обстоятельства этой аварии широко известны. На реакторе 4-го блока Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г. в СССР проводились испытания с отключенными защитами в режиме полного обесточивания оборудования АЭС, в ходе которых произошли: разгон реактора, скачок мощности, расплавление тепловыделяющих элементов, паровой и водородный взрывы реактора. Здание реактора и сам реактор были разрушены. Произошел выброс радиоактивных материалов, суммарная активность которого оценивается в $1,85 \times 10^{18}$ Бк. В течение трех месяцев непосредственно от аварии погибли 30 чел. Это событие по международной шкале ныне оценивается 7-м уровнем. Выбрасываемые из активной зоны разрушенного реактора в атмосферу радиоактивные продукты в течение 10 сут разносились воздушными потоками на значительные расстояния. В наибольшей степени радиоактивному загрязнению подверглись Белоруссия, Украина и Российская Федерация. Незначительные загрязнения возникли на территориях прибалтийских республик, стран Северной и Центральной Европы, а также на Балканах. В России общая площадь радиоактивно загрязненных терри-

торий с плотностью загрязнения выше $3,7 \text{ Бк/см}^2$ по цезию-137 достигла 60 тыс. кв. км. На загрязненных территориях оказалось 7608 населенных пунктов, где проживало 3 млн чел. Вообще же радиоактивному загрязнению подверглись территории 16 областей и трех республик России. Это загрязнение парализовало в ряде районов хозяйственную деятельность, а на некоторых территориях сделало невозможным проживание людей. Чернобыльская катастрофа стала общенародным бедствием.

Радиационная защита населения в ЧС – комплекс мероприятий (административных, организационно-технических, санитарно-гигиенических и др.), ограничивающих или предотвращающих воздействие ионизирующих излучений на население сверхдопустимых установленных норм.

2.6.2. Характеристика радиационно опасных объектов

Радиационно опасный объект (РОО) – объект, при аварии на котором или разрушении которого может произойти выход радиоактивных продуктов или ионизирующего излучения за предусмотренные проектом для нормальной эксплуатации значения, что может привести к массовому облучению людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также радиоактивному загрязнению природной среды выше допустимых норм.

Основную и главную группу РОО по степени их потенциальной опасности загрязнения природной среды представляют предприятия ядерного топливного цикла (ПЯТЦ).

В ядерный топливный цикл (ЯТЦ) входят предприятия по получению, применению, переработке, хранению и захоронению ядерных материалов. Наиболее широкое применение полученные ядерные материалы находят в ядерных энергетических реакторах на атомных станциях.

После отработки облученное ядерное топливо определенное время выдерживается в специальных хранилищах для распада наиболее активных короткоживущих радионуклидов. Далее ядерное топливо транспортируется на радиохимические заводы для его переработки, где производится извлечение оставшегося урана и переработанного плутония. Извлеченный уран вновь возвращается на изготовление ядерного топлива.

Высокоактивные отходы, образовавшиеся после переработки облученного топлива (продукты деления урана, другие продукты наработки реактора), поступают на захоронение.

К предприятиям по добыче, переработке и получению ядерных материалов относятся: урановые рудники; предприятия по переработке урановой руды, аффинажу урана и получению тетрафторида урана и гексафторида урана, обогащению урана; заводы по очистке урановых концентратов и изготовлению ТВЭЛОВ.

Основными радиоактивными элементами на первых этапах ЯТЦ являются уран и радий. Сбросы этих радионуклидов влияют на экологическую обстановку в регионе, однако в силу низкой вероятности аварий и незначительной радиоактивности практически не приводят к возникновению ЧС. Характеристика потенциальной опасности ПЯТЦ представлена в табл. 2.6.

Таблица 2.6

№ п/п	Предприятия	Число объектов в РФ	Радиоактивность на объекте	Возможность СЦЯР** на объекте	Возможная площадь РЗМ*, км ²
1	Горно-металлургический комбинат	Единицы	0.3 Ки/тU	Невозможна	–
2	Обогатительный завод	Единицы	1 Ки/тU	Возможна	–
3	Изготовление ядерного топлива	Единицы	1 Ки/тU	Возможна	10
4	Атомная станция	Десятки	$10^8 - 10^9$ Ки	Возможна	> 100
5	Транспортировка ядерного топлива	Сотни	$10^8 - 10^9$ Ки	Возможна	10
6	Радиохимический завод	Единицы	$10^8 - 10^9$ Ки	Возможна	> 50
7	Полигоны для захоронения высокоактивных отходов	Единицы	$10^8 - 10^9$ Ки	Возможна	10

* РЗМ – радиоактивное загрязнение местности.

** СЦЯР – самопроизвольная цепная ядерная реакция.

Ядерные реакторы на атомных станциях. Как видно из табл. 2.6, одним из основных источников опасности для природной среды является ядерный реактор атомных станций, на котором сосредоточено значительное количество активности.

Образующиеся в процессе эксплуатации в активной зоне ядерного реактора (ЯР) радиоактивные вещества (РВ) можно условно разделить на три группы (рис. 2.1).

Количество РВ, образующихся в реакторе, зависит от его мощности, типа ядерного топлива, режима его облучения, размеров активной зоны и некоторых других факторов.

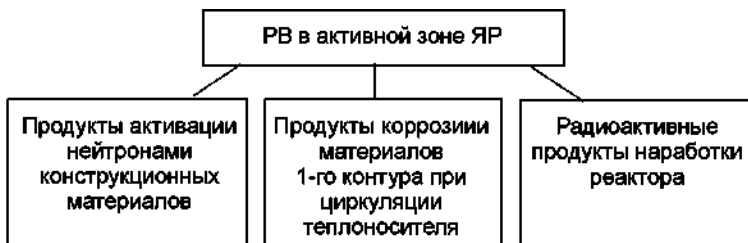


Рис. 2.1

Продукты активации и коррозии. Продукты активации и коррозии включают в себя радионуклиды, образующиеся в конструкционных материалах реактора, и радиоактивные примеси теплоносителя и замедлителя.

Радиоактивная примесь теплоносителя, образующаяся в результате взаимодействия нейтронов в активной зоне реактора с материалом теплоносителя и химическими веществами, содержащимися в нем, является наведенной активностью.

Наиболее распространенными видами теплоносителя в реакторах на тепловых нейтронах является обессоленная вода, а в реакторах на быстрых нейтронах – жидкий натрий.

Основные радионуклиды – продукты активации и коррозии – представлены в табл. 2.7.

Из перечисленных в табл. 2.7 продуктов активации и коррозии особую опасность как источники внутреннего облучения представляют биогенные элементы тритий и ^{14}C , которые являются β -излучателями низких энергий.

Так, графитовый замедлитель реактора РБМК-1000 является источником образования радиоактивного ^{14}C в количестве $3 \cdot 10^{12}$ Бк/год.

В реакторах на быстрых нейтронах основной вклад в наведенную активность вносят ^{22}Na и ^{24}Na . Оба этих нуклида являются интенсивными гамма-излучателями и их удельная активность в теплоносителе очень высока и для ^{24}Na достигает $2,0 \cdot 10^{12}$ Бк/кг.

Таблица 2.7

Нуклид	T_s , ч	Нуклид	T_s , ч
^{51}Cr	672	^{93}Nb	840
^{54}Mn	$7,5 \cdot 10^3$	^{95}Zr	$1,5 \cdot 10^3$
^{58}Co	$8,7 \cdot 10^3$	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$6,0 \cdot 10^3$
^{59}Fe	$1,1 \cdot 10^3$	$^3\text{H(T)}$	$1,1 \cdot 10^5$
^{60}Co	$4,6 \cdot 10^4$	^{14}C	$5,0 \cdot 10^7$
^{65}Zn	$5,6 \cdot 10^3$	^{41}Ar	1,8

Вторым важным источником активности теплоносителя являются продукты коррозии (ПК) металлов технологических коммуникаций. Активация ПК происходит в основном за счет тепловых нейтронов.

Продукты активации и коррозии распределены в герметизированных объемах ядерного энергетического реактора и не представляют значительной радиационной опасности при нормальной работе установки.

При нарушении герметизации активной зоны ядерного реактора в случае аварии продукты активации и коррозии могут вызвать загрязнение территории, однако вследствие небольшого их количества это не вызовет значительных последствий для населения.

Радиоактивные продукты реакции деления. Процесс выделения ядерной энергии в активной зоне реактора сопровождается образованием и накоплением радиоактивных продуктов деления, которые представляют собой смесь (в настоящее время идентифицировано примерно 650 радионуклидов). Основная их часть является β -, γ -излучателями.

При облучении ядерного топлива в реакторе происходит два конкурирующих процесса. Первый включает образование новых радионуклидов за счет деления ядер урана-235. Второй, протекающий одновременно с первым, является процессом радиоактивного распада.

В начальный период облучения процесс накопления является преобладающим, и поэтому суммарная активность продуктов деления в реакторе быстро увеличивается.

В дальнейшем в активной зоне реактора происходит постепенное выравнивание скоростей процессов образования и распада для ряда продуктов деления.

Время достижения равновесного состояния для каждого радионуклида различно и определяется, кроме других причин, в основном периодом его полураспада. Например, для ^{131}I ($T_{1/2} = 8$ сут) равновесное состояние достигается примерно через 80 сут после начала облучения топлива и составляет для РБМК-1000 около 40 МКи. При этом очевидно, что время достижения такого равновесия будет тем больше, чем больше период полураспада радионуклида.

Активность каждого радионуклида на различное время облучения приводится в специальных справочниках [15].

Для оценки радиационной опасности ЯР необходимо знать суммарную активность продуктов деления, находящуюся в нем на момент аварии. Суммарную активность продуктов деления за время t непрерывной работы твэла в активной зоне, называемую кампанией, можно оценить, используя эмпирическую формулу

$$A(\tau) = 6,3 \cdot 10^6 (1 - 0,9 \tau^{-0,16}) W_{\tau},$$

где W_{τ} – тепловая мощность реактора.

Стандартная кампания основных отечественных реакторов РБМК и ВВЭР после вывода их в стандартный режим работы составляет, как правило, 3 года (1095 сут). При этом активность продуктов деления в реакторе за это время составляет около 70 % активности, накопленной бы в реакторе при бесконечной кампании.

После останова реактора, а также аварии или разрушения, активность накопленных в нем радионуклидов начинает уменьшаться в соответствии с законом радиоактивного распада с учетом радиоактивных цепочек.

Вклад каждого изотопа в суммарную активность продуктов деления определяется в основном его независимым выходом, т.е. вероятностью его образования при делении ядра урана-235, а также периодом его полураспада.

В работе [15] представлено интегральное и дифференциальное распределение радионуклидов, образующихся в реакторе, по периодам их полураспада.

Из данных, представленных в работе, следует, что около 80 % всех радионуклидов, образующихся в ядерных энергетических реакторах, имеет период полураспада до одних суток. Анализ динамики накопления радионуклида в ЯР позволяет сделать вывод, что данный радионуклид достигает своего равновесия за время, равное примерно 10 периодам полураспада. Следовательно, в течение 10 сут 80 % радионуклидов (РН) достигнут своего равновесного состояния. За это время в ЯР накопится около 50 % активности, нарабатываемой за трехлетнюю кампанию.

Отсюда следует, что дальнейшее увеличение суммарной активности продуктов деления в реакторе будет происходить за счет долгоживущих радионуклидов.

Небезынтересно сравнить относительное содержание долгоживущих радионуклидов в смеси продуктов деления ядерного взрыва и ядерного реактора (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Радионуклид	Относительное количество РН в смеси ПД, %			
	Ядерный взрыв	ЯЭР при кампании		
		1 год	2 года	3 года
^{90}Sr	$4,0 \cdot 10^{-5}$	0,03	0,06	0,08
^{95}Zr	$7,0 \cdot 10^{-3}$	0,41	0,35	0,31
^{106}Ru	$5,0 \cdot 10^{-3}$	0,68	0,64	0,62
^{131}I	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,66	0,62	0,60
^{137}Cs	$4,1 \cdot 10^{-3}$	0,03	0,06	0,09
^{144}Ce	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,3	0,23	0,19

Из приведенных данных следует, что по приведенным изотопам увеличение относительного содержания в смеси долгоживущих

продуктов деления ядерного реактора по сравнению с ядерным взрывом составляет тысячи раз, что и обуславливает более быстрый спад активности продуктов деления ядерного взрыва.

Радиохимические заводы и предприятия по переработке и захоронению радиоактивных отходов. На этих предприятиях проводится переработка радиоактивных отходов атомной промышленности, выделение урана и плутония из отработанных твэлов, а также продуктов деления урана, которые могут быть использованы в качестве источников излучения.

В настоящее время на радиохимических заводах широко применяется пурэкс-процесс, основанный на последовательной экстракции осколков деления, урана и плутония из переработанного топлива.

Пурэкс-процесс включает два цикла экстракционной очистки. В первом происходит разделение урана и плутония и их первоначальная очистка от основной массы продуктов деления. Во втором цикле уран и плутоний раздельно подвергаются дальнейшей очистке от осколочной активности.

Причиной радиоактивного загрязнения природной среды при переработке радиоактивных отходов могут быть аварии, связанные с нарушением технологического процесса.

В зависимости от стадии, на которой произошло нарушение технологии, радиоактивное загрязнение будет характеризоваться либо высокоактивными продуктами деления, как в случае аварии на НПО «Маяк» в 1957 г., либо α -активными изотопами урана и плутония с незначительными добавками продуктов деления, как в случае аварии на Северском химическом комбинате (СХК) в апреле 1993 г.

В табл. 2.9 дан радионуклидный состав аварийного выброса при авариях на радиохимических заводах (РХЗ).

Из приведенных данных видно, что содержание долгоживущих изотопов стронция-90 и цезия-137 в выбросе в процентном отношении невелико, однако в абсолютном значении активность их может составлять сотни и тысячи кюри. Поэтому эти радионуклиды в связи с их весьма большим периодом полураспада определяют

долговременное загрязнение территории и вносят основной вклад в облучение населения.

Таблица 2.9

Радионуклид	$T_{1/2}$	Содержание в смеси, %	
		НПО «Маяк»	СХК
$^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$	282 сут	59	< 1
$^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$	368 сут	–	35
$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	28 лет	5	< 1
$^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$	65 сут	21,8	62
^{147}Pm	2,6 лет	7,3	–
^{137}Cs	30 лет	< 1	< 1
^{239}Pu	$2,4 \cdot 10^4$ лет	–	79*
^{234}U	$2,4 \cdot 10^5$ лет	–	12*
^{238}U	$4,5 \cdot 10^9$ лет	–	9*

* Процентный состав проводится относительно α -активных радионуклидов.

2.6.3. Классификация радиационных аварий

Радиационная авария (РА) – потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями работников (персонала), стихийными бедствиями или иными причинами, которые могли привести или привели к облучению людей выше установленных норм или к радиоактивному загрязнению окружающей среды.

Степень радиационной опасности для населения в случае аварии на РОО определяется многими факторами, важнейшими из которых являются количество и радионуклидный состав выброшенных во внешнюю среду РВ, расстояние от источника аварийного выброса до населенных пунктов, характер их застройки и плотность населения, природные климатические условия, характер природопользования, водоснабжения и питания населения.

Важное место в анализе источников радиационной опасности занимает правильное определение видов возможных аварий, в рас-

чете на которые необходимо планировать те или иные защитные мероприятия.

В первую очередь, аварии на РОО можно подразделить на *проектные*, т.е. такие, которые могут быть предотвращены существующими (заложенными в проекте) системами безопасности, *проектные с максимально возможными последствиями* (так называемые максимальные проектные аварии) и *запроектные*, которые не могут быть локализованы системами внутренней безопасности объекта. Последствия первых двух не приводят к выходу РВ за пределы санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и облучению населения сверхдопустимых установленных норм, третьих же, напротив, требуют введения в той или иной степени мер по радиационной защите населения.

К классификациям аварий на РОО существует несколько подходов. Это обусловлено тем, что подобные аварии отличаются большим разнообразием присущих им признаков, а также разнообразием объектов, на которых они могут происходить.

Так, в соответствии с Руководством по организации контроля состояния природной среды [16 – 18] аварии, в частности, на атомных станциях (АС) подразделяются на четыре категории.

1-я категория. *Локальная авария* – нарушение в работе АС, при котором произошел выход РВ или ИИ за предусмотренные границы технического оборудования, зданий, сооружений. При этом количество выброшенного РВ превышает установленные значения, но зона загрязнения не выходит за пределы промплощадки.

2-я категория. *Местная авария* – такая, при которой происходит выход радиоактивных продуктов за пределы промплощадки, но область радиационного загрязнения находится в пределах СЗЗ. При местной аварии возможно облучение персонала в дозах, превышающих допустимые. Концентрации РВ в воздухе и степень радиоактивного загрязнения поверхностей в помещениях и на территории также выше допустимых.

3-я категория. *Средняя авария* характеризуется тем, что область радиоактивного загрязнения выходит за пределы СЗЗ, но локализуется в близлежащих районах, вызывая незначительное переоблучение проживающего вблизи АС (в 30-км зоне) населения.

4-я категория. *Крупная авария* – такая, при которой область радиоактивного загрязнения выходит за пределы 100-км зоны и охва-

тывает территории нескольких административных единиц с общим населением более 1 млн чел. при средней дозе облучения более 5 мЗв.

С целью типизации радиационных аварий в МАГАТЭ на основе опыта Франции, Японии и некоторых других стран разработана шкала оценки событий на АЭС, с помощью которой вводится дифференцированное восприятие происшествий и аварий на АЭС. Шкала предусматривает семь уровней и условно разделена на две части. Нижняя часть шкалы включает три уровня (1 – 3) и относится к происшествиям (инцидентам), верхняя часть – четыре уровня, соответствует авариям. Условной граница раздела шкалы является максимальная проектная авария (четвертый уровень).

С 1990 г. шкала МАГАТЭ адаптируется к условиям эксплуатации АЭС в нашей стране.

Градация аварий по международной шкале оценки событий на АЭС производится по следующим уровням, приведенным в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Номер	Наименование	Характеристика	Пример
1	Незначительное происшествие	Функциональное отклонение, которое не представляет какого-либо риска, но указывает на недостатки в обеспечении безопасности (отказ оборудования, ошибки персонала, недостатки руководства)	
2	Происшествие средней тяжести	Отказы оборудования или отклонения от нормальной эксплуатации, которые хотя и не оказывают непосредственного влияния на безопасность станции, но способны привести к значительной переоценке мер безопасности	
3	Серьезное происшествие	Выброс в окружающую среду (ОС) радиоактивных продуктов в количестве, не превышающем пятикратного допустимого суточного выброса. Происходит значительное переоблучение работающих (до 50 мЗв). За пределами площадки не требуется принятия защитных мер	Ванделос, Испания, 1989 г. СХЗ, 1993 г.

Номер	Наименование	Характеристика	Пример
4	Авария в пределах АЭС	Выброс радиоактивных продуктов в ОС в количествах, не превышающих дозовые пределы для населения при проектных авариях. Облучение персонала порядка 1 Зв, вызывающее лучевые эффекты	Сант-Лоурент, Франция 1980 г.
5	Авария с риском для окружающей среды	Выброс в ОС такого количества продуктов, которое приводит к незначительному превышению дозовых пределов для проектных аварий. Разрушение большей части активной зоны реактора, вызываемое механическим воздействием или плавлением. В некоторых случаях требуется частичное введение планов мероприятий по защите персонала и населения на случай аварии	Три-Майл Айленд, США, 1979 г.
6	Тяжелая авария	Выброс в ОС большого количества РВ, эквивалентный выбросу ^{131}I от сотен до тысяч гигабеккерель. Для ограничения серьезных последствий для населения необходимо введение планов мероприятий по защите персонала и населения в случае аварии в ограниченной зоне АЭС	Виндскейл, Великобритания, 1957 г.
7	Глобальная авария	Выброс в ОС большого количества РВ, накопленных в активной зоне реактора, в результате которого возможны острое лучевое поражение, последующее влияние на здоровье населения, проживающего на большой территории, включающее более чем одну страну. Длительное воздействие на ОС	Чернобыль, СССР, 1986 г.

Авария на АЭС «Три-Майл-Айленд – 2» (ТМІ-2). 28.03.79 утечка РВ произошла через клапан сброса давления и продолжалась в течение 2,5 ч. Затем были включены насосы аварийного охлаждения, и активная зона была затоплена.

Выброс ^{131}I составил 600 ГБк (~ 0,1 % от общего содержания в активной зоне реактора). Высвободилось также пренебрежимо ма-

лое количество ^{140}Ba ($T_{1/2} = 12,74$ сут). Выброс инертных радиоактивных газов (изотопы криптона и ксенона) составил 10^{17} Бк, т.е. 2 % от их содержания в активной зоне.

Мощности дозы γ -излучения вне площадки менее 10 мкЗв/ч. Разрушения герметизация здания не произошло; этим объясняется сравнительно небольшой выброс РВ.

Протяженность облака в атмосфере составила 30 км.

Площадь загрязнения ограничена промплощадкой.

Коллективная доза – 20 чел.-Зв.

Эффективная доза облучения составила 40 мЗв на площадке и 0,73 мЗв – вне площадки.

Авария в Виндскейл. В октябре 1957 г. на первом энергетическом блоке произошел пожар, продолжавшийся в течение двух дней. Реактор использовался для производства плутония. В результате горения графита и из-за отсутствия системы герметизации произошел выброс РВ через 120-метровую трубу в окружающую среду. Выброс иода составил $7 \cdot 10^{14}$ Бк, т.е. 12 % от общего содержания в активной зоне. Кроме этого, в составе выброса были следующие радионуклиды $^{132}\text{Te} - 6 \cdot 10^{13}$ Бк, $^{137}\text{Cs} - 2 \cdot 10^{13}$ Бк, $^{89,90}\text{Sr} - 3,3 \cdot 10^{12}$ Бк, ИРГ – $1,3 \cdot 10^{16}$ Бк.

Протяженность облака составила 300 км, площадь зоны радиоактивного загрязнения – 520 км².

Эффективная доза облучения составила 0,045 Зв на площадке и 0,2 мЗв – вне площадки.

Доза облучения щитовидной железы взрослых – 9,5 сЗв, детей – 16 сЗв.

Авария Чернобыльской АЭС (ЧАЭС). 26 апреля 1986 г. на четвертом блоке ЧАЭС произошли два последовательных взрыва, которые привели к разрушению графитовой кладки реактора, технологических каналов, разгерметизации реакторного пространства, плавления большей части твэлов. В результате мощного взрыва газоаэрозольное облако пробilo инверсионный слой атмосферы на высоту более 1,5 км.

Общий выброс РВ, состоящий в том числе и из диспергированного топлива, составил 50 МКи, по другим оценкам – до 130 МКи.

2.6.4. Фазы развития радиационных аварий

При прогнозе радиационной обстановки, планировании и осуществлении мер по радиационной защите населения хронологию развития чрезвычайной ситуации принято условно разделять на три фазы.

Ранняя фаза – продолжающаяся от начала аварии до прекращения выброса РВ в атмосферу. На этой *фазе* в основном завершается первичное формирование радиоактивного следа на местности.

Продолжительность этой фазы в зависимости от характера и масштаба аварии может длиться от нескольких часов до нескольких суток (по опыту Чернобыля – до 10 сут).

Эта фаза характеризуется наиболее интенсивным радиационным воздействием на население. При этом доза внешнего облучения формируется за счет излучения РВ, содержащихся в облаке выброса и на загрязненной местности. Внутреннее облучение обусловлено ингаляционным поступлением в организм радиоактивных продуктов из облака через органы дыхания.

Средняя фаза аварии длится до принятия всех мер по защите населения и характеризуется наличием системы строгих ограничений жизнедеятельности населения в зонах радиоактивного загрязнения и системы контроля радиационной обстановки.

Продолжительность этой фазы может составить в зависимости от характера и масштабов аварии от нескольких десятков дней до 1 года.

Основными факторами радиационного воздействия на население на этой фазе будут:

- внешнее гамма-облучение от радиоактивного загрязнения местности;
- внутреннее облучение за счет перорального (перэнтерального) поступления радионуклидов при употреблении загрязненных продуктов питания и питьевой воды и вдыхания радиоактивных аэрозолей, образующихся в результате процессов естественного и техногенного пылеобразования.

Поздняя фаза аварии длится до снятия всех ограничений и характеризуется восстановлением природопользования и обычной системы контроля радиационной обстановки, характерной для аварийно незагрязненных территорий.

Из хронологии развития ЧС радиационного характера и факторов радиационного воздействия очевидно, что введение мер радиационной защиты является наиболее эффективным на ранней фазе аварии.

2.6.5. Перечень мероприятий радиационной защиты и их содержание

Перечень мероприятий радиационной защиты. В зависимости от складывающейся радиационной обстановки защита населения обеспечивается выполнением следующих основных мероприятий.

1. Ограничение пребывания населения на открытой местности путем временного укрытия в зданиях с герметизацией жилых и служебных помещений.

2. Профилактика переоблучения щитовидной железы путем применения препаратов стабильного йода (например, таблетки КJ).

3. Защита органов дыхания подручными средствами или средствами индивидуальной защиты органов дыхания.

4. Эвакуация населения.

Другими мерами радиационной защиты при ЧС радиационного характера в той или иной мере, характерными для различных фаз аварии, могут быть следующие:

1) прекращение употребления загрязненных продуктов питания и питьевой воды, завоз чистых продуктов питания и кормов для сельскохозяйственных животных;

2) ограничение доступа населения на загрязненные участки местности;

3) проведение отселения населения из районов, где невозможно нормальное природопользование, ведение агропромышленного производства и содержание приусадебных участков;

4) проведение дезактивационных и других работ по ликвидации последствий аварии.

Решения о мерах защиты населения от радиоактивного облучения на ранней фазе должны приниматься на основании сравнения оцененных по данным прогноза или аэродозиметрической разведки доз облучения с критерияльными значениями согласно НРБ-99.

Требования по ограничению облучения населения в условиях радиационной аварии.

1. В случае возникновения аварии должны быть приняты практические меры для восстановления контроля над источником излучения и для сведения к минимуму доз облучения, количества облученных лиц, радиоактивного загрязнения окружающей среды, экономических и социальных потерь, вызванных радиоактивным загрязнением.

2. При радиационной аварии или обнаружении радиоактивного загрязнения ограничение облучения осуществляется защитными мероприятиями, применимыми, как правило, к окружающей среде и (или) к человеку. Эти мероприятия могут приводить к нарушению нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территории, т.е. являются вмешательством, влекущим за собой не только экономический ущерб, но и неблагоприятное воздействие на здоровье населения, психологическое воздействие на население и неблагоприятное изменение состояния экосистем. Поэтому при принятии решений о характере вмешательства (защитных мероприятий) следует руководствоваться следующими принципами:

- предлагаемое вмешательство должно принести обществу и, прежде всего, облучаемым лицам больше пользы, чем вреда, т.е. уменьшение ущерба в результате снижения дозы должно быть достаточным, чтобы оправдать вред и стоимость вмешательства, включая его социальную стоимость (принцип обоснования вмешательства);

- форма, масштаб и длительность вмешательства должны быть оптимизированы таким образом, чтобы чистая польза от снижения дозы, т.е. польза от снижения радиационного ущерба за вычетом ущерба, связанного с вмешательством, была бы максимальной (принцип оптимизации вмешательства).

Если предполагаемая доза излучения за короткий срок (2 сут) достигает уровней, при превышении которых возможны клинически определяемые детерминированные эффекты (табл. 2.11), необходимо срочное вмешательство (меры защиты). При этом вред здоровью от мер защиты не должен превышать пользы здоровью пострадавших.

Таблица 2.11

Орган или ткань	Поглощенная доза в органе или ткани за 2 сут, Гр
Все тело	1
Легкие	6
Кожа	3
Щитовидная железа	5
Хрусталик глаза	2
Гонады	3
Плод	0,1

3. При хроническом облучении в течение жизни защитные мероприятия становятся обязательными, если годовые поглощенные дозы превышают значения, приведенные в табл. 2.12. Превышение этих доз приводит к серьезным детерминированным эффектам.

Таблица 2.12

Орган или ткань	Годовая поглощенная доза, Гр
Гонады	0,2
Хрусталик глаза	0,1
Красный костный мозг	0,4

4. Уровни вмешательства для временного отселения населения составляют: для начала временного отселения – 30 мЗв в месяц, для окончания временного отселения – 10 мЗв в месяц. Если прогнозируется, что накопленная за один месяц доза будет находиться выше указанных уровней в течение года, следует решать вопрос об отселении населения на постоянное место жительства.

5. При проведении противорадиационных вмешательств пределы доз (см. табл. 2.5) не применяются. Исходя из указанных принципов, при планировании защитных мероприятий на случай радиационной аварии органами Госсанэпиднадзора устанавливаются уровни вмешательства (дозы и мощности доз облучения, уровни радиоактивного загрязнения) применительно к конкретному радиа-

ционному объекту и условиям его размещения с учетом вероятных типов аварии, сценариев развития аварийной ситуации и складывающейся радиационной обстановки.

6. При аварии, повлекшей за собой радиоактивное загрязнение обширной территории, на основании контроля и прогноза радиационной обстановки устанавливается зона радиационной аварии. В зоне радиационной аварии проводится контроль радиационной обстановки и осуществляются мероприятия по снижению уровней облучения населения на основе изложенных выше в пп. 1, 2, 4 принципов и подходов.

7. Принятие решений о мерах защиты населения в случае крупной радиационной аварии с радиоактивным загрязнением территории проводится на основании сравнения прогнозируемой дозы, предотвращаемой защитным мероприятием, и уровней загрязнения с уровнями А и Б, приведенными в табл. 2.13 – 2.15.

Таблица 2.13

Меры защиты	Предотвращаемая доза за первые 10 сут, мГр			
	на все тело		щитовидная железа, легкие, кожа	
	уровень А	уровень Б	уровень А	уровень Б
Укрытие	5	50	50	500
Иодная профилактика:				
взрослые	—	—	250*	2500*
дети	—	—	100*	1000*
Эвакуация	50	500	500	5000

* Только для щитовидной железы.

Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, не превосходит уровень А, нет необходимости в выполнении мер защиты, связанных с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, а также хозяйственного и социального функционирования территории.

Если предотвращаемое защитным мероприятием облучение превосходит уровень А, но не достигает уровня Б, решение о выполнении мер защиты принимается по принципам обоснования и оптимизации с учетом конкретной обстановки и местных условий.

Таблица 2.14

Меры защиты	Предотвращаемая эффективная доза, мЗв	
	уровень А	уровень Б
Ограничение потребления загрязненных продуктов питания и питьевой воды	5 за первый год. 1 в год за последующие годы	50 за первый год. 10 в год за последующие годы
Отселение	50 за первый год	500 за первый год
	1000 за все время отселения	

Таблица 2.15

Радионуклиды	Удельная активность радионуклида в пищевых продуктах, кБк/кг	
	уровень А	уровень Б
^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs	1	10
^{90}Sr	0,1	1,0
^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{241}Am	0,01	0,1

Если уровень облучения, предотвращаемого защитным мероприятием, достигает и превосходит уровень Б, необходимо выполнение соответствующих мер защиты, даже если они связаны с нарушением нормальной жизнедеятельности населения, хозяйственного и социального функционирования территории.

На поздних стадиях радиационной аварии, повлекшей за собой загрязнение обширных территорий долгоживущими радионуклидами, решения о защитных мероприятиях принимаются с учетом сложившейся радиационной обстановки и конкретных социально-экономических условий.

Критерии вмешательства на загрязненных территориях. Защита населения на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, осуществляется путем вмешательства на основе принципов безопасности при вмешательстве. При любых восстановительных действиях вмешательства необходимо обеспечить непревышение уровня пороговых нестохастических эффектов.

Числовые значения критериев вмешательства для территорий, загрязненных в результате радиационных аварий, и вмешательства при обнаружении локальных радиоактивных загрязнений («последствий прежней деятельности») различаются.

Критерии вмешательства на территориях, загрязненных в результате радиационных аварий. На разных стадиях аварии вмешательство регулируется зонированием загрязненных территорий, которое основывается на величине годовой эффективной дозы, которая может быть получена жителями в отсутствии мер радиационной защиты. Под годовой дозой здесь понимается эффективная доза, средняя у жителей населенного пункта за текущий год, обусловленная искусственными радионуклидами, поступившими в окружающую среду в результате радиационной аварии.

На территории, где годовая эффективная доза не превышает 1 мЗв, производится обычный контроль радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды и сельскохозяйственной продукции, по результатам которого оценивается доза облучения населения. Проживание и хозяйственная деятельность населения на этой территории по радиационному фактору не ограничиваются. Эта территория не относится к зонам радиоактивного загрязнения. При величине годовой дозы более 1 мЗв загрязненные территории по характеру необходимого контроля обстановки и защитных мероприятий подразделяются на четыре зоны.

Зонирование на ранней и промежуточной стадии радиационной аварии.

Зона радиационного контроля – от 1 до 5 мЗв. В этой зоне помимо мониторинга радиоактивности объектов окружающей среды, сельскохозяйственной продукции и доз внешнего и внутреннего облучения критических групп населения осуществляются меры по снижению доз на основе принципа оптимизации и другие необходимые активные меры защиты населения.

Зона ограниченного проживания населения – от 5 до 20 мЗв. В этой зоне осуществляются те же меры мониторинга и защиты населения, что и в зоне радиационного контроля. Жителям и лицам, проживающим на указанной территории, разъясняется риск ущерба здоровью, обусловленный воздействием радиации.

Зона добровольного отселения – от 20 до 50 мЗв. Здесь осуществляется радиационный мониторинг людей и объектов внешней среды, а также необходимые меры радиационной и медицинской защиты. Оказывается помощь в добровольном переселении за пределы зоны.

Зона отселения – более 50 мЗв. В этой зоне осуществляется вмешательство в соответствии со специальными мерами защиты работающих с обязательным индивидуальным дозиметрическим контролем.

Зонирование на восстановительной стадии радиационной аварии.

Зона радиационного контроля – от 1 до 5 мЗв. В этой зоне помимо мониторинга радиоактивности объектов окружающей среды, сельскохозяйственной продукции и доз внешнего и внутреннего облучения критических групп населения осуществляются меры по снижению доз на основе принципа оптимизации и другие необходимые активные меры защиты населения.

Зона ограниченного проживания населения – от 5 до 20 мЗв. В этой зоне осуществляются те же меры мониторинга и защиты населения, что и в зоне радиационного контроля. Добровольный въезд на указанную территорию для постоянного проживания не ограничивается. Лицам, въезжающим на указанную территорию для постоянного проживания, разъясняется риск ущерба здоровью, обусловленный воздействием радиации.

Зона отселения – от 20 до 50 мЗв. Въезд на указанную территорию для постоянного проживания не разрешен. В этой зоне запрещается постоянное проживание лиц репродуктивного возраста и детей. Здесь осуществляется радиационный мониторинг людей и объектов внешней среды, а также необходимые меры радиационной и медицинской защиты.

Зона отчуждения – более 50 мЗв. В этой зоне постоянное проживание не допускается, а хозяйственная деятельность и природопользование регулируются специальными актами. Осуществляются меры мониторинга и защиты работающих с обязательным индивидуальным дозиметрическим контролем.

Критерии вмешательства при обнаружении локальных радиоактивных загрязнений.

Уровень исследования – от 0,1 до 0,3 мЗв/год. Это такой уровень радиационного воздействия источника на население, при достижении которого требуется выполнить исследование источника с

целью уточнения оценки величины годовой эффективной дозы и определение величины дозы, ожидаемой за 70 лет.

Уровень вмешательства – более 0,3 мЗв/год. Это такой уровень радиационного воздействия, при превышении которого требуется проведение защитных мероприятий с целью ограничения облучения населения. Масштабы и характер мероприятия определяются с учетом интенсивности радиационного воздействия на население по величине ожидаемой коллективной эффективной дозы за 70 лет.

Решение о необходимости, а также о характере, объеме и очередности защитных мероприятий принимается органами госсанэпиднадзора с учетом следующих основных условий:

- местонахождения загрязненных участков (жилая зона – дворовые участки, дороги и подъездные пути, жилые здания, сельскохозяйственные угодья, садовые и приусадебные участки и пр.; промышленная зона – территория предприятия, здания промышленного и административного назначения, места для сбора отходов и пр.);
- площади загрязненных участков – возможного проведения на участке загрязнения работ, действий (процессов), которые могут привести к увеличению уровней радиационного воздействия на население;
- мощности дозы гамма-излучения, обусловленной радиоактивным загрязнением;
- изменения мощности дозы гамма-излучения на различной глубине от поверхности почвы (при загрязнении территории).

Краткая характеристика мероприятий радиационной защиты. В случае аварий на РОО первостепенное значение имеют вопросы оповещения и информирования населения, организация которого должна базироваться на таких основных принципах, как своевременность, достоверность, непрерывность и охват всех категорий населения.

Первоначальная информация может заключаться в констатации факта, что произошла авария на ядерном реакторе и в разъяснении порядка принятия тех или иных мер радиационной защиты, исходя из прогноза возможной радиационной обстановки, скорректированного с появлением первичных данных разведки.

В это время необходимо информировать население о средствах, с помощью которых они могут быть лучше всего защищены от различных факторов радиационного воздействия.

Для этого в органах управления РСЧС и, прежде всего, в штабах по делам гражданской обороны (ГО) и ЧС должны иметься заранее подготовленные сообщения и инструкции, которые можно дополнить, вставляя фактическую информацию, и незамедлительно сообщить административным органам и проживающему в опасных районах населению. Важно, чтобы все группы населения постоянно получали информацию об обстановке и порядке действий через небольшие промежутки времени. При организации защиты населения необходимо исходить из того, что эффект от мер защиты может быть достигнут только за счет своевременного принятия решения на их введение в случае правильно организованного оповещения и информирования населения.

Остановимся более подробно на особенностях каждого защитного мероприятия.

Укрытие населения. Укрытие населения в зданиях проводится с целью снижения дозы внешнего и внутреннего облучения населения при нахождении его в зонах радиоактивного загрязнения.

Пребывание в приспособленных помещениях, административных зданиях, подвальных и других заглубленных сооружениях снижает дозу внешнего и внутреннего облучения до нескольких десятков раз в зависимости от типа и этажности здания.

Закрытие окон и дверей, устранение неисправностей в конструкциях, выключение систем вентиляции в период прохождения облака дает возможность снижения доз внутреннего облучения. При этом степень снижения существенным образом зависит от времени пребывания в помещениях, которое, в свою очередь, определяется временем прохождения радиоактивного шлейфа и оседания радиоактивных аэрозолей. Эта зависимость эффективности от времени защиты настолько существенна, что реальные показатели могут быть определены только для каждого конкретного случая. В общем случае эта величина может колебаться от нескольких сотен до единицы.

Опыт ликвидации последствий аварии на ЧАЭС показал, что в качестве защитных сооружений могут быть использованы различные производственные и жилые помещения, противорадиационные укрытия и убежища.

В частности, имеющиеся убежища могут быть использованы для укрытия людей как в первоначальный период аварии, так и в

качестве постоянного убежища для лиц, занятых противоаварийными действиями и отдыха личного состава «ликвидаторов». В последнем случае особое внимание необходимо обратить на предотвращение заноса РВ внутрь убежища. В противном случае его защитные свойства можно свести к нулю за счет облучения загрязненными поверхностями внутри убежища.

В Строительных нормах и правилах 2.01.52 «ЗС ГО» и ВСН-АС-90 «Инструкция по проектированию инженерно-технических мероприятий ГО на АЭС» для убежищ вводится нормируемый коэффициент защиты от излучений радиоактивно загрязненных материалов (РЗМ). В зависимости от класса сооружений нормируемый коэффициент защиты от излучений изменяется в диапазоне от 3 до 5 тыс. Защищенность по внутреннему облучению людей, находящихся в убежищах, в этих нормативных документах не определяется; полагается, что внутреннее облучение в убежищах отсутствует. Это справедливо в случае ядерного взрыва, когда РВ в воздухе существуют, в основном, в виде крупнодисперсных аэрозолей с медианным размером частиц 50 мкм.

В случае аварии на РОО РВ в облаке выброса содержатся не только в аэрозольной, но и в паровой, и газовой формах. Особенно это характерно для изотопов радиоактивного йода и летучих соединений рутения, эффективность задержки которых обычной системой очистки воздуха в убежищах может быть недостаточной. Поэтому после аварии на ЧАЭС разработан и внедрен целый ряд предложений с установкой дополнительных фильтров по улавливанию мелкодисперсных аэрозолей с размером частиц порядка 1 мкм, а также газовой и парообразной фаз радиоактивного выброса.

Противорадиационные укрытия, построенные в соответствии с существующими нормативными документами, также должны оборудоваться дополнительными фильтрами для защиты от внутреннего облучения.

Использование средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД). Существенный вклад в облучение населения при прохождении радиоактивного облака или действиях на загрязненных территориях вносит внутреннее облучение за счет ингаляции радиоактивных аэрозолей.

В этой связи защита органов дыхания от радиоактивных веществ – одна из главных мер радиационной защиты.

К основным факторам, определяющим выбор защитного средства в условиях радиоактивного загрязнения окружающей среды, относятся:

- характер загрязнения (наличие газовой и аэрозольной фракций, токсичность радионуклидов, дисперсный состав аэрозолей и т.п.);
- степень загрязнения атмосферного воздуха;
- эффективность защитного средства;
- условия эксплуатации СИЗОД (метеоусловия, характер деятельности населения, обученность населения правилам пользования).

Очистка вдыхаемого воздуха от аэрозольных примесей происходит за счет фильтрации через различные волокнистые материалы, и с различной степенью эффективности может быть достигнута при использовании простых фильтрующих средств защиты – противоаэрозольных респираторов, ватно-марлевых повязок, противопыльных тканевых масок, бытовых текстильных материалов и т.п.

Для улавливания парогазообразных веществ используют различные сорбционно-фильтрующие материалы, имеющие развитую поверхность.

Наибольшую ингаляционную опасность из радионуклидов, присутствующих в выбросе в виде парогазообразной фракции, представляют изотопы йода с массовыми числами 131 – 135, и среди них – йод-131 как самый долгоживущий.

Согласно данным исследований в настоящее время принято, что 97 % радионуклидов йода присутствуют в виде молекулярного вида, 3 % – в виде алкилиодидов. Вследствие этого необходимо обеспечение защиты органов дыхания от наиболее проникающей составляющей йодной фракции. Такая защита может быть достигнута при использовании населением в качестве СИЗОД сорбционно-фильтрующих респираторов или фильтрующих противогазов.

Сорбционно-фильтрующие респираторы нашли широкое применение в практике ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. Использовались следующие респираторы подобных типов: «Лепесток», «Лепесток-А», «Лепесток Апан», «Лола-А», «Кама», РМ-2, Р-2.

В отношении респиратора Р-2 необходимо отметить следующее. Полумаска Р-2, изготовленная из фильтрующих материалов пенополиуретаната (ФПП), изнутри покрыта тонкой полиэтиленовой пленкой, которая делает респиратор некомфортным при эксплуата-

ции. Кроме этого он не обеспечивает достаточной защиты от мелкодисперсных аэрозолей и тем более от газопаровой фракции.

Эвакуация. В системе защитных мероприятий, проводимых среди населения при авариях на РОО, эвакуация представляет крайнюю меру, которую осуществляют в ограниченных районах прилегающих к РОО.

Целью эвакуации является защита населения от вдыхания РВ, внешнего облучения от проходящего шлейфа и от РЗМ.

Эвакуации подлежит население тех районов, на территории которых существует реальная опасность облучения людей выше установленных дозовых пределов.

В настоящее время рассматриваются три вида эвакуации:

1) так называемая *упреждающая* эвакуация, когда население выводится или вывозится из опасных районов до выброса РВ (или до подхода радиоактивного облака); время начала эвакуации при этом может быть определено наращиванием числа отказов оборудования и систем безопасности РОО и процессам развития аварии, при этом время упреждения может составить до 20 – 24 ч (по данным американских АЭС);

2) *экстренная* эвакуация, когда вывоз населения из опасных районов, непосредственно прилегающих к РОО, проводится после выброса РВ в окружающую среду;

3) *отселение* – вывоз населения из более отдаленных районов по результатам детального радиационного обследования загрязненных территорий.

Основными этапами экстренной эвакуации являются: общая подготовка и пребывание людей в укрытиях, вывоз населения в безопасные районы.

Общая подготовка к эвакуации предполагает оповещение населения, выбор подходящего варианта эвакуации, всестороннее и своевременное информирование населения о порядке эвакомероприятий и правилах поведения в зонах радиоактивного загрязнения.

Пребывание людей в укрытиях имеет место в том случае, если условия складывающиеся при развитии аварии, не позволяют провести эвакуацию до прихода радиоактивного шлейфа. Нахождение в защитных сооружениях (ЗС), как правило, должно включать время прохождения радиоактивного облака. Время выхода из защитных сооружений или укрытий определяется наружной радиацион-

ной обстановкой и рассчитывается из условия не превышения установленных доз облучения за все время нахождения населения на загрязненной территории.

Своевременная и исчерпывающая информация о характере и масштабах радиоактивного загрязнения, возможность варьирования режимов поведения людей на загрязненной местности, а также наличие научно-обоснованной системы методических подходов к рациональному выбору и использованию защитных свойств зданий, ЗС, СИЗОД и массовые средства индивидуальной защиты (МСИЗ) являются базовыми условиями для планирования и проведения эвакуации населения в установленные сроки.

Иодная профилактика. Существенный вклад в защиту населения вносит своевременно проведенная и правильно организованная иодная профилактика, которая имеет целью не допустить переоблучения щитовидной железы и предотвратить связанные с этим заболевания (тиреондоз, рак щитовидной железы и т.д.).

Согласно общим рекомендациям по проведению иодной профилактики (таблетки калий-иод – KI), значение коэффициента защиты при однократном приеме 130 мг KI составляет: за 6 ч до ингаляции – 100, во время ингаляции – 90, через 2 ч после разового поступления – 10, через 6 ч – 2.

Отсюда следует, что для обеспечения высокой эффективности иодной профилактики как защитного мероприятия должны предусматриваться:

- возможность быстрого распределения препаратов стабильного иода среди населения;
- информирование населения о необходимости и времени как однократно, так и повторных приемов иодида калия.

Эффективность иодной профилактики, проведенной в первый период после аварии на ЧАЭС существенно зависела от времени поступления радиоиода в организм человека с вдыхаемым воздухом или пищевыми продуктами. В целом проведение иодной профилактики в ранние сроки (в течение первых 3 – 5 дн.) обеспечило снижение в среднем в 10 раз доз облучения щитовидной железы, а в более поздние сроки (через 10 – 15 дн.) в 3 – 4 раза.

Специальная обработка. В комплексе мер радиационной защиты населения в ЧС особое место занимает санитарная обработка и дезактивация одежды, обуви, средств защиты, загрязненных в ЧС.

Дезактивация одежды населения организуется, как правило, в специально предназначенных для дезактивации промышленных и городских спецпрачечных.

Дезактивации в спецпрачечные подлежит вещевое имущество, имеющее уровни радиоактивного загрязнения до 100 мкЗв/ч на расстоянии 3 – 10 см от предметов, свернутых стопкой размером 50×20×10.

Следует учитывать, что при действиях на загрязненной местности предпочтительным является надевать поверх одежды полиэтиленовые накидки, так как коэффициент дезактивации полимерных пластиковых материалов в 50 – 250 раз больше, чем таковой для хлопчатобумажных тканей.

Отсюда может следовать важная рекомендация о том, что при нахождении на открытой загрязненной местности населению можно рекомендовать использовать полиэтиленовую защитную одежду.

В заключение необходимо еще раз подчеркнуть, что радиационная защита является неотъемлемой составной частью целого комплекса мероприятий обеспечения радиационной химической и экологической безопасности, включающего в себя вопросы предупреждения ЧС, защиты в ЧС и ликвидации ЧС со всем спектром законодательных, нормативно-правовых, нормативно-технических, методических и организационно-технических аспектов.

Успешное решение задач обеспечения радиационной безопасности невозможно без всестороннего их обеспечения, и в первую очередь организации управления, оповещения, радиационной разведки, инженерного и медицинского обеспечения, дозиметрического контроля, других видов обеспечения.

Задачи

2.1. Число атомов радиоактивного нуклида активностью $6,66 \cdot 10^{10}$ Бк равно $8,9 \cdot 10^{13}$. Чему равен период полураспада нуклида?

2.2. Активность ^{135}I составляет 25 ГБк. Рассчитать число радиоактивных атомов этого препарата через сутки. Период полураспада ^{135}I : $T_{1/2} = 6,61$ ч.

2.3. Определить массу ^{126}Sb в образце через 5 дн. после помещения его в контейнер для хранения, если в момент помещения в контейнер его масса составляла 1 г. Период полураспада ^{126}Sb составляет 12,4 дн.

2.4. Масса радиоактивного ^{131}I равна 3 г. Определить активность препарата в Ки через 8 дн. Период полураспада $T_{1/2} = 8$ дн.

2.5. Определить активность ^{60}Co спустя 15 дн., если в начальный момент активность ^{60}Co составляла 10 ГБк (период полураспада $T_{1/2} = 5,272$ года).

2.6. Активность ^{155}Eu составляет 1 ГБк. Рассчитать число радиоактивных атомов этого препарата через 6 лет. Период полураспада $T_{1/2} = 4,96$ лет.

2.7. Активность образца ^{132}Te через 10 дн. после помещения его в контейнер для хранения составляет 10 ГБк. Определить его массу в начальный момент времени. Период полураспада ^{132}Te составляет 78 ч.

2.8. Для эксперимента доставили препарат ^{24}Na . В момент доставки препарат содержал $3 \cdot 10^{15}$ атомов радиоактивного изотопа. Эксперимент может выполняться, если активность препарата не менее 0,5 ГБк. Определить в течение какого времени после поступления препарата ^{24}Na в лаборатории может выполняться эксперимент. Период полураспада ^{24}Na составляет 15 ч.

2.9. На расстоянии 3 м от точечного изотропного источника ^{60}Co активностью 8,5 ГБк проводятся сотрудником персонала калибровочные работы. Сколько минут в день при шестидневной рабочей неделе можно работать сотруднику персонала без защиты? Гамма-постоянная ^{60}Co равна $83,8 \cdot 10^{-18} \text{ (Гр} \cdot \text{м)} / (\text{с} \cdot \text{Бк})$.

2.10. Требуется ли создание защиты, если на рабочем месте персонала группы А мощность эквивалентной дозы от источников излучений составляет 5,3 нЗв/с? В течение года на рабочем месте сотрудник проводит 1700 ч.

2.11. Поглощенная доза D_n в ткани при облучении потоком нейтронов с энергией более 20 МэВ составляет 100 мкГр. Какой поглощенной дозе фотонного излучения D_ϕ она соответствует по биологическому эффекту?

2.12. Поглощенная доза D_ϕ в ткани при облучении потоком фотонов составляет 100 мкГр. Какой поглощенной дозе альфа-излучения D_a она соответствует по биологическому эффекту?

2.13. При рентгеновском обследовании грудной клетки средняя эквивалентная доза облучения легких составила 180 мкЗв; молочной железы – 20 мкЗв; щитовидной железы – 50 мкЗв; красного костного мозга – 110 мкЗв; гонад – 10 мкЗв; поверхности костной ткани – 50 мкЗв; кожи – 29; желудка – 30 мкЗв; пищевода – 10 мкЗв; кишечника, печени, почек, поджелудочной железы – по 20 мкЗв. Облучением остальных органов и тканей можно пренебречь. Определить эффективную дозу, полученную пациентом при обследовании.

Контрольные вопросы

1. Что такое радиационно опасный объект?
2. Что такое ядерно-топливный цикл?
3. Дайте определение радиационной аварии.
4. Расскажите о международной шкале оценки событий на АЭС.
5. Что входит в перечень мероприятий радиационной защиты?
6. Какие существуют требования по ограничению облучения населения в условиях радиационной аварии?
7. Каковы критерии вмешательства на радиоактивно загрязненных территориях?
8. Чем отличаются критерии вмешательства при обнаружении локальных радиоактивных загрязнений?
9. Назовите мероприятия радиационной защиты населения в случае возникновения ЧС радиационного характера.

Глава 3

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

3.1. Действие электрического тока на организм человека

Производство и быт современного человека невозможно представить без использования электричества, электрической энергии. В нынешних условиях мощность потребляемой энергии человечеством составляет около 4 кВт на одного жителя Земли. И этот показатель непрерывно возрастает. Однако общение человека с электричеством, как и всякая деятельность, создает специфические опасности для людей. Эти опасности можно свести к трем следующим:

- 1) поражение человека;
- 2) возникновение пожаров;
- 3) создание кризисных ситуаций за счет аварийного прекращения электроснабжения объектов и регионов.

При кратком рассмотрении проблемы электробезопасности главное внимание уделим первой компоненте – мерам по предотвращению поражения электричеством людей [19]. Человек не имеет органов чувств, с помощью которых он мог бы предвидеть электрическую опасность, ее проявления, как правило, внезапны. Меры противодействия этой опасности могут быть только превентивными.

Опасность поражения человека электричеством создается тогда, когда через его тело потечет электрический ток. Если к двум участкам тела человека будет приложено электрическое напряжение U_w , то по законам электротехники через него потечет ток I_w :

$$I_w = U_w / Z_w,$$

где Z_w – электрическое сопротивление тела человека. Индекс в данном случае показывает на зависимость параметров от частоты

тока w . Эту зависимость можно продемонстрировать эквивалентной электрической схемой тела человека, приведенной на рис. 3.1.

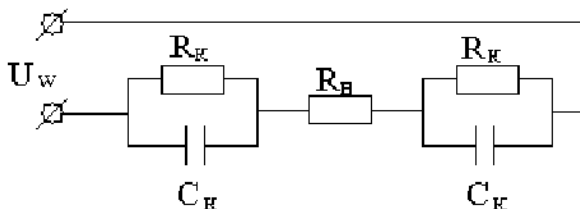


Рис. 3.1

На рисунке R_k , R_b – активное сопротивление токопроводящих участков кожи и внутренних органов соответственно, через которые в конкретном случае течет ток; C_k – емкость, создаваемая токопроводящими участками кожи, ее наличие объясняется тем, что кожный покров, обладая высоким удельным электрическим сопротивлением, играет роль диэлектрика, по обе стороны от которого находятся токопроводящие среды, в результате формируется конденсатор емкостью C_k .

Общее электрическое сопротивление тела человека можно выразить, глядя на приведенную эквивалентную схему:

$$Z_w = \frac{2R_k + R_b}{\sqrt{1 + 1/4C_k^2 w^2 (2R_k + R_b)^2}}. \quad (3.1)$$

При протекании через тело человека постоянного тока ($w = 0$) имеем:

$$Z_w = 2R_k + R_b. \quad (3.2)$$

Для переменного тока частотой 50 Гц оказывается, что $wC_k(2R_k + R_b) \ll 1$, в силу чего электрическое сопротивление тела человека принято принимать за омическое, величина которого может быть оценена по соотношению:

$$R_h = 2R_k + R_b.$$

Известны [19] значения удельного электрического сопротивления тканей человеческого тела: кожи (ρ_k) и внутренних органов (ρ_b). Они соответствуют интервалам:

$$\rho_k = 3 - 20 \text{ кОм} \cdot \text{м}; \quad \rho_b = 1 - 50 \text{ кОм} \cdot \text{м}.$$

Понятно, что значение R_h зависит от пути протекания электрического тока. Наиболее опасные случаи включения тела человека в электрическую цепь – варианты: «рука – рука» и «голова – левая рука» (когда путь протекания тока проходит через жизненно важные органы – сердце и легкие). Фактическая величина электрического сопротивления тела человека помимо геометрических параметров зависит от многих других обстоятельств: состояния здоровья, кожных покровов, возраста, от наличия ранений кожи в местах контактов с токоведущими деталями, от влажности и загрязненности кожи, когда $R_k \ll R_b$. Ориентируясь на такие неблагоприятные обстоятельства протекания тока через тело человека, при оценках степени опасности принимают:

$$R_h = R_b = 800 \text{ Ом}.$$

Подчеркнем, что последствия воздействия на человека определяются, в первую очередь, величиной электрического тока I_h . Но это зависимость неоднозначна, в меньшей мере на эти последствия влияют частота ω , продолжительность протекания тока; люди одной категории могут обладать разной чувствительностью к электрическому току.

Проходя через организм человека, электрический ток оказывает сложное воздействие на него. Могут проявляться следующие эффекты:

- термические – ожоги тела, нагрев органов (сосудов, нервов, мозга), их расстройство;
- электрические – разложение тканей, клеток за счет направленного перемещения ионов;
- механические – раздражительные сокращения мышц, разрыв тканей;
- биологические – нарушение биопроцессов путем возбуждения нервных рецепторов.

Конечные эффекты поражения человека электрическим током принято делить на электротравмы (местные поражения тела или отдельных органов) и электрические удары (нарушение биопроцессов). Электрические удары принято классифицировать по степени их тяжести:

- I – судорожное сокращение мышц без потери сознания;
- II – сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранением дыхания и кровообращения;
- III – потеря сознания, нарушение сердечной деятельности, дыхания;
- IV – клиническая смерть, т.е. остановка дыхания и кровообращения.

В состоянии клинической смерти человек не проявляет признаков жизни, не дышит, сердце не работает, зрачки расширены и не реагируют на свет, болевые воздействия не вызывают реакций. В состоянии клинической смерти человек может находиться до 10 мин, после чего, если не принять меры для восстановления, наступает биологическая смерть.

Как уже отмечалось, степень поражения человека электричеством определяется в основном силой тока. Начало неприятных ощущений (слабый зуд, пощипывание кожи) соответствует току (переменному, продолжительному во времени) в 1 мА. Судорожные сокращения мышц, невозможность самостоятельного освобождения от захвата имеют место при токе 5 – 25 мА. Смертельный исход наступает при токе 50 – 350 мА, а мгновенная смерть – при токе 5 А.

При проектировании мер электробезопасности ориентируются на допустимые токи. Для переменного тока продолжительностью более 1 с в неаварийных условиях допустимый ток принимается равным 0,3 мА, в аварийном режиме – 6 мА (из условия несмертельности); в бытовых условиях допустимым считается ток 2 мА. При кратковременном протекании тока через тело человека величина допустимого тока увеличивается: для аварийного режима – до 650 мА при длительности 0,01 с; для бытового режима – до 220 мА при той же длительности.

Пороговое значение электрического напряжения, при котором может иметь место летальный исход, для большинства людей составляет 40 В, хотя могут встречаться люди повышенной электрочувствительности, для которых смертельный исход возможен при напряжении источника в 5 В.

3.2. Условия поражения человека электрическим током

Поражение человека электричеством может стать следствием прикосновения его не менее чем к двум точкам электрической сети, между которыми существует разность потенциалов, или электрическое напряжение ($U = \phi_1 - \phi_2$). Степень возможного при этом поражения существенно зависит от построения сети и от предусмотренных мер по снижению опасности. Для понимания этого обратимся к рис. 3.2, на котором изображена упрощенная схема токовой линии электропередачи.

Как правило, на генерирующей электростанции на трех обмотках (катушках) генератора создается электрическое напряжение, изменяющееся по гармоническому закону с частотой 50 Гц. Это напряжение называется *фазным* (U_ϕ). По фазе эти гармоники сдвинуты относительно друг друга на угол $2\pi/3$.

Проблема передачи электроэнергии на большие расстояния (в тысячи километров) специфична тем, что потери энергии в проводах линии электропередачи (ЛЭП) тем меньше, чем выше в них фазные напряжения. Поэтому протяженные ЛЭП – высоковольтные, фазное напряжение в них может составлять сотни тысяч вольт.

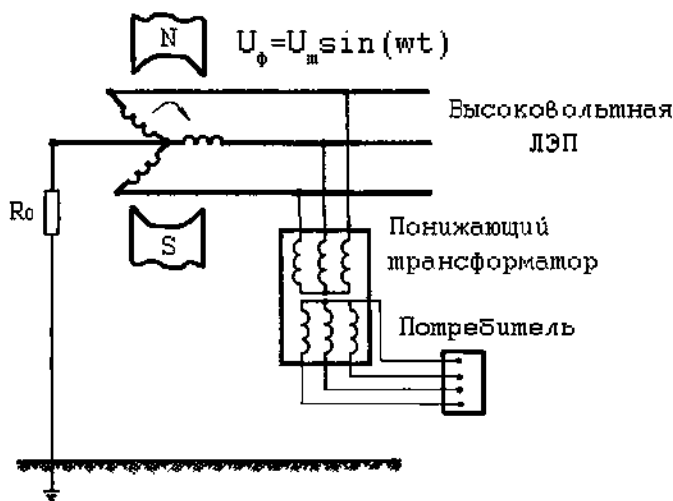


Рис. 3.2

Перед подачей электроэнергии потребителям напряжение сети понижается, чаще всего до 220 В. ЛЭП с напряжением до 1000 В принято называть низковольтными.

Заметим, что, в принципе, на электростанции можно генерировать энергию и в однофазном режиме. Но трехфазный режим экономически существенно выгоднее.

Электрическое напряжение (разность потенциалов) между любой парой проводов трехфазной ЛЭП называется *линейным напряжением* ($U_{\text{л}}$). Нетрудно установить факт:

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\text{ф}}.$$

К примеру, при $U_{\text{ф}} = 220$ В получаем $U_{\text{л}} = 380$ В; такую ЛЭП условно именуют «сетью 380/220 В».

Общая точка обмоток источника энергии называется *нейтральной*. Нейтральная точка сети может быть либо изолирована от земли, либо заземлена (электрически связана) с землей через малое сопротивление R_0 . В последнем случае сеть называется *трехфазной с глухозаземленной нейтралью*. Режим нейтральной точки сети выбирается, исходя из соображений безопасности и экономичности.

Трехфазная ЛЭП может быть трех- и четырехпроводной. В последнем варианте четвертым является провод, соединенный с нейтральной точкой генератора; он называется *нулевым, или нейтральным, проводом*. Понятно, что напряжение между любым из фазных проводов и нулевым проводом равно фазному напряжению.

Подача электроэнергии для бытового потребления чаще всего осуществляется в однофазном режиме. Двухпроводные электрические сети образуются из нулевого и одного из фазных проводов трехфазной сети. При этом важным становится условие соблюдения равномерности нагрузки по фазам (равенства мощностей потребителей энергии).

Для понимания логики дальнейших пояснений необходимо принять в расчет следующее немаловажное обстоятельство: при создании ЛЭП принимаются все меры к тому, чтобы провода были надежно изолированы (электрически) от земли и между собой.

Исключение составляет случай глухого заземления нейтрали. Практически всякая изоляция неидеальна: в процессе эксплуатации ЛЭП будут образовываться «паразитные» пути электрической свя-

зи проводов с землей – активные (r) и реактивные (C), они изображены на рис. 3.3. Чем длиннее ЛЭП, тем меньшими будут сопротивления r и тем больше емкости C . В высоковольтных ЛЭП эти элементы сети способны играть большую роль не только в смысле потерь электрической энергии, но и в смысле обусловленной ими опасности для человека.

Далее рассмотрим характерные случаи попадания человека под электрическое напряжение в различных случаях.

3.3. Случай однофазной ЛЭП

В однофазной сети условия возможного поражения образуются следующим образом.

В случае сети, изолированной от земли (рис. 3.3), где r_1 и r_2 – сопротивления изоляции проводов, будем считать сопротивления активными, что допустимо для низковольтных (непротяженных) ЛЭП.

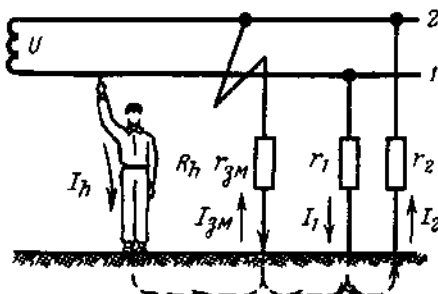


Рис. 3.3

При нормальном состоянии сети и прикосновении стоящего на земле человека к одному из проводов напряжение прикосновения U_h составит:

$$U_h = \frac{U \frac{R_h r_1}{R_h + r_1}}{r_2 + \frac{R_h r_1}{R_h + r_1}} = \frac{U R_h r_1}{r_1 r_2 + r_1 R_h + r_2 R_h}, \quad (3.3)$$

а протекающий через тело человека ток:

$$I_h = \frac{Ur_1}{r_1r_2 + r_1R_h + r_2R_h}. \quad (3.4)$$

При равенстве $r_1 = r_2 = r$

$$I_h = \frac{U}{r + 2R_h}. \quad (3.5)$$

Вывод: чем выше изоляция токопроводов относительно земли, тем безопаснее прикосновение.

При аварийном состоянии сети, когда один из проводов в результате обрыва замкнут на землю через сопротивление r_{3M} , а человек коснулся другого провода, ситуация изменится, и сопротивление между фазой 2 и землей станет равным:

$$r_3 = \frac{r_2r_{3M}}{r_2 + r_{3M}}. \quad (3.6)$$

Так как обычно r_{3M} значительно меньше r_1 , r_2 и R_h , то в аварийной ситуации:

$$U_h \approx U, \quad I_h = \frac{U}{R_h}. \quad (3.7)$$

В случае сети с заземленным проводом (рис. 3.4) прикосновение может быть к незаземленному или к заземленному токопроводу.

В первом случае ввиду того, что $R_0 \ll r_{1,2}$,

$$I_h = \frac{U}{R_h + R_0}, \quad (3.8)$$

и при $R_0 \ll R_h$ человек оказывается практически под полным напряжением сети.

Прикосновение к заземленному проводу часто считается безопасным, так как напряжение этого провода относительно земли незначительно. На самом же деле во время прикосновения к заземленному проводу сети в неаварийном состоянии человек попадает под напряжение, равное потере напряжения в проводе (см. рис. 3.4, б). Сети проектируются так, чтобы падение напряжения в

проводах не превышало 10 %. Следовательно, максимальное напряжение прикосновения (см. рис. 3.4, б) составляет 5 % от сетевого, т.е.

$$(U_{\text{пр}})_{\text{max}} = 0,05U = I_h r_{ab}, \quad (I_h)_{\text{max}} = \frac{0,05U}{R_h}. \quad (3.9)$$

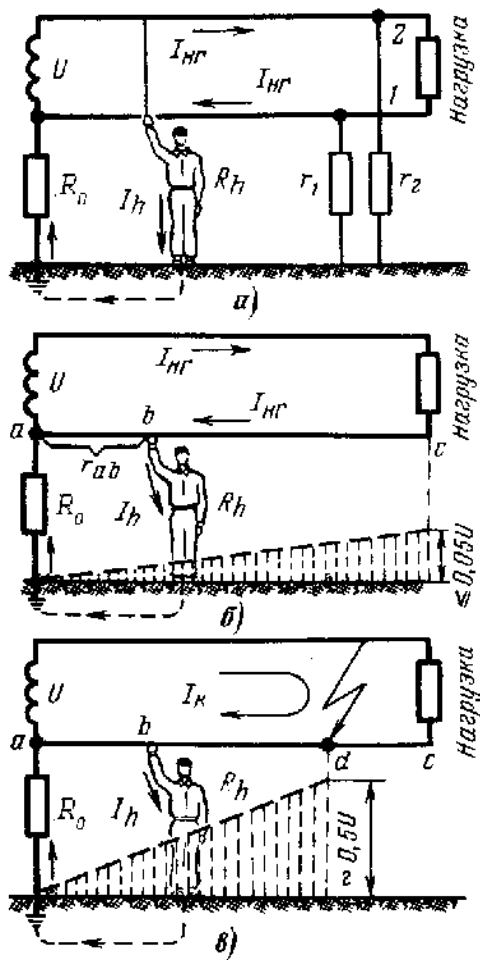


Рис. 3.4

В аварийной ситуации, при коротком замыкании проводов сети между собой, потеря напряжения в них составит 100 % и, следовательно, во время прикосновения к заземленному проводу будет иметь место (см. рис. 3.4, в):

$$(U_{\text{пр}})_{\text{max}} = 0,05U, \quad (I_h)_{\text{max}} = \frac{0,5U}{R_h}. \quad (3.10)$$

3.4. Трехфазная четырехпроводная ЛЭП с глухозаземленной нейтралью

Схема трехфазной четырехпроводной ЛЭП с глухозаземленной нейтралью представлена на рис. 3.5. Обычно имеет место соотношение $R_0 \ll r$. Поэтому при неаварийном состоянии сети (нет коротких замыканий проводов между собой или на землю) человек, коснувшись фазного провода, попадает под напряжение:

$$U_h = U_{\phi} \frac{R_h}{R_h + R_0} \quad \text{и} \quad I_h = \frac{U_{\phi}}{R_h + R_0}. \quad (3.11)$$

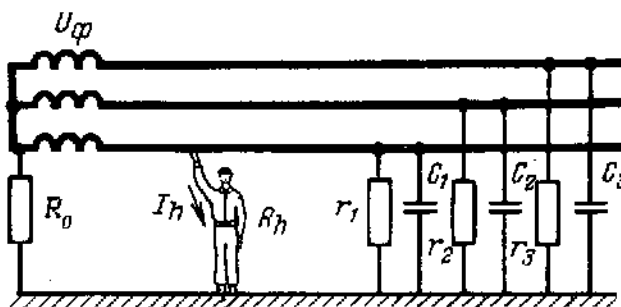


Рис. 3.5

Наибольшее значение R_0 согласно техническим нормам составляет 60 Ом, а R_h – не менее 800 Ом. Поэтому

$$I_h \approx \frac{U_{\phi}}{R_h}. \quad (3.12)$$

Для аварийного режима, когда фаза 3 (к примеру) замкнулась на землю через малое сопротивление $r_{3М}$, а человек коснулся провода другой фазы, без вывода запишем конечную формулу для тока, проходящего через человека:

$$I_h = U_\phi \frac{\sqrt{r_{3М}^2 + 3R_0(R_0 + r_{3М})}}{r_{3М}R_0 + R_h(r_{3М} + R_0)}, \quad (3.13)$$

если принять $r_{3М} = 0$, то $I_h = U_\phi \frac{\sqrt{3}}{R_h}$, т.е. человек окажется под линейным напряжением:

$$U_h = \sqrt{3}U_\phi = U_\text{л},$$

при $R_0 = 0$ получим $U_h = U_\phi$.

3.5. Трехфазная ЛЭП с изолированной нейтралью

Трехфазная ЛЭП с изолированной нейтралью показана на рис. 3.6.

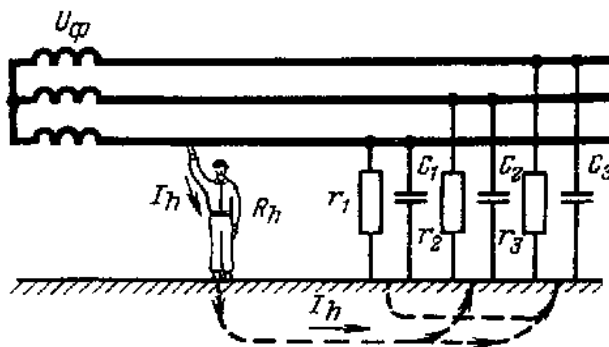


Рис. 3.6

Так как $r_{3М} \neq 0$, $R_0 \neq 0$, то $U_\phi < U_h < U_\text{л}$. Опустив доказательство, запишем:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h \sqrt{1 + \frac{r(r + 6R_h)}{9R_h^2(1 + r^2\omega^2c^2)}}}. \quad (3.14)$$

При $c = 0$

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + \frac{r}{3}}. \quad (3.15)$$

При $r = \infty$

$$I_h = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + \left(\frac{1}{3\omega c}\right)^2}}. \quad (3.16)$$

При аварийном режиме – замыкании одной фазы на землю через r_{3M} и при прикосновении к другой фазе:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + k_{3M}} = \frac{\sqrt{3}U_\phi}{R_h + r_{3M}} \quad (3.17)$$

при $r_{3M} = 0$, $U_h = U_\phi$.

Из приведенных результатов следует, что из двух рассмотренных схем (а они наиболее распространены в практике) в неаварийном режиме более безопасна сеть с изолированной нейтралью, а в аварийном – сеть с глухозаземленной нейтралью.

3.6. Опасность поражения при стекании тока в землю

Явление стекания тока в землю возникает при случайном или преднамеренном контакте токоведущих деталей с землей. Проводник, находящийся в контакте с землей, называется *заземленным*. При стекании тока в землю потенциал заземления ϕ_3 резко снижается до значения:

$$\phi_3 = I_3 R_3, \quad (3.18)$$

где R_3 – сопротивление земли.

Это обстоятельство благоприятно и используется как мера защиты от поражения током при случайном появлении напряжения на металлических нетоковедущих деталях, которые с этой целью заземляют. Но одновременно в подобных ситуациях возникает и отрицательное явление, за счет разности потенциалов точек земли вокруг заземлителя – поле растекания тока.

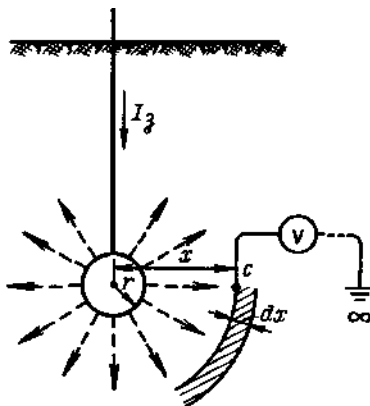


Рис. 3.7

Рассмотрим вначале случай стекания тока в землю через шаровой заземлитель радиусом r , погруженный на глубину H в землю. Будем считать землю однородной с удельным сопротивлением ρ (рис. 3.7). В отсутствии границы сред «земля – воздух» плотность тока j на удалении x составит:

$$j = \frac{I_3}{4\pi x^2}. \quad (3.19)$$

Напряженность электрического поля в точках этой сферы будет:

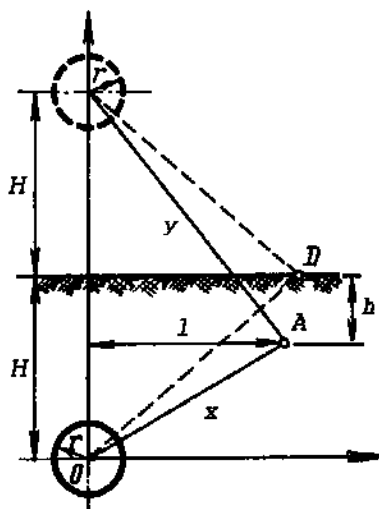
$$E = j\rho = \frac{d\phi}{dx}. \quad (3.20)$$

Следовательно, потенциал этих точек вычисляется из соотношения:

$$\phi(x) = \int_x^{\infty} E dx = \int_x^{\infty} \frac{I_3 \rho}{4\pi x^2} dx = \frac{\rho I_3}{4\pi x}. \quad (3.21)$$

Это – уравнение потенциального поля. Учесть наличие границы раздела «земля – воздух» можно, пользуясь методом зеркальных изображений (рис. 3.8).

Рис. 3.8



Поля двух заземлителей истинного и фиктивного, условно погруженных в безграничную землю, складываясь, создадут симметрично расположенные два поля, одно из которых – истинное. В точке A потенциал поля согласно (3.21) можно определить так:

$$\varphi = \varphi_{\text{д}} + \varphi_{\text{ф}} = \frac{\rho I_3}{4\pi x} + \frac{\rho I_3}{4\pi y} = \frac{I_3 \rho}{4\pi} \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{y} \right). \quad (3.22)$$

Из рис. 3.8 следует:

$$y = \sqrt{(H + h)^2 + l^2}, \quad x = \sqrt{(H - h)^2 + l^2},$$

тогда

$$\varphi = \frac{I_3 \rho}{4\pi} \left(\frac{1}{\sqrt{(H + h)^2 + l^2}} + \frac{1}{\sqrt{(H - h)^2 + l^2}} \right). \quad (3.23)$$

Нас интересует распределение потенциала на поверхности земли, т.е. при $h = 0$

$$\varphi_{h=0} = \frac{I_3 \rho}{2\pi \sqrt{H^2 + l^2}}. \quad (3.24)$$

Потенциал заземлителя, т.е. при $h = H$ и $l = r$

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{4\pi} \left(\frac{1}{\sqrt{4H^2 + r^2}} + \frac{1}{r} \right). \quad (3.25)$$

Практически интересным является случай шарового заземлителя на поверхности земли, когда центр шара находится в плоскости земной поверхности, т.е. $H = 0$, и тогда по (3.24) имеем:

$$\varphi = \frac{I_3 \rho}{2\pi l}, \quad \varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi r}, \quad \text{т.е.} \quad \varphi = \varphi_3 \frac{r}{l}. \quad (3.26)$$

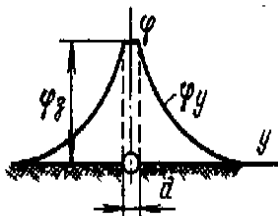


Рис. 3.9

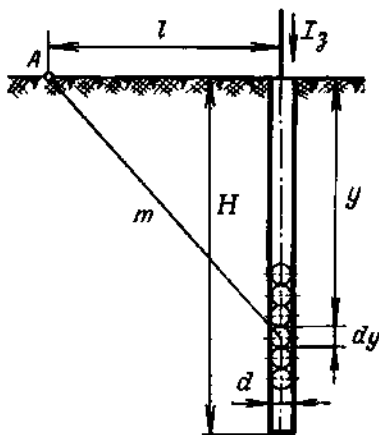


Рис. 3.10

Потенциал на поверхности земли вокруг полушарового заземлителя изменяется по закону гиперболы (рис. 3.9). Такая зависимость близка к реальной в случае одноточечного (теоретически полушарового) контакта провода, упавшего на землю.

В случае преднамеренного заземления электротехнических установок и одновременно аварийного замыкания на их корпус фазового провода имеет место стекание тока через стержневой заземлитель.

Рассмотрим такой случай. Пусть заземлитель (рис. 3.10) длиной H , диаметром d погружен в землю вертикально заподлицо с поверхностью земли. Нас будет интересовать распределение потенциала на поверхности земли в зависимости от удаления l от центра заземлителя. Выделим на глубине y элемент заземлителя длиной dy . Стекающий с этого участка заземлителя ток составит:

$$dI_3 = I_3 \frac{dy}{H}. \quad (3.27)$$

В точке A на удалении l от центра заземлителя стекающий с элемента dy ток обусловит возникновение потенциала $d\phi$, который согласно (3.27) равен:

$$d\phi = \frac{dI_3 \rho}{2\pi\sqrt{y^2 + l^2}} = \frac{I_3 \rho}{2\pi\sqrt{y^2 + l^2}} \frac{dy}{H}.$$

Проинтегрировав по всей длине стержня это выражение, получим значение потенциала в точке A :

$$\phi(l) = \int_0^H \frac{I_3 \rho}{2\pi H} \frac{dy}{\sqrt{y^2 + l^2}} = \frac{I_3 \rho}{2\pi H} \ln \frac{\sqrt{l^2 + H^2} + H}{l}. \quad (3.28)$$

Потенциал заземлителя можно определить, положив $\frac{1}{2}d = l$ и $H \gg d$, тогда

$$\phi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi H} \ln \frac{4H}{d}. \quad (3.29)$$

Рассмотрим еще один практически часто встречающийся случай протяженного заземлителя, лежащего на земле. Пусть длина заземлителя – l , его диаметр – d , и он погружен в землю на глубину $d/2$. Для этого случая приведем без доказательства выражение для потенциала земли по двум направлениям (рис. 3.11).

1. Вдоль оси заземлителя – вдоль оси x (см. рис. 3.11, а):

$$\phi(x) = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \ln \frac{\sqrt{l^2 + d^2} + 2x}{\sqrt{l^2 + d^2} + 2x - 2l}, \quad x \geq \frac{l}{2}. \quad (3.30)$$

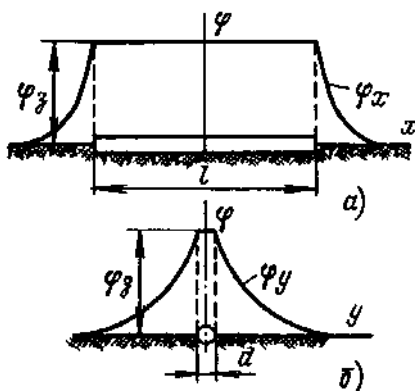


Рис. 3.11

2. Поперек оси заземлителя относительно его середины (см. рис. 3.11, б):

$$\varphi(y) = \frac{I_3 \rho}{\pi l} \ln \frac{\sqrt{l^2 + 4y^2} + l}{2y}, \quad y \geq \frac{l}{2}. \quad (3.31)$$

Отметим, что во всех вариантах геометрии заземлителя омическое сопротивление грунта стекающему току может быть найдено, исходя из простейшей зависимости:

$$R_3 = \frac{\varphi_3}{I_3}.$$

Следовательно, согласно (3.25), (3.26) и (3.29): $R_3 = \frac{\rho}{4\pi r}$ – для шарового заземлителя, углубленного на большую глубину ($H \rightarrow \infty$); $R_3 = \frac{\rho}{4\pi} \left(\frac{1}{\sqrt{4H^2 + r^2}} + \frac{1}{r} \right)$ – для шарового заземлителя, углубленного на H ; $R_3 = \frac{\rho}{2\pi r}$ – для шарового заземлителя, погруженного до центра; $R_3 = \frac{\rho}{2\pi H} \ln \frac{4H}{d}$ – для стержневого заземлителя.

Человек, находящийся вблизи заземлителя, через который течет ток, может быть поражен в двух ситуациях: напряжением прикосновения и шаговым напряжением.

Напряжением прикосновения называется напряжение между двумя точками: точкой, где стоит человек (потенциал ϕ_l); и точкой заземлителя (потенциал ϕ_3). Величина напряжения прикосновения ($U_{пр}$) составит:

$$U_{пр} = \phi_3 - \phi_l. \quad (3.32)$$

Напряжением шага называется напряжение между точками поверхности Земли, на которые опирается человек, находящийся в поле заземлителя. Если ширину шага принять равной a , то напряжение шага ($U_{ш}$) для человека на удалении l от заземлителя составит:

$$U_{ш} = \phi_l - \phi_{l+a}. \quad (3.33)$$

Рассмотрим, к примеру, случай с шаровым наземным заземлителем.

Используя соотношения (3.26), получим:

$$\begin{aligned} U_{пр} &= \frac{I_3 \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{l} \right) = \frac{I_3 \rho}{2\pi r} \left(1 - \frac{r}{l} \right) = \phi_3 \left(1 - \frac{r}{l} \right), \\ U_{ш} &= \frac{I_3 \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{l} - \frac{1}{l+a} \right) = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \frac{a}{l+a} = \phi_3 \frac{ar}{l(l+a)}. \end{aligned} \quad (3.34)$$

Из приведенных результатов следует: наименьшее напряжение прикосновения к заземлителю имеет место, когда человек находится вблизи него (когда стоит непосредственно на нем, $U_{пр} = 0$). С удалением от заземлителя опасность поражения напряжением прикосновения увеличивается. В пределе при $l \rightarrow \infty$ получим $U_{пр} = \phi_3$. Практически это имеет место на расстоянии около 20 м от заземлителя (одиночный заземлитель).

Наибольшее напряжение шага, напротив, будет тогда, когда человек одной ногой стоит на заземлителе ($l = r$), а второй – на расстоянии a от него. С удалением от заземлителя напряжение шага уменьшается. Чем больше ширина шага, тем опаснее (выше) шаго-

вое напряжение для человека. Аналогичные результаты можно получить и для других вариантов заземлителей.

Степень опасности для человека, попавшего под напряжение прикосновения или под шаговое напряжение, можно оценить, как и ранее рекомендовалось, по величине тока:

$$I_h = \frac{U_{\text{пр}}}{R_h}, \quad I_h = \frac{U_{\text{ш}}}{R_h}. \quad (3.35)$$

Практически значимой опасной ситуацией, создаваемой стоком электричества в землю, является случай обрыва проводов высоковольтных ЛЭП. Зона поражения шаговым напряжением может иметь размеры в несколько десятков метров.

3.7. Способы обеспечения электробезопасности

Наиболее распространенные способы обеспечения электробезопасности:

- защитное заземление;
- зануление;
- защитное отключение;
- изоляция токоведущих деталей;
- организационные меры.

Защитное заземление электроустановки – преднамеренное электрическое соединение с землей металлических нетоковедущих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением вследствие повреждений, аварий и т.п.

Назначение заземления в том, чтобы защитить от напряжения человека при прикосновении его к нетоковедущим частям, попавшим под напряжение.

Принцип действия заземления состоит в уменьшении потенциала заземленного оборудования при появлении на нем напряжения.

Заземление эффективно при применении его в *сетях до 1000 В*, трехфазных, трехпроводных *с изолированной нейтралью*, а также в *сетях выше 1000 В* – с любым режимом нейтрали. Принцип защиты с помощью заземления понятен из рассмотрения стекания тока в землю. При этом обеспечивается понижение потенциала заземленного устройства до безопасного значения. К заземляющим устрой-

ствам (заземлитель плюс заземляющие проводники) предъявляются определенные требования по величине их сопротивления. Оно для большинства сетей составляет от 4 до 10 Ом.

Покажем на одном варианте применения заземления его эффективность (рис. 3.12).

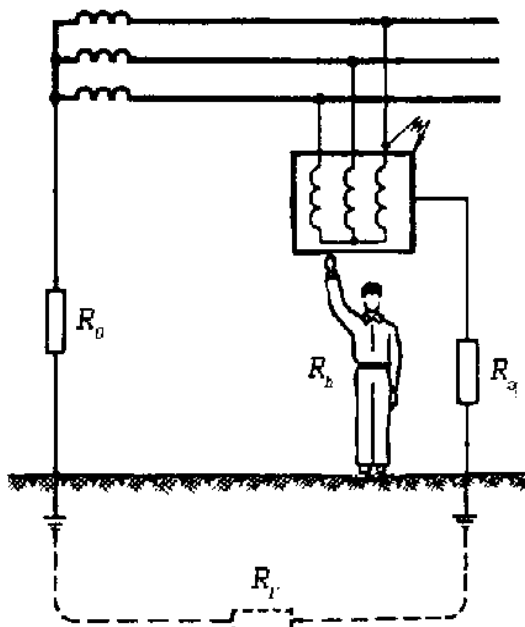


Рис. 3.12

При отсутствии заземления человек попадает практически под полное фазное напряжение, так как $R_0, R_Г \ll R_h$. При наличии заземления (R_3):

$$U_{\text{пр}} = \frac{U_{\phi} \frac{R_h R_3}{R_h + R_3}}{R_0 + R_Г + \frac{R_h R_3}{R_h + R_3}} =$$

$$= U_{\phi} \frac{R_h R_3}{R_0 R_3 + R_0 R_h + R_{\Gamma} R_3 + R_h R_{\Gamma} + R_h R_3} < U_{\phi}. \quad (3.36)$$

При проектировании и создании заземлений учитывают факт возникновения напряжений прикосновения и шаговых напряжений. В случае, если значения этих напряжений выше допустимого уровня, применяют групповые заземлители. Покажем это на примере (рис. 3.13). Пусть в некотором цехе установлены станки, корпуса которых соединены единым заземляющим проводником, подключенным к единому заземлителю. Вокруг заземлителя при аварийном соединении фазного проводника сети на корпус одного станка образуется электрическое поле, а корпуса всех станков окажутся под одинаковым напряжением прикосновения.

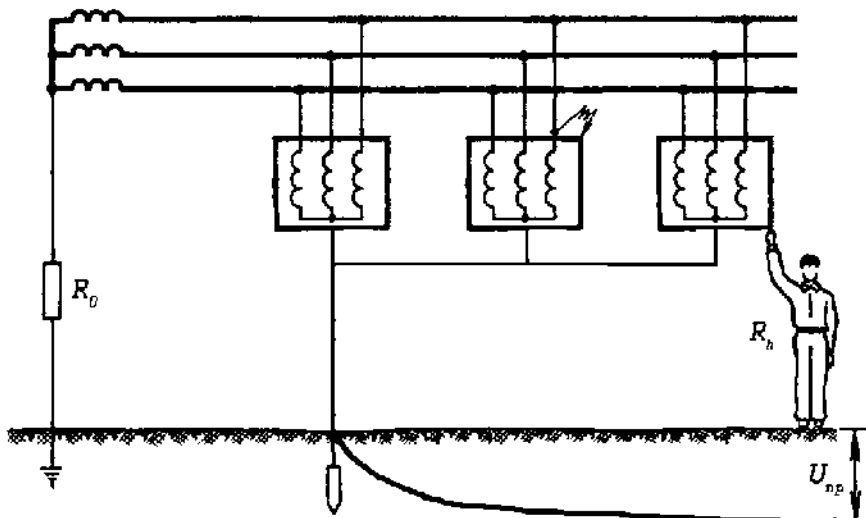


Рис. 3.13

Наибольшая опасность создается для человека, коснувшегося третьего (на рисунке) станка. Избежать это можно, применяя групповые заземлители. Если их, к примеру, три, как на рисунке, то ток, стекающий в землю, будет распределен между ними, а потенциалы

полей каждого из них в каждой точке поверхности будут складываться. В результате общая картина поля станет более сглаженной.

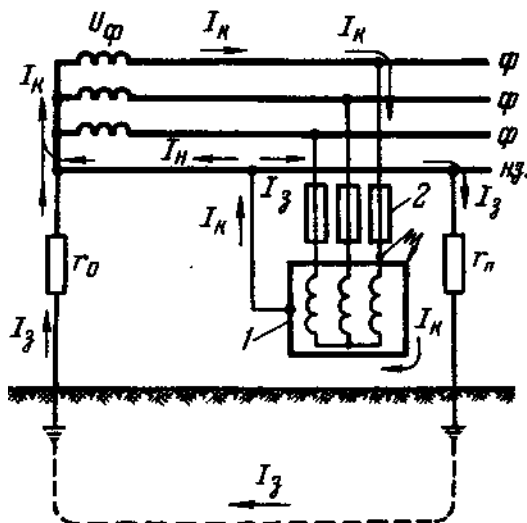


Рис. 3.14

Помимо снижения напряжения прикосновения групповой заземлитель снижает и шаговое напряжение.

Отметим важное условие заземления группы рядом стоящих изделий: необходимо все их соединить между собой электрически, а не заземлять каждый из них на автономный заземлитель. В последнем случае при замыкании на корпуса двух изделий разных фаз они окажутся под опасной разностью потенциалов. *Зануление* – основной способ защиты от электрического поражения в электроустановках до 1000 В с глухозаземленной нейтралью (промышленные, сельскохозяйственные, коммунальные предприятия).

Зануление состоит в преднамеренном электрическом соединении металлических нетоковедущих частей электроустановок, могущих оказаться под напряжением, с глухозаземленной нейтралью источника электроэнергии. Схема зануления соответствует рис. 3.14.

Защитное зануление – проводник с малым электрическим сопротивлением.

В случае замыкания фазы на корпус и отсутствия занулителя на корпусе образуется падение напряжения U_K :

$$U_K = \frac{U_\phi r_K}{r_K + R_0}, \quad (3.37)$$

а ток замыкания:

$$I_{\text{зам}} = \frac{U_\phi}{r_K + R_0}, \quad (3.38)$$

где r_K – сопротивление корпуса относительно земли.

В большинстве вариантов сетей ток замыкания оказывается меньше тока срабатывания автоматов защиты (они срабатывают при $I_{\text{зам}} > I_p$, где I_p – рабочий ток срабатывания автомата), а в то же время напряжение на корпусе (U_K), как правило, высокое, больше допустимого.

Занулитель устраняет оба эти эффекта. Во-первых, за счет наличия защитного зануления при замыкании фазы на корпус ток $I_{\text{зам}}$ увеличится:

$$I_{\text{зам}} = U_\phi / \frac{r_3(r_K + R_0)}{r_3 + r_K + R_0} = U_\phi \frac{r_3 + r_K + R_0}{r_3(r_K + R_0)} > \frac{U_\phi}{r_K + R_0}, \quad (3.39)$$

а, во-вторых, за счет заземления корпуса через нулевой провод будет иметь место тот же эффект, как и при заземлении, т.е. потенциал корпуса будет уменьшен по сравнению с фазным. Для полного эффекта нулевой провод в случае зануления должен заземляться в районе отводов от сети ко всем потребителям – сопротивление r_n . В отсутствии его при замыкании фазы на землю на корпусах установок, удаленных от источника энергии, могут образоваться опасные потенциалы (напряжения прикосновения).

Недопустимо в одной и той же сети применять зануление одних установок и заземление других; заземление же зануленных электроустановок улучшает условия безопасности.

Защитное отключение – быстродействующая защита, обеспечивающая быстрое автоматическое отключение электроустановок

при возникновении опасной ситуации возможного поражения человека током. Такая ситуация может возникнуть при замыкании фазы на корпус электроустановки, при нарушениях изоляции токоведущих деталей, при прикосновении человека к токоведущим деталям и т.п. Защитное отключение представляет совокупность чувствительного прибора и выключателя. Поясним принцип действия защитного отключения на двух вариантах принципиальных схем (рис. 3.15).

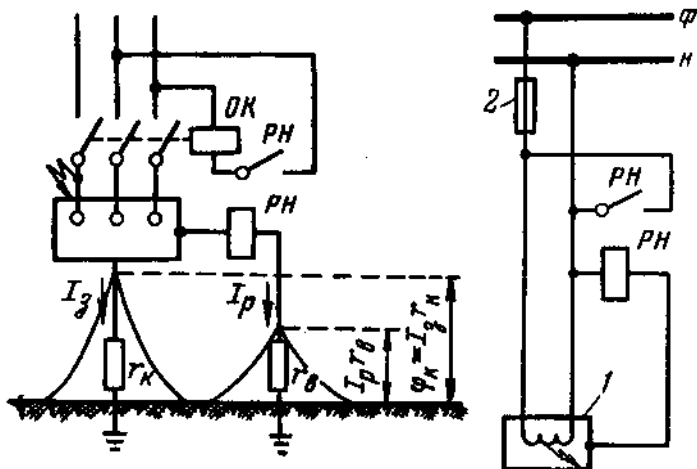


Рис. 3.15

При замыкании фазы на корпус электроустановки на корпусе создается потенциал относительно земли, зависящий от сопротивления r_k (между корпусом и землей). Соответствующее напряжение контролируется реле напряжения (РН), и при определенной его величине вызывается срабатывание этого реле, а его рабочими контактами включаются цепи командного устройства: в первом случае цепи питания выключаются через контакты; во втором случае создается цепь короткого замыкания и плавкий предохранитель (ПП) размыкает цепь.

Важным показателем надежности электробезопасности является время срабатывания защитного отключения. Как следует из разд. 3.1, это время должно составлять доли секунды. Примени-

тельно к каждой конкретной ситуации это время обоснуется, расчитывается.

Другие способы обеспечения электробезопасности. Такие способы понятны из их простого перечисления: изолирующая одежда, перчатки, обувь, шлемы, изолирующие подставки, изолирующий инструмент, ограждения, блокировки, надписи, плакаты и т.п. организационные меры (обучение, аттестация персонала, инструктажи, профилактические работы и т.д.).

Во всех электрохозяйствах поддерживается строгая, регламентированная дисциплина эксплуатации электроустановок. Допуск работников к эксплуатации электроустановок, электрических сетей осуществляется по строгому регламенту, такие акты документируются. Работники периодически сдают экзамены, по результатам которых им присваивается квалификационная группа от I (новички) до V (ответственные за хозяйство с напряжением свыше 1000 В, оперативный персонал).

В РФ осуществляется строгое нормирование электробезопасности. Система обеспечения электробезопасности включает в себя государственные органы надзора, комиссии разного уровня по электробезопасности, регламентирующую документацию (нормы, правила, руководства, инструкции по электробезопасности и т.п.). Наиболее значимыми в перечне такой документации являются ГОСТы, технические регламенты. Каждый гражданин, имеющий дело с каким-либо электротехническим изделием, обязан знать правила его эксплуатации, в частности, и правила безопасности. В производственных условиях ответственность за исполнение государственных норм электробезопасности возлагается на руководителей коллективов и комиссии по электробезопасности.

3.8. Особенности воздействия на человека электромагнитных полей

Помимо собственно действия электрического тока на человека, рассмотренного ранее, потенциальную опасность представляют электромагнитные поля неионизирующей природы. Особенностью этого вида воздействия является то, что с развитием телекоммуникационных технологий, широким использованием в быту электроприборов, особенно с применением СВЧ-технологий, все большая

часть населения, профессионально не подготовленного для работы с этим видом излучения, попадает под его действие. При этом из-за способности радиоволн распространяться на далекие расстояния практически невозможно исключить их воздействие на людей и окружающую живую природу.

И хотя возможна определенная канализация излучения, уменьшающая нежелательное облучение населения, и регламентация во время работ излучающих устройств, дальнейший технический прогресс все же повышает вероятность воздействия электромагнитного излучения на человека.

На возможность неблагоприятного влияния на организм человека электромагнитных полей было обращено внимание еще в конце 40-х годов. В результате обследования людей, работающих в условиях воздействия электромагнитных полей значительной интенсивности, было показано, что наиболее чувствительными к данному воздействию являются нервная и сердечно-сосудистая системы. Описаны изменения кроветворения, нарушения со стороны эндокринной системы, метаболических процессов, заболевания органов зрения. Было установлено, что клинические проявления воздействия радиоволн наиболее часто характеризуются астеническими и вегетативными реакциями.

В последние годы появляются сообщения о возможности индукции электромагнитным излучением злокачественных заболеваний. Причем наибольшее число случаев приходится на опухоли кроветворных тканей и на лейкоз в частности. Это становится общей закономерностью канцерогенного эффекта при воздействиях на организм человека и животных физических факторов различной природы и в ряде других случаев.

Свою лепту в повышение уровня воздействия на людей электромагнитного излучения внесла повсеместная компьютеризация общества. Компьютеризация в нашей стране принимает широкий размах, и многие сотни тысяч людей проводят большую часть рабочего дня за экраном дисплея. Наряду с признанием несомненной пользы применение компьютерной техники вызывает беспокойство за свое здоровье многочисленные жалобы пользователей персональных компьютеров (ПК).

Под электромагнитным фоном следует понимать любое излучение радиочастотного диапазона длин волн, которое является характерным для данной местности или какого-либо помещения.

Общие сведения о переменных электрических и магнитных полях. Известно [20 – 21], что постоянное магнитное поле и постоянное электрическое поле могут существовать независимо одно от другого и практически не взаимодействуют между собой. Однако как только эти поля начинают изменяться (по величине или по направлению), то обнаруживается между ними тесная взаимосвязь, которая описывается известными уравнениями Максвелла. Напомним их суть. Согласно закону Био-Савара-Лапласа вокруг проводника с током образуется магнитное поле с замкнутыми силовыми линиями (вихревое поле). При этом переменному току будет соответствовать и переменное магнитное поле и наоборот. Математическое уравнение, выражающее закономерность возникновения магнитного поля при изменении электрического поля, называется *первым уравнением Максвелла*. Согласно закону электромагнитной индукции, вследствие изменения во времени индукции магнитного поля в каждой точке пространства образуется вихревое электрическое поле. Этот процесс принято описывать *вторым уравнением Максвелла*.

Совокупность переменных электрических и магнитных полей, неразрывно связанных друг с другом называют *электромагнитным полем*. Эта связь выражается в том, что всякое изменение во времени магнитного поля вызывает появление электрического поля и, с другой стороны, всякое изменение во времени электрического поля вызывает появление магнитного поля. Таким образом, *электромагнитная волна* – взаимосвязанное распространение в пространстве изменяющихся электрического и магнитного полей.

Электромагнитная волна обладает энергией, и ее распространение в пространстве связано с переносом энергии.

Под распространением электромагнитной волны понимается процесс переноса электромагнитной энергии в форме энергии электрического и магнитного полей. В процессе распространения элек-

тромагнитной волны направление вектора электрического поля перпендикулярно к направлению магнитного поля, а направление распространения волны (и переноса энергии) перпендикулярно к направлению обоих векторов.

Одной из основных характеристик электромагнитной волны является частота f . Под частотой принято понимать количество колебаний, которые совершаются в 1 с. Измеряется частота в герцах (Гц). Кроме частоты, для описания колебательного процесса применяют следующие характеристики: период колебаний T , равный интервалу времени между двумя одинаковыми фазами колебаний и измеряемый в секундах; длина волны, равная расстоянию, на которое распространяется волна за один период.

Условно весь спектр электромагнитных волн принято разбивать на отдельные диапазоны, характеризующиеся примерно одинаковыми условиями распространения волн.

К сверхвысоким частотам (СВЧ) относится область спектра, колебания которых $f > 30$ МГц, и в зависимости от длины волны в диапазоне СВЧ выделяют деци-, санти- и миллиметровые волны. Именно этот диапазон частот является наиболее опасным для здоровья человека и жизни других биообъектов.

Классификация электромагнитного фона как источника опасности человека. В общем случае электромагнитный фон по своему происхождению можно разделить на природный и техногенный. Такое деление является условным. Поскольку часть природного электромагнитного фона все-таки обусловлена хозяйственной деятельностью человека.

Природный электромагнитный фон. В свою очередь природный электромагнитный фон может иметь атмосферное или литосферное происхождение. Остановимся на этом вопросе чуть подробнее. Рассмотрение начнем с атмосферного электромагнитного фона.

Для атмосферы характерны следующие виды излучений:

- интенсивное излучение при грозовых разрядах (его частота и длительность зависят от величины и длительности разрядного тока);

- предгрозовое радиоизлучение;
- непрерывно-шумовое радиоизлучение грозовых облаков и циклонов (на частотах от сотен килогерц до сотен мегагерц).

Физическая природа перечисленных видов излучений обусловлена, с одной стороны, колебаниями поверхностей заряженных капель, с другой стороны, их дроблением и коагуляцией (слиянием мелких капель в более крупные).

Излучают радиоволны и различные светящиеся объекты, возникающие в атмосфере и имеющие, как правило, плазменное происхождение. На одном из них «огнях Святого Эльма» следует остановиться подробнее. Свечение, обусловлено преимущественно дроблением водяных капель и эмиссией с их поверхности. Диапазон частот, который характеризует «огни Святого Эльма», составляет от нескольких мегагерц до 3 ГГц, т.е. приходится на область высокой чувствительности биологической ткани.

В конце 50-х – начале 60-х годов некоторые исследователи обратили внимание, что существует корреляция между геологической активностью земной коры и появлением естественного электромагнитного фона. Такой вид радиоизлучения, который обусловлен действием геофизических факторов, будем называть *литосферным*. Причина возникновения такого радиоизлучения долгое время оставалась точно не установленной. Регистрируется это излучение в полосе частот (0,1 – 2,5) МГц. Некоторые исследователи, в частности, предполагают, что радиоизлучение литосферного происхождения обусловлено наличием пьезоэлектрического эффекта, возникающего за счет появления механического напряжения горных пород. В этом случае протекающий ток генерирует электрическое поле, которое может привести к образованию дополнительного фона естественного происхождения. Наряду с приведенным существуют и другие объяснения причин генерации радиоизлучения из недр земли. Их рассмотрение выходит за рамки нашего изложения. Отметим лишь, что характеристики такого радиоизлучения зависят от состава горных пород и температуры, до которой они нагреты (например, при извержении вулканов).

Появление механических напряжений в горных породах обусловлено смещением тектонических плит, а также образованием пустот за счет добычи в недрах земли полезных ископаемых или проведения подземных ядерных взрывов. Избыток же механической энергии может служить причиной «выброса» в окружающее пространство электромагнитного излучения. Из природных явлений, в которых появляется сильный электромагнитный фон, следует указать также извержения вулканов, часто сопровождающиеся появлением огненных шаров.

Таким образом, из приведенного рассмотрения видно, что в природе излучает радиоволны практически все, что окружает человека. Электромагнитное излучение – одно из свойств материи. Излучает энергию и сам человек (мощностью приблизительно до 100 Вт), а также и другие биообъекты.

Техногенный электромагнитный фон. Техногенный электромагнитный фон (или электромагнитный фон антропогенного происхождения) прямо или косвенно (как, например, при добыче полезных ископаемых) связан с деятельностью человека.

Техногенный электромагнитный фон может быть как производственным, так и бытовым. Производственный электромагнитный фон, как правило, связан с какими-либо технологическими процессами: закалкой изделий токами высокой частоты, плазменной обработкой поверхности изделий пластмасс и пр., а также наличием СВЧ-связи (радиопередатчики и локаторы аэропортов, речных портов и различных военных ведомств). Сюда же следует отнести электромагнитные поля радиолокационных станций Министерства обороны, работающих преимущественно в санти- и дециметровом диапазонах длин волн.

Бытовой электромагнитный фон обусловлен работой радио- и телепередатчиков широким использованием СВЧ-печей и радио- и мобильных телефонов. К сожалению, вредное воздействие электромагнитного излучения связано не только с источниками широкомасштабного излучения. Известно, что магнитное поле возникает вокруг любого предмета, работающего на электрическом токе. А это практически любой прибор, сопровождающий нас в быту.

Полную панику у американцев вызвало пару десятилетий назад медицинское обследование полицейских. Среди них было обнаружено рекордное число пораженных раком мозга. Виновником тому, по мнению специалистов, был переносной радиопередатчик «Уоки-токи», излучающий опасные волны.

Согласно работам сотрудников НПО «Взлет» [21], «замеры напряженности магнитных полей от бытовых электроприборов показали, что их кратковременное воздействие может оказаться даже более сильным, чем длительное пребывание человека рядом с линией электропередач. Если отечественные нормы допустимых значений напряженности магнитного поля для населения от воздействия ЛЭП составляют 1000 мГс, то бытовые электроприборы существенно превосходят эту величину». Уровень напряженности магнитного поля на различных расстояниях от прибора до человека (в миллигауссах) приведен в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Прибор	3 см	30 см	100 см
Фен	60 – 20000	1 – 70	0,1 – 3
Электробритва	150 – 15000	1 – 90	0,4 – 3
Телевизор	25 – 560	0,4 – 20	0,1 – 2

Эти данные объясняют тот факт, что отдельные мужчины отказываются пользоваться электробритвами.

Результаты исследований ученых США показывают, что рак мозга в 13 раз чаще случается у электриков, чем у людей прочих профессий. А исследователи США и Швеции установили факт возникновения опухолей у детей при воздействии на них магнитных полей частоты 60 Гц и напряженностью 2 – 3 мГс в течение нескольких дней или даже часов. Такие поля излучаются телевизором, персональной ЭВМ.

Немалые неприятности происходят и с автомобильным транспортом. Большое значение проблема совместимости приобрела с быстрым развитием автотранспорта. Уже сегодня электромагнитное поле на 18 – 32 % территории городов формируется в результате автомобильного движения. Электромагнитные волны, возни-

кающие при движении транспорта, создают помехи теле- и радиоприему. А также могут оказывать вредное воздействие на организм человека.

Статистические исследования показали, что темпы увеличения суточной мощности только за счет излучения радио- и телевизионных станций колоссальные. Так за последние 50 лет суточная мощность радиоизлучения возросла более чем в 50 тыс. раз.

Крупнейшими источниками электромагнитных излучений являются радио- и телевизионные средства связи и информации, радиолокационные и навигационные, средства, лазерные системы, воздушные ЛЭП.

Серьезного внимания заслуживают вопросы гигиенической оценки уровней электромагнитных полей, которым (подвергаются лица, работающие в зоне действия излучений, но не связанные с обслуживанием радиотехнических устройств (непрофессиональное облучение), и население в целом. Например, в аэропортах, где основными источниками излучения являются антенны наземных радиолокационных станций, уровни воздействия очень сильны; при этом отмечается, с одной стороны, что благодаря использованию соответствующих средств защиты происходит снижение уровней профессионального облучения, а с другой стороны, происходит увеличение интенсивности воздействия на лиц, профессионально не связанных с обслуживанием радиолокационных станций.

Аналогичная ситуация имеет место на судах морского флота. Исследования, проведенные на транспортных, судах и ледоколах, показали, что в момент работы радиостанции на передачу уровни микроволнового излучения могут достигать сотен и даже тысяч мкВт/см^2 , а иногда и более высоких величин, о чем свидетельствуют данные американских авторов, полученные на судах военного флота.

По данным американского агентства по охране окружающей среды, около 10 % человеческой популяции подвергается воздействию электромагнитного излучения интенсивностью более 1 мкВт/см^2 , при этом наибольшие значения интенсивности были зафиксированы в высотных зданиях, особенно на уровнях, соответствующих уровням размещения антенных систем.

Самые опасные поля – поля СВЧ-диапазона. Санти- и миллиметровые волны действуют на кожу. А дециметровые, проникая на глубину 10 – 15 см, уже напрямую бьют по внутренним органам.

Общеизвестно биологическое действие на природу и живые организмы излучений СВЧ-диапазона. Рак, поражение органов зрения, нарушение обмена веществ, психические расстройства – вот неполный перечень влияния электромагнитных излучений.

В настоящее время на Земле возникли крупные электромагнитные «пятна» являющиеся порождением супергородов, которые полностью изменили «внешний геофизический облик» нашей планеты и, как следствие этого, ее светимость в радиодиапазоне длин волн превзошла светимость Солнца.

Под электромагнитным загрязнением окружающей среды следует понимать такое состояние среды, когда техногенный электромагнитный фон равен или превышает природный электромагнитный фон; характерный для данной местности (или помещения).

Поскольку человек рождается и живет в определенной электромагнитной среде, то в случае смены им места жительства (или условий пребывания), наряду с понятием «электромагнитное загрязнение», необходимо также говорить и об «электромагнитном голоде», который может возникнуть для человека как биологической системы. Другими словами, при рассмотрении проблемы электромагнитного загрязнения окружающей среды более правильно говорить об «электромагнитном» комфорте или дискомфорте окружающей среды (производственных и жилых помещений, территорий зоны жилой застройки и т.д.).

Резкое увеличение уровня электромагнитного фона техногенного происхождения особенно в таких регионах, как Западная Европа, Япония и США, не могло не сказаться на состоянии здоровья населения и жизнедеятельности других биообъектов.

Еще в далекие 70-е годы американские онкологи установили взаимосвязь между уровнем электромагнитного фона и распространенностью злокачественных опухолей. Существует также взаимосвязь и между уровнем излучения и сердечно-сосудистыми и нервно-психическими заболеваниями. Из научной литературы известно, что в зависимости от частоты и мощности радиоизлучения происходит нарушение работы головного мозга и центральной

нервной системы. Облучение в радиодиапазоне вызывает у человека ощущение шумов и свиста.

Защита и профилактика поражения от действия электромагнитного излучения. Сложность защиты человека от действия электромагнитных волн и обеспечения профилактики поражений, вызываемых ими, обусловлена тем, что этот специфический вид загрязнения окружающей среды не имеет ни цвета, ни запаха, а может быть обнаружен лишь с помощью специальной измерительной аппаратуры. Причем регистрация радиоизлучения возможна лишь в момент работы источника радиоволн. Задача регистрации электромагнитного фона усложняется еще тем обстоятельством, что для каждого диапазона частот необходимо иметь свою регистрирующую аппаратуру, обладающую хорошей широкополосностью и высокой чувствительностью (что накладывает определенные ограничения как на геометрические размеры приемной антенны, так и на выбор типа приемника).

В случае регистрации радиоизлучения в производственных помещениях задача в какой-то мере упрощается, поскольку обычно известны частоты, на которых работает радиоаппаратура (даже на режимных предприятиях). Что касается бытовых условий, то в этом случае поиск диапазона частот, в котором возникает электромагнитный фон, значительно затруднен неопределенностью как числа самих излучателей, так и частот, на которых они работают. Кроме того, если облучение персонала на производстве происходит только в рабочее время, то население может облучаться каким-либо ведомством в соответствии с неизвестным графиком работы его предприятий.

Современные радиолокационные станции большой мощности могут создавать на значительном удалении от мест своего размещения электромагнитные поля, интенсивность которых в десятки-сотни раз превышает предельно допустимые уровни. Однако об этом население может даже не подозревать. Другими словами, трудности защиты населения, не имеющего никакого отношения к работе источников техногенного электромагнитного фона, значительно выше, чем для лиц, непосредственно связанных с излучениями на производстве.

Приведенные далее табл. 3.2 – 3.7 содержат санитарно-гигиенические нормативы воздействия электромагнитных излучений на

персонал и население, а также предельно допустимые величины электромагнитной энергии и размеры санитарно-защитных зон, которые должны строго соблюдаться для уменьшения вредного воздействия электромагнитного излучения на человека.

Так, в табл. 3.2 даны предельно допустимые уровни (ПДУ) для населенных пунктов напряженности электромагнитных полей в диапазоне частот 300 кГц – 300 МГц и ПДУ плотности потока электромагнитной энергии для сверхвысокочастотного диапазона, в табл. 3.3 – ПДУ напряженности электрического поля.

Таблица 3.2

Диапазоны радиоволн	ПДУ для жилой застройки	ПДУ для жилых помещений
Средневолновой ($\lambda = (1000 - 100)$ м, $f = 300$ кГц – 3 МГц)	10 В/м	1 В/м
Коротковолновой ($\lambda = (100 - 10)$ м, $f = (3 - 30)$ МГц)	4 В/м	0,4 В/м
Ультракоротковолновой ($\lambda = (10 - 1)$ м, $f = (30 - 300)$ МГц)	2 В/м	0,2 В/м
Сверхвысокочастотный ($\lambda = 10$ см – 1 мм, $f = (3 - 30)$ ГГц): непрерывная генерация импульсная генерация	1 мВт/см ² 5 мкВт/см ²	0,5 мВт/см ² 2,5 мкВт/см ²

Таблица 3.3

Место, территория	Напряженность, кВ/м
Внутри жилой застройки	0,5
На территории зоны жилой застройки	1,0
В населенной местности, вне зоны жилой застройки, а также на территории огородов и садов	5,0
На участках пересечения высоковольтных линий: с автомобильными дорогами I – IV категорий в населенной местности в труднодоступной местности и на участках, специально отгороженных для исключения доступа населения	10,0 15,0 20,0

В табл. 3.4 приведены санитарно-защитные зоны высоковольтных ЛЭП и минимальные расстояния от границ населенных пунктов до ЛЭП в зависимости от напряжения; в табл. 3.5 – санитарно-защитные зоны типовых передающих радиостанций; в табл. 3.6 – санитарно-защитные зоны типовых телецентров и телевизионных ретрансляторов.

Таблица 3.4

Расстояние, м	Напряжение высоковольтных линий, кВ
1. Санитарно-защитная зона:	
20	33
30	50
40	750
55	1150
2. От ЛЭП до границы населенных пунктов:	
250	750
300	1150

Таблица 3.5

Мощность передатчика	Диапазоны радиоволн	Санитарно-защитная зона, м
Малой мощности (до 5 кВт)	Длинноволновой Средневолновой Коротковолновой	10 20 175
Средней мощности (5 – 25 кВт)	Длинноволновой Средневолновой Коротковолновой	10 – 75 20 – 150 175 – 400
Большой мощности (25 – 100 кВт)	Длинноволновой Средневолновой Коротковолновой	75 – 480 150 – 960 400 – 2300
Сверхмощные (свыше 100 кВт)	Длинноволновой Средневолновой Коротковолновой	Более 480 Более 960 Более 4500

В табл. 3.7 даны предельно допустимые величины электромагнитной энергии на территории жилой застройки.

Таблица 3.6

Мощность одного передатчика, кВт	Количество диаграмм	Суммарная мощность объекта с учетом УКВ, кВт	Санитарно-защитная зона, м
Малой мощности (до 5/2,5)	Одна	До 10	Техническая зона
Средней мощности (25/6,3)	Одна	До 75	200 – 300
Большой мощности (50/15)	Две	До 160	400 – 500
Сверхмощные (свыше 50/15)	Три	Порядка 200	500 – 1000

Таблица 3.7

Наименование диапазона радиоволн	Границы диапазона	Предельно допустимые величины электромагнитной энергии на территории жилой застройки
Длинные	30 – 300 Гц (10 – 1 км)	10 Вт/м ²
Средние	0,3 – 3 МГц (1 – 0,1 км)	10 Вт/м ²
Короткие	3 – 30 МГц (100 – 10 м)	4 Вт/м ²
УКВ	30 – 300 МГц (10 – 1 м)	2 Вт/м ²
СВЧ (круглосуточное облучение)	0,3 – 300 ГГц (1 м – 1 мм)	5 мкВт/см ²

Мероприятия, входящие в профилактику поражений, вызываемых СВЧ-полями, поскольку этот диапазон длин волн является наиболее опасным для человека, следующие:

- создание зон безопасности;
- экранирование прилегающих жилых зданий или отдельных помещений;
- размещение радиопередающих антенн на высоту, которая обеспечивает широкую «мертвую зону».

Выполнение этих мероприятий (по формальным признакам) исключает, точнее ослабляет, воздействие на человека радиоволн. Од-

нако из предыдущего рассмотрения следует, что избежать вредного влияния электромагнитного фона практически не удастся никому.

Профилактика поражений у профессионалов на рабочих местах ведется в двух направлениях: с одной стороны, ослабление интенсивности электромагнитного фона техногенного происхождения, с другой – укрепление здоровья работающих (за счет надбавок за вредность к заработной плате, сокращенного рабочего дня, более ранних сроков выхода на пенсию и, наконец, получение дополнительного спецпитания). В комплекс последнего направления профилактики входят также мероприятия, направленные по возрастному (старше 18 лет) и половому (преимущественно, мужчины) подбору работающих на установки с СВЧ-излучением.

Ослабление интенсивности воздействия излучения достигается путем использования защитных материалов, отражающих или поглощающих электромагнитные волны. Выбор материалов и вид защиты обслуживающего персонала определяется конкретными условиями работы и зависит от характеристик излучения (частоты, мощности, типа электромагнитных колебаний, стационарной или импульсной работы источника излучения и пр.). Отметим лишь, что к материалам, отражающим радиоволны, относятся листы и сетки, выполненные из металла, а к материалам, поглощающим радиоволны, – вода, земля, стекло и др. Также для защиты могут быть использованы вещества или предметы, содержащие хорошие поглотители радиоволн, например растения или деревья (за счет воды, входящей в их состав). С этой точки зрения для защиты жилых помещений от радиоволн полезно использование вьющихся растений, одновременно и украшающих фасады зданий.

На особо опасных производствах для защиты организма работающего от воздействия радиоволн используются защитная одежда и защитные очки. Такая одежда изготавливается из специальной ткани, содержащей тонкие металлические нити, которые образуют мелкоячеистую сетку, а защитные очки имеют стекла с тонким покрытием из металла. Покрытие является прозрачным в видимом диапазоне длин волн.

С целью исключения возможности работы с источником СВЧ-излучения лиц, имеющих какие-либо отклонения в здоровье, все кандидаты на эту работу проходят предварительное медицинское

освидетельствование (согласно приказу министра здравоохранения СССР № 136М от 7 сентября 1957 г.).

Раз в год работающие с источниками СВЧ-излучений обязаны проходить всесторонние медицинские осмотры, основная цель которых состоит в выявлении начальных признаков ухудшения здоровья работающих. На основании результатов таких осмотров дается заключение о возможности продолжения работы или необходимости перевода работающего на другую работу, не связанную с СВЧ-излучением.

К сожалению, приходится констатировать, что профилактические мероприятия, связанные с вредным действием радиоволн, являются менее четкими и строгими, нежели при работе с радиоактивными веществами, а многие жалобы лиц, подвергающихся СВЧ-излучению, часто проявляются и у лиц, не имеющих ни какого отношения к этой профвредности. Это обстоятельство не позволяет всегда вовремя обнаружить вредное действие радиоволн на рабочих местах.

Современное состояние гигиенического нормирования электромагнитного излучения. Осуществляемое в нашей стране гигиеническое нормирование электромагнитного «загрязнения» окружающей среды в своих основополагающих позициях базируется на общих методологических принципах регламентации условий в населенных местах, разработанных несколькими поколениями ученых-гигиенистов.

Общей методологической основой работ по обоснованию гигиенических нормативов различных факторов окружающей среды является проведение многоплановых исследований-опытов на лабораторных животных, а также наблюдений за людьми в соответствующих реальных или моделируемых ситуациях. На этой основе за допустимые уровни факторов окружающей среды принимают такую их выраженность, которая при воздействии на организм человека периодически или в течение всей жизни не вызывает соматических или психических заболеваний (в том числе скрытых или временно компенсированных) или других изменений состояния здоровья, выходящих за пределы приспособительных реакций, обнаруживаемых современными методами исследования сразу или в отдаленные сроки жизни настоящего или будущих поколений. Таким образом, соблюдение допустимых уровней должно обеспечить

сохранение средней продолжительности жизни, показателей физического развития, состояния высшей нервной деятельности, работоспособности, поведения, репродуктивной функции.

Учитывая специфику воздействия электромагнитных полей на население (возможность круглосуточного и в течение всей жизни воздействия на большие контингенты людей, в том числе детей, обладающих повышенной чувствительностью к вредным влияниям), неблагоприятными следует считать существенные отклонения от нормы любой жизненно важной функции организма.

В соответствии с принципом единства организма как системы взаимосвязанных подсистем появление возрастающих по значимости функциональных изменений хотя бы в одной подсистеме организма может привести к возникновению неблагоприятных реакций и в других подсистемах. Поэтому оно должно расцениваться как показатель неблагоприятного воздействия, которое может привести к появлению патологических, необратимых реакций при продолжающемся воздействии.

Одним из наиболее сложных и до настоящего времени окончательно не решенных вопросов является экстраполяция результатов экспериментальных исследований с животных на человека. До тех пор, пока не будет обоснована методика определения коэффициентов экстраполяции с учетом значимости наблюдаемых биоэффектов для различных животных и человека, любые чисто биофизические подходы не смогут дать приемлемых результатов.

При нормировании электромагнитного излучения, как и других факторов окружающей среды, в населенных местах оценочным критерием их действия на организм служат не патологические, а функциональные изменения, при этом в качестве допустимого уровня электромагнитного поля принимают подпороговые величины, которые не вызывают компенсаторного напряжения функциональных систем организма.

В диапазоне частот 30 кГц – 300 МГц предельно допустимый уровень напряженности электрической составляющей электромагнитного поля, выражаемый в эффективном значении, и уровень плотности потока энергии, выражаемый в среднем значении, для ультравысоких и сверхвысоких частот определяются в зависимости от частоты (длины волны) по табл. 3.8 [19].

Таблица 3.8

Метрическое подразделение диапазона	Частоты	Длины волн	Предельно допустимый уровень
Километровые волны низкие частоты	30 – 330 кГц	10 – 1 км	25 В/м
Гектометровые волны средние частоты	0,3 – 3 МГц	1 – 0,1 км	15 В/м
Декаметровые волны высокие частоты	3 – 30 МГц	100 – 10 м	10 В/м
Метровые волны очень высокие частоты	30 – 300 МГц	10 – 1 м	3 В/м
Дециметровые волны ультравысокие частоты	300 – 3000 МГц	1 – 0,1 м	10 мкВт/см ²
Сантиметровые волны сверхвысокие частоты	3 – 30 ГГц	10 – 1 см	10 мкВт/см ²

Широкий спектр частот электромагнитных сигналов, их различный энергетический вклад создают существенные сложности для измерений и комплексной оценки.

Задачи

Задача 3.1. Рассчитать величину тока через тело человека, попавшему под переменное напряжение (50 Гц) величиной в 100 В, приняв условия прохождения тока согласно таблицы:

Параметры цепи тока	Варианты			
	1	2	3	4
Площадь контакта с токоведущими деталями, см ²	<u>1,0</u>	0,7	0,5	0,3
Толщина кожи в местах контакта, мм	2,0	1,5	<u>1,0</u>	0,5
Длина пути тока в теле человека, м	2,0	1,5	1,0	<u>0,5</u>
Среднее значение сечения внутренних органов по пути тока, см ²	<u>200</u>	150	100	10

Относительную диэлектрическую проницаемость кожи принять равной 150, объемное удельное сопротивление кожи – 10^4 Ом·м, внутренних органов – 10 Ом·м. Из таблицы взять данные по правилу: $1i - 2j - 3k - 4l$, где i, j, k, l – индексы варианта: 1, 2, 3, 4. Например, вариант 11-23-34-41 соответствует значениям параметров, выделенных подчеркиванием.

Задача 3.2. Сравнить значение тока, рассчитанного по задаче 3.1, с допустимыми значениями (нормальным, аварийным, бытовым), охарактеризовать ожидаемые последствия прохождения такого тока при времени прохождения более 1 с.

Задача 3.3. Определить ток (I_4), который потечет через тело человека при прикосновении его к проводу однофазной с изолированной от земли сети, изображенной на рис. 3.3.

Сопротивления изоляции проводов – r_1, r_2 . Сопротивление тела человека – R_h , сопротивление заземлителя – $r_{3м}$, в случае аварийного падения второго провода на землю – взять из таблицы:

Параметры сети	Варианты			
	i	j	k	l
$U, В$	127	220	380	1000
$R_h, Ом$	700	1000	2000	3000
$r_1, Ом$	10^4	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$
$r_2, Ом$	$r_1 + 10^4$			
$r_{3м}, Ом$	20	30	40	50

Ответить на приведенные ниже вопросы.

1. Как изменяется величина тока I_h с изменением сопротивления с изменением сопротивления изоляции проводов r_1, r_2 ?

2. К какому из проводов (с меньшим или большим сопротивлением) прикосновение более опасно?

3. В каком состоянии сети (аварийном или неаварийном) прикосновение более опасно?

Задача 3.4. Выполнить задачу 3.3 при условии, что нижний провод земли заземлен через сопротивление $r_0 = 10$ Ом.

Задача 3.5. Применительно к ситуации электрической сети, изображенной на рис. 3.5, определить величину тока, протекающего через тело человека, при его прикосновении к фазному проводу. Рассмотреть два случая: неаварийного состояния сети и аварийного состояния, когда другой фазный провод замкнут на землю через некоторое сопротивление. Численные значения параметров схемы принять: $R_h = 1000$ Ом, $R_0 = 10$ Ом, $r_{зм} = 30$ Ом, напряжение в сети – 380/220 В.

Задача 3.6. Выполнить задачу 3.5 применительно к сети, изображенной на рис. 3.6, приняв: $R_h = 1000$ Ом, $r = 10^4$ Ом, $C = 0,5$ мкФ, $r_0 = 10$ Ом, $r_{зм} = 20$ Ом, $U_\phi = 220$ В.

Задача 3.7. Корпуса двух агрегатов соединены между собой электрически и заземлены на общий заземлитель. Корпус одного из них аварийно оказался замкнутым на фазу, напряжение $U_\phi = 220$ В. Определить напряжение прикосновения и шаговое напряжение для человека, находящегося в точках A , B , C . При этом принять, что ток заземлителя ограничивается только его сопротивлением. Заземлитель – стержневой, глубиной 5 м, диаметром 5 см, ширину шага принять равной 70 см, удельное сопротивление грунта $\rho = 100$ Ом·м.

Задача 3.8. Выполнить задачу 3.7 при условии, что заземление – двойное, второй аналогичный заземлитель находится в точке C . Токи, стекающие в землю через оба заземлителя, одинаковы. Их сумма равна току, стекающему в землю согласно условию задачи 3.7.

Глава 4

ПОЖАРО- И ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

4.1. Значимость пожароопасности

Пожар – процесс неконтролируемого горения всевозможных материалов, веществ, способный привести к поражению людей, уничтожению материальных ценностей. Пожары повсеместно являются одним из самых распространенных видов опасности [22]. По губительным последствиям они «по достоинству» относятся к чрезвычайным. Правда, пожары ныне происходят так часто, что люди, не соприкасавшиеся с ними, воспринимают их как нечто ординарное, неизбежное. С ростом мощности промышленных объектов, с продолжающейся урбанизацией пожары становятся все более частыми, а главное, – более губительными. Уничтожаться пожарами могут не только объекты техносферы, но и природные ресурсы – растительность, ее накопленные остатки. Такие пожары принято называть *ландшафтными*.

Как и всякие другие виды опасности, пожары условимся классифицировать согласно рис. 4.1.



Рис. 4.1

Такое разделение облегчает рассмотрение особенностей развития различных пожаров и тактики защиты от них. Сделаем предварительные замечания по каждой обозначенной разновидности пожаров.

Из ландшафтных пожаров наиболее вредоносными являются лесные и торфяные. В летние засушливые периоды лесные пожары могут бушевать одновременно во многих очагах размерами в километры. Площадь уничтожаемых пожарами на Земле лесов в отдельные годы достигает десятков миллионов гектар. В зоне горения лесного пожара температура может достигать 1200 °С, фронт горения в подветренную сторону может распространяться со скоростью спортсмена. В благоприятных для развития такого пожара условиях он может продолжаться несколько суток. По сгораемым элементам леса лесные пожары могут быть низовыми (сгорает только нижний ярус леса – трава, кустарник, нижние ветви деревьев) и верховыми (горение распространяется на все ярусы леса). Площадь горения отдельных лесных пожаров может достигать нескольких квадратных километров.

Торфяные пожары, возникнув в поверхностном слое, распространяются на всю толщину пласта торфа (для нашей страны – это в среднем 2 м, иногда до 13 м) или до увлажненных слоев торфа. В дальнейшем горение идет радиально со скоростью в несколько метров за сутки. Температура в зоне горения составляет около 1000 °С. После сгорания торфа образуются подземные высокотемпературные полости. Коварство торфяных пожаров состоит еще и в том, что контуры подземных очагов горения трудно установить. Горение может быть в одном месте, а дым от очага горения выходить из земли может совсем в другом.

Бытовые пожары по режиму развития могут создавать жуткую картину. Режим их развития ныне усугубляется ростом мегаполисов и увлечением высотным строительством в них. В обычных условиях жизнедеятельности человечество, расходуя значительные ресурсы, справляется с постоянно возникающими умеренными бытовыми пожарами, хотя и неся значительный ущерб от них. Однако в чрезвычайных условиях (стихийные бедствия, боевые действия, общественные беспорядки и т.п.) могут возникать и не раз возникали пожары, пожирившие целые города. Примерами таких случаев могут служить: пожар в Москве (1812 г.), пожары в Дрездене и в Гамбурге (1945 г.), в Токио (в результате землетрясения в 1923 г.), в Хиросиме (1945 г.). Масштабы человеческих жертв в подобных случаях сопоставимы разве что с потерями в ходе крупных военных сражений.

По величине ущерба, по непредсказуемости, по «агрессивности» производственные пожары являются наиболее коварными. В связи со строительством современных крупных материало- и энергоемких объектов производства возникающие на них пожары способны вызывать шок даже у людей, повидавших иные опасные случаи. Пламя бушующего пожара может охватить территорию в несколько десятков гектар, языки пламени могут достигать высоты километра и более, ветровая обстановка в прилегающей зоне сопоставима со штормовой (ее именуют «огненным штормом»), в атмосферу могут всплывать и перемещаться с ветром огненные шары размерами до сотен метров. И эта жуткая картина может развиваться на протяжении суток и более. Такие пожары не редко случаются на складских предприятиях, на нефтяных и газодобывающих предприятиях, в крупных промышленных населенных пунктах в условиях войны.

В условиях производственных пожаров гореть и даже взрываться могут смеси, которые, на первый взгляд, кажутся инертными. Примерами таких смесей являются воздушные «коктейли» мучных продуктов, сахарной пудры, угольной пыли, древесных опилок, пыли другой органической природы и т.д.

Близкими родственниками пожаров являются производственные взрывы. Взрыв может быть вызван быстрым сгоранием газообразной смеси, внезапным разрушением сосуда со сжатым газом, детонацией конденсированного взрывчатого вещества. В производственных условиях взрывы часто вызывают пожары.

Поражающие факторы при пожарах:

- высокая температура;
- тепловое излучение;
- дым и другие примеси атмосферного воздуха;
- падающие предметы при обрушениях.

Специфическим дополнительным поражающим фактором при взрывах является воздушная ударная волна.

В Российской Федерации (РФ) пожарная опасность традиционно имеет повышенную актуальность. Это отчасти объяснимо: Россия является промышленно развитым государством, а климатические условия на ее территории требуют повышенного задействования тепловых ресурсов. Поэтому, например, в Москве в сопоставимых показателях число пожаров в несколько раз больше, чем в других столицах Европы. По данным Государственной противопожарной

службы на территории РФ ежегодно происходит до 300 тыс. пожаров, т.е. до 800 в сутки. Количество погибающих в них людей достигает 20 тыс. в год. Суммарный материальный ущерб от пожаров достоверно вряд ли можно оценить, он огромен. Важно также отметить и то, что общее число пожаров в России непрерывно растет. Можно с уверенностью утверждать, что в настоящий период число пожаров в России в 10 раз больше, чем 100 лет назад.

В подавляющем числе случаев (примерно в 90 %) в возникновении пожаров непосредственно или косвенно повинен человек. Неосмотрительность обращения людей с огнем, веществами, современными техническими средствами, а иногда и злоумышленные действия являются причиной большинства случающихся пожаров.

Для укрощения пожарной опасности государство вынуждено мобилизовывать значительные ресурсы. Конечно, силами соответствующих служб укрощения пожаров предотвращаются, локализуются и оперативно тушатся многочисленные всполохи пожаров. Однако главным заслоном от них в современных условиях может служить только всеобщее понимание необходимости бдительного, грамотного обращения с огнеопасными предметами, недопустимость расчетов «на авось». С целью укрепления дисциплины обращения с огнем и источниками огня каждый случай пожара в РФ подлежит расследованию, в частности с целью выявления причин его возникновения.

Как показывает статистика, наиболее распространенными причинами возникновения пожаров являются следующие.

Для пожаров в бытовой сфере:

- неосторожность обращения людей с огнем, в частности курение;
- неисправности в электрическом хозяйстве;
- перегрузки электрической сети;
- не предусмотренное проектом включение нагревательных приборов (частный случай – перегрузки);
- безнадзорность включенных электрических и газовых агрегатов;
- невыполнение профилактических регламентов в электрическом, газовом, печном хозяйстве;
- детские проступки.

Для пожаров и взрывов в производственной сфере:

- просчеты в проектировании агрегатов;
- несоблюдение правил эксплуатации технологического оборудования;
- несоблюдение правил и режимов хранения пожаро- и взрывоопасных материалов;
- несоблюдение правил проведения «горячих» работ (например, сварочных);
- человеческий фактор в образе беспечности;
- самовозгорание материалов.

Характерными причинами возникновения ландшафтных пожаров являются:

- неосторожное обращение людей с огнем;
- самовозгорания;
- удары молнии.

По режиму развития пожары чрезвычайно разнообразны. Однако в основе всякого из них лежат единые физические закономерности, познание которых позволяет выстроить стратегию борьбы с ними.

4.2. Горение и пожароопасные свойства материалов

Горением называется сложный самоподдерживающийся физико-химический процесс взаимодействия горючего вещества и окислителя, сопровождающийся образованием различных веществ и выделением энергии в виде тепла и света. При пожаре в большинстве случаев окислителем является кислород воздуха, но роль окислителя могут играть и другие вещества, например вещества, полученные в технологических процессах современных производств, вещества, образуемые при высокотемпературном разложении материалов конструкций и т.д.

Процесс горения, как правило, происходит в газовой фазе компонентов горючей смеси. Видимой частью непосредственного горения является пламя. Если сгораемые вещества представляют собой твердые или жидкие материалы, то в процессе горения они, как правило, предварительно подвергаются газификации (испарению, разложению) за счет нагрева пламенем.

Понятно, что в реальных пожарах в зоне горения присутствуют различные материалы – набор горючих веществ и окислителей.

Кроме того, присутствуют и другие химически пассивные (флегматизаторы) и активные (катализаторы) вещества (примеси), часто способные существенно влиять на режим горения.

Взрывы по своей сути представляют собой разновидность горения. Отличительным признаком взрывов является высокая скорость протекания физико-химических превращений компонентов горючей смеси и, как следствие этого, образование ударных волн, способных оказывать ударное воздействие на окружающую среду, разрушать объекты и поражать людей.

Развитие процессов горения, наблюдаемая картина горения зависят, естественно, от физических и химических свойств компонентов горючей смеси, а также от их исходного состояния и внешних условий горения.

Для понимания процессов горения и их зависимости от этих факторов целесообразна следующая классификация видов горения (рис. 4.2).



Рис. 4.2

Реальные пожары, как правило, представляют собой гетерогенное дефляционное горение твердых (реже жидких или газообразных) горючих веществ в кислороде воздуха.

Процесс возникновения и развития горения условно можно представить в виде последовательности следующих этапов.

1. Нагрев веществ во всем объеме или в отдельном очаге (для твердых и жидких веществ – газификация компонентов смеси).

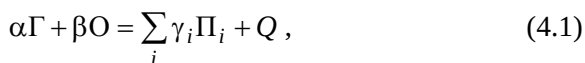
2. Развитие в очаге разогрева экзотермических реакций разложения, окисления-восстановления, приводящие к самонагреванию.

3. Ускорения реакций до воспламенения (при определенных условиях – взрывное или детонационное горение).

4. Распространение пламени по массе горючей смеси или приток компонентов смеси в область пламени.

5. Затухание горения.

Приведенная последовательность этапов можно пояснить на примере умозрительного (нетрудно выполнимого и практически) эксперимента. Возьмем длинную колбу, открытую с одного конца, заполнив ее газообразной смесью горючего и окислителя, химическая реакция между которыми соответствует записи:



где Γ , O , Π – химические символы горючего, окислителя и продуктов их горения; α , β , γ_i – стехиометрические коэффициенты; Q – тепловой эффект реакции (процесс горения экзотермичен).

Подожжем с открытого конца колбы горючую смесь. При определенных условиях, которые будут понятны из нижеследующего, сможем наблюдать картину горения смеси. Это горение будет происходить в режиме распространения вдоль трубки пламенного слоя с некоторой скоростью V_n , ее называют *нормальной скоростью*, поскольку она перпендикулярна фронту пламенного слоя. Толщина пламенного слоя составляет сотые-десятые доли миллиметра. Именно в этом тонком слое происходят химические окислительно-восстановительные реакции.

Физическая сторона наблюдаемой картины горения упрощенно может быть объяснена следующим образом. Согласно постулату Аррениуса молекулы газообразных веществ, способных к химическому взаимодействию, вступают в такое взаимодействие в случа-

ях, когда их энергия движения при соударении больше некоторого значения (E), называемой *энергией активизации*.

Распределение молекул газа по энергии теплового движения подчиняется закону Максвелла. Из этого следует, что скорость окислительно-восстановительной реакции в газовой смеси составляет:

$$n = \delta C_r^\alpha C_o^\beta \exp\left(-\frac{E}{RT}\right). \quad (4.2)$$

Здесь n – число актов химического взаимодействия молекул горючего и окислителя в единице объема в единицу времени; δ – константа; C_r и C_o – объемная концентрация молекул горючего и окислителя соответственно; T – температура газовой смеси; R – газовая постоянная.

Очевидно, что тепловая производительность объема горения смеси (V), т.е. объема пламенного слоя, применительно к нашему эксперименту составит:

$$\frac{dq_1}{dt} = \dot{q}_1 = \delta QVC_r^\alpha C_o^\beta e^{-E/RT}. \quad (4.3)$$

Тепло, выделяемое в процессе горения газовой смеси, частично передается окружающей среде со скоростью теплопередачи ($\dot{q}_2$) от пламенного слоя в окружающее пространство. Процесс горения будет самоподдерживающимся при условии:

$$\dot{q}_1 \geq \dot{q}_2(ST).$$

Здесь записью $\dot{q}_2(S)$ подчеркивается зависимость скорости теплопередачи от величины площади пламенного слоя. Таким образом, для воспламенения газовой смеси необходимо обеспечить выполнение условия:

$$\delta QC_r^\alpha C_o^\beta e^{-E/RT} \geq \frac{\dot{q}_2(ST)}{V}. \quad (4.4)$$

Минимальная температура (T^*), при которой выполняется это условие, и есть температура воспламенения.

Осуществляя поджог газовой смеси в пробирке, по существу, осуществляем разогрев некоторого объема газовой смеси до температуры воспламенения.

С момента выполнения условия (4.4) в газовой смеси срабатывает механизм самоускоряющихся превращений: за счет экзотермичности реакции увеличивается температура смеси, а это приводит к возрастанию $\dot{q}_1$, что ведет к дальнейшему возрастанию температуры. Процесс продолжается до достижения равновесия скорости тепловыделения и теплоотдачи при некоторой температуре горения $T_{\text{гор}}$.

Прилегающий к пламенному слою объем газовой смеси, как только он будет нагрет до температуры воспламенения, вовлекается в пламенный слой, а в прежде горящем пламенном слое горение прекращается за счет израсходования компонентов смеси. Визуальная картина горения газовой смеси в пробирке, если эксперимент проводить реально, убедительно согласуется с приведенным пояснением физики процессов. Скорость распространения пламени по объему газовой смеси зависит от вида горючего и окислителя, а также от исходной температуры и объемной концентрации продуктов горения. В процессе горения из открытого конца пробирки будет истекать газ со скоростью $V_{\text{и}}$:

$$V_{\text{и}} = V_{\text{н}} \left(\frac{T_{\text{п}} \sum_i \gamma_i}{T_{\text{о}} (\alpha + \beta)} - I \right), \quad (4.5)$$

где $T_{\text{п}}$ и $T_{\text{о}}$ – температура продуктов сгорания и исходных продуктов соответственно; $V_{\text{н}}$ – нормальная скорость горения.

Важно отметить, что в записи условия самовоспламенения (4.4) газовой смеси присутствуют геометрические параметры: объем и площадь горючего слоя газовой смеси. Это означает, что температура воспламенения газовой смеси и температура горения не является константой и зависит от геометрических факторов. С уменьшением диаметра колбы отношение S/V снижается, газ в такой колбе надо разогреть до более высокой температуры T^* , чтобы вызвать его воспламенение. Этот эффект, в частности, используется в конструкции шахтерских ламп: во избежание воспламенения руднич-

ных газов от пламени ламп ее кожух изготавливается в виде сетки с мелкими отверстиями.

Еще раз вернемся к соотношению (4.4). Из него следует, что значение температуры газовой смеси не является единственным критерием ее самоподдерживающегося горения. Большое значение имеет концентрация продуктов горения. Если рассматривать беспримесную смесь окислителя и горючего, а их концентрации выражать в процентах от общей массы, то, очевидно, что неравенство (4.4), выражающее условие горения, будет выполняться, если концентрация горючего не превысит определенные пределы. Эти предельные значения концентрации горючего называются *верхним (ВКП) и нижним (НКП) концентрационными пределами горючести смеси*. С увеличением температуры смеси концентрационные пределы расширяются.

Присутствие химически пассивных примесей в горючей смеси снижает концентрационный интервал горючей смеси. С учетом этого горючесть всякой смеси горючего и окислителя может быть представлена в графическом виде, как это показано на рис. 4.3.

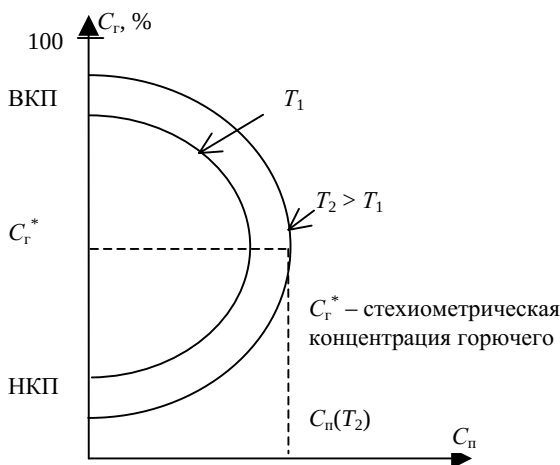


Рис. 4.3

Если смесь является горючей в некоторых пределах концентрации горючего, то она наиболее интенсивно горит при стехиометрическом соотношении концентраций горючего и окислителя.

Особый интерес с позиций пожаробезопасности представляют случаи самовоспламенения некоторых твердых веществ. Самовозгораться могут вещества, в которых при температуре близкой к нормальной возможно протекание экзотермических превращений (разложение, окисление и т.п.). Поведение таких материалов при изменениях температуры внешней среды можно пояснить рис. 4.4.

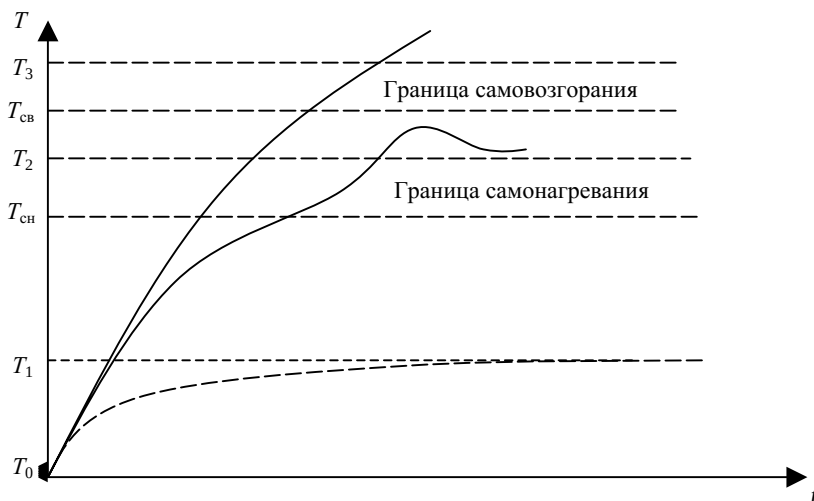


Рис. 4.4

При нагревании материала, способного к самовозгоранию, до температуры ниже некоторого значения $T_{сн}$ (на рисунке, в качестве примера, — до температуры T_1) поведение образца будет обычным: образец со временем нагревается до температуры T_1 и не более. Если же температура нагревания (окружающей среды) немного превысит порог $T_{сн}$ (температуру самонагрева), то в образце начнутся экзотермические превращения, которые приведут к временному превышению его температуры над температурой окружающей среды. Экзотермический ресурс материала при небольшом превышении температуры над уровнем $T_{сн}$ постепенно будет израс-

ходован и температура образца сравнивается с температурой окружающей среды T_2 .

Если же температура образца будет повышена до некоторого уровня $T_{\text{св}}$ (температуры самовоспламенения), то интенсивность экзотермических превращений окажется столь высокой, что выделяемое тепло не успевает рассеиваться в окружающее пространство, материал самопроизвольно разогревается и, в конце концов, возникает горение (верхний график на рис. 4.4).

Нагрев вещества до его температуры самовоспламенения может быть вызван за счет:

- температуры окружающей среды;
- теплового излучения близко расположенных источников тепла;
- химических реакций в массе самовоспламеняющегося вещества;
- микробиологических процессах в веществе, например в стог сена, опилках, торфе и т.п.

Реализация той или иной ситуации зависит от состава материала и условий аккумуляции в нем тепла. Практически частыми случаями самовозгорания являются самовозгорание в промасленной ветоши, торфа, предметов домашнего обихода в контакте с дымоходами отопительных печей и т.п.

Реальные пожары, особенно пожары на объектах производства, нередко сопровождаются взрывами. Проблема пожаро- и взрывобезопасности едина. С позиций этой проблемы взрывы следует определять как горение, проистекающее в специфическом режиме и сопровождающееся образованием ударных волн.

Дефляграционное горение может привести к взрыву лишь в том случае, если оно происходит в замкнутом объеме. Продукты горения за счет высокого давления могут внезапно разрушить стенки емкости и, вырвавшись, ударно воздействовать на окружающую среду. Такие взрывы, по сути, аналогичны взрывам емкостей со сжатым или сжиженным газом.

Существенно отличаются от таких взрывы, порождаемые взрывным или детонационным горением. Ускорение горения как газообразных, так и конденсированных веществ до сверхзвуковых скоростей может быть достигнуто несколькими способами, по крайней мере двумя.

Первый способ – механизм, когда присутствуют в горючей смеси вещества, которые при химических превращениях (в конце горения) способны образовывать промежуточные продукты с повышенной химической активностью (с меньшей энергией активации молекул по сравнению с молекулами исходных продуктов). За счет этого в зоне горения образуются так называемые активные центры и их разветвляющиеся цепочки реакций горения.

Второй способ – механизм детонационного горения. Такой режим горения возникает за счет того, что при детонационной скорости горения на границе слоя горения возникает скачок давления и температуры. Воздействие продуктов горения на приграничные слои взрывчатого вещества приводит к быстрому нагреву, плавлению, испарению и разрыву химических связей этого вещества; другими словами, происходит практически мгновенная подготовка газообразных продуктов горения. Скорость их горения лимитируется только скоростью подготовки этих продуктов, а она определяется в основном скоростью передачи давления из зоны детонации в прилежащие слои взрывчатого вещества.

Типичным примером такого горения является взрыв тротилового заряда. Заметим при этом, что для инициирования взрыва в массе взрывчатого вещества первоначально надо создать зону детонационного горения за счет подрыва небольшого заряда высокочувствительного инициирующего взрывчатого вещества детонатора.

Очевидные поражающие факторы при пожарах – пламя и высокая температура среды, дымовые и другие примеси в воздухе. Вторичными факторами могут быть обрушения, выделение в атмосферу токсичных веществ, взрывы, тепловое излучение зоны горения, способное вызывать ожоги у людей и возгорание близко находящихся объектов.

При взрывах дополнительным поражающим фактором является воздушная ударная волна.

4.3. Основные нормы и правила пожарной безопасности в РФ

Специфичность и высокая значимость пожарной опасности условно обособляет ее в относительно автономный сектор БЖД. Государственное регламентирование пожаро- и взрывобезопасности в РФ проводится с помощью ряда нормирующих актов, посвящен-

ных конкретно этой проблематике. Государством установлены базовые правила обеспечения пожарной безопасности на территории РФ, которые в кратком изложении можно свести к следующим положениям.

1. Уполномоченные органы государственной власти разрабатывают *обязательные для всех предприятий, а также и для всех граждан нормативные правила* пожарной безопасности, осуществляют надзор за их исполнением. Лица, виновные в нарушении правил пожарной безопасности, несут уголовную, административную или дисциплинарную ответственность.

2. *Персональная ответственность* за обеспечение пожарной безопасности на любом объекте (будь то производственное предприятие или поселение) возлагается на их руководителей.

3. На каждом взрыво- и пожароопасном объекте должны быть разработаны и применяться *инструкции о мерах пожарной безопасности*, а также сформированы подразделения пожарной охраны.

4. Все работники предприятий допускаются к работе только после *противопожарного инструктажа*, а для отдельных категорий профессий – и после обучения.

Не видя смысла излагать содержание нормативных *общегосударственных актов по пожарной безопасности* (они весьма объемны!), приведем лишь их неполный список. При этом заметим, что знание фактического содержания этих документов является обязательным для профессионала любого профиля и любого уровня, ответственного за пожарную безопасность предприятия или его производственного участка.

1. Федеральный закон «О пожарной безопасности» № 122-ФЗ от 22.08.2004.

2. Закон Москвы «О пожарной безопасности» № 31 от 21.05.2003.

3. Постановление Правительства Российской Федерации «О государственном противопожарном надзоре» № 820 от 21.12.2003.

4. Постановление Правительства Российской Федерации «О Федеральной противопожарной службе» № 385 от 20.06.2005.

5. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ-01-03). Приказ МЧС РФ № 313 от 18.06.2003.

6. Нормы пожарной безопасности. Пожарная охрана предприятия (НПБ 201-96).

7. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной безопасности (НПБ 105-95).

Вся совокупность вопросов обеспечения пожаро- и взрывобезопасности в РФ решается с помощью специализированной государственной структуры – *пожарной охраны*. Ее состав представлен на рис. 4.5.

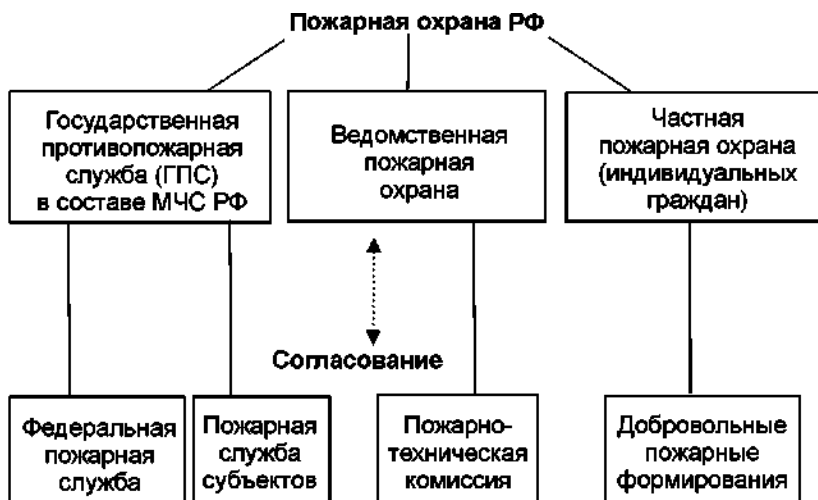


Рис. 4.5

Силы ГПС в пределах определенных территорий сводятся в *гарнизоны пожарной охраны*. Подразделения ГПС комплектуются на штатной основе. Они оснащены необходимой техникой пожаротушения, обучены, находятся в состоянии постоянной готовности к пожаротушению.

Для борьбы с ландшафтными пожарами в лесхозах, на торфопеработках создаются специализированные пожаротушащие подразделения, но для тушения крупных ландшафтных пожаров привлекаются и подразделения ГПС. Тактика тушения ландшафтных пожаров состоит в создании заградительных минерализованных полос вокруг очага пожара перепахиванием земли, рытьем траншей и даже с помощью взрывов. Для гашения горения обычно ис-

пользуется вода. Для ее разбрызгивания применяется мощная техника, в том числе и авиация.

Учитывая предназначение данного учебного пособия, далее приведем краткий обзор правил только производственной пожаро-безопасности, содержащихся в ныне действующих «Правилах пожарной безопасности» (ППБ).

Перечень и уровень требований, предъявляемых к конкретному производственному объекту, зависят, прежде всего, от его функционального назначения. С этой целью все объекты классифицированы на пять групп: Ф1, ..., Ф5. К классу Ф1 относятся детские учреждения, больницы, гостиницы, жилые дома и т.п. К классу Ф2 отнесены объекты досуга: театры, музеи, выставки, клубы и т.п. Производственные помещения относятся к классу Ф5.

В свою очередь, производственные здания и сооружения подразделяются по признаку горючести применяемых в их технологических процессах материалов – категории А, ..., Д. Категория А (взрывоопасная) – наличие взрывчатых или горючих материалов и легко воспламеняющихся жидкостей с температурой вспышки не выше 28 °С. Далее, категория Б (взрыво- и пожароопасная), категория В (пожароопасная), категория Г – наличие негорючих материалов в раскаленном или расплавленном состоянии, категория Д – наличие только негорючих материалов в холодном состоянии.

Материалы относятся к группе горючих, если они способны самостоятельно гореть в атмосферных условиях. Если материал самостоятельно не горит, но способен гореть в смеси с горючими материалами, то он относится к группе трудносгораемых. В противных случаях материал относится к группе несгораемых.

К объектам всякой конкретной категории согласно ППБ предъявляются соответствующие требования по обеспечению их пожаробезопасности. Но существует *перечень инженерно-технических требований*, которые являются общими для всех типов объектов. Чтобы создать представление о них, приведем примеры таких требований.

Требования к территории объекта. Помимо прочих среди них: размер противопожарных разрывов между сооружениями, ширина проезжих дорог и недопустимость их загромождения, места для курения, указатели, облегчающие действия людей в случае пожара, места сбора отходов производства и порядок их уничтожения и т.д.

Требования к зданиям и помещениям. Среди них: ширина коридоров, количество выходов, указатели направлений к запасным выходам, направления открывания дверей (от себя при выходе), наличие огнестойких контейнеров для сбора отходов, склонных к самовозгоранию и т.д.

Требования по пожаробезопасности электроустановок. Они даны в гл. 3.

Требования к системам вентиляции, водоснабжения (на случай пожара), отопления, по количеству средств пожаротушения и др. Вопрос о средствах пожаротушения заслуживает повышенного внимания.

Помимо инженерно-технических мер обеспечения пожаробезопасности на каждом объекте в обязательном порядке осуществляются меры по ее поддержанию. К числу таковых относятся: регулярный противопожарный надзор, установление и поддержание противопожарного режима в помещениях, проверки укомплектованности противопожарных щитов, организация системы оповещения, поддержание способности работающего персонала к действиям при пожаре и т.п.

Из вышеизложенного рассмотрения процесса горения понятно, что тушение пожара, другими словами прекращение горения в зоне пожара, может достигаться несколькими способами, сущность которых состоит в одном из трех следующих механизмов:

1) охлаждение зоны горения за счет подачи в нее несгораемых веществ с высокой удельной теплоемкостью;

2) изменение концентрации газообразных продуктов в зоне горения (горючего и окислителя) с тем, чтобы соотношение этих концентраций оказалось за пределами концентрационных пределов горения;

3) торможение горения химическим путем за счет смешения продуктов горения флегматизирующими химически активными добавками.

Наиболее распространенным огнетушащим средством является вода. Попадая в зону горения, вода испаряется и за счет высокой теплоты парообразования способна существенно снижать температуру зоны горения. Кроме того, пары воды снижают концентрацию продуктов горения, а смачивая поверхность горючих материалов,

препятствует поступлению их газообразных продуктов в зону горения.

Однако вода в качестве огнетушащего средства обладает некоторыми недостатками: она способна химически, с выделением тепла, взаимодействовать с некоторыми веществами (щелочные, щелочно-земельные) и, кроме того, она электропроводна, чем ограничивается ее применение при тушении пожаров на электроустановках. При вынужденном тушении водой таких пожаров пожарные стволы должны быть заземлены, а ствольщики (пожарники) должны быть в диэлектрических ботах и в диэлектрических перчатках.

Вторым по распространенности средством пожаротушения является углекислота. Диоксид углерода не электропроводен, химически не взаимодействует с горящими материалами, поэтому он может применяться при тушении пожаров на электроустановках, а также в музеях, архивах и других аналогичных объектах, когда фактор спасения материальных ценностей имеет повышенную значимость.

Эффективные средства пожаротушения – пенные и порошковые составы. Они широко используются в ручных и передвижных огнетушителях, которые рассчитаны на применение в начальной стадии возникшего пожара. Следует иметь в виду, что подобные огнетушители имеют небольшой ресурс (от полуминуты до двух минут), дальность струи до пяти метров; одним таким огнетушителем можно погасить пламя на площади до 10 кв. м.

При возникновении пожара на объекте всем гражданам рекомендуются следующие правила действий.

1. Подать сигнал пожарной безопасности, сообщить о пожаре в противопожарную службу.

2. При тушении пожара:

- к тушению пожара приступить немедленно, используя огнетушители или подручные средства, воду, куски плотной ткани и т.п.;
- в горящем помещении окна и двери не открывать;
- огнегасящие вещества направлять в места наиболее интенсивного горения и не на пламя, а на горящую поверхность;
- если горит вертикальная поверхность, то воду подавать на верхнюю ее часть;
- в задымленном помещении водяную струю распылять, что способствует осаждению дыма;

- если в зоне горения находятся элементы электрохозяйства, то следует предварительно отключить подачу электроэнергии;
- для защиты от угарного газа дышать через влажную ткань;
- при возгорании одежды не бежать, а упасть и сбивать пламя, перекатываясь;
- если огонь потушить не удастся, покинуть помещение, по возможности, закрыв окна, двери.

3. При спасении пострадавших из горящих помещений:

- перед входом в помещение облиться водой, накрыться с головой мокрой тканью;
- в задымленном помещении двигаться ползком или пригнувшись, внизу концентрация дыма меньше;
- увидев человека в горящей одежде, эвакуировать его, накинув на него плотную ткань;
- при сильном задымлении действовать парами, в связке, постоянно перекликаясь;
- при спасении детей учитывать, что они от страха часто прячутся под кровати, в шкафы и т.п.

Согласно Федеральному закону «О пожарной безопасности» граждане обязаны:

- при обнаружении пожара немедленно уведомлять о них пожарную охрану;
- до прибытия пожарной охраны принимать посильные меры по спасению людей, имущества и тушению пожара;
- оказывать содействие пожарной охране при тушении пожара.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о классификации пожаров.
2. Дайте определение ландшафтному пожару.
3. Поясните классификацию видов горения.
4. Напишите условия, при которых процесс горения будет самоподдерживающимся.
5. Расскажите о правилах действия при возникновении пожаров.
6. Приведите перечень инженерно-технических требований «Правил пожарной безопасности».

Глава 5

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ ОПАСНОСТИ

5.1. Начальные представления о чрезвычайных опасностях

Обстоятельства жизни и деятельности любого человека, а следовательно, и любого сообщества людей непрерывно изменяются. Неизбежны случаи такого сложения обстоятельств, которые будем далее обозначать термином «чрезвычайно опасные происшествия».

Чрезвычайно опасным происшествием (ЧОП) условимся называть внезапное стечение обстоятельств жизнедеятельности, приводящее к гибели людей, к значительному материальному или экологическому ущербу.

Рассмотрим сравнительно ограниченную группу чрезвычайно опасных происшествий, которую обособим по признаку порождающего их фактора, а именно:

- техногенные;
- экогенные (природные, по-иному – стихийные);
- социогенные (по-иному – антропогенные), в том числе и прежде всего военного времени.

При необходимости сделать акцент лишь на наличии угрозы будем использовать термин «чрезвычайно опасная ситуация», а в случаях акцента на факт поражения – термин «чрезвычайно опасное событие».

Обрушения, пожары, взрывы, наводнения, ураганы, террористические акты, вооруженные конфликты... О многочисленных подобных происшествиях каждый узнает ежедневно из средств массовой информации. И следует отметить: натиск этих монстров бытия не ослабевает, наоборот, постоянно усиливается.

В РФ принята классификация чрезвычайно опасных событий мирного времени по признаку размера негативных последствий [16, 17, 19] (Постановление Правительства РФ от 13 сентября 1996 г. № 1094). Эта классификация дана в табл. 5.1.

Таблица 5.1

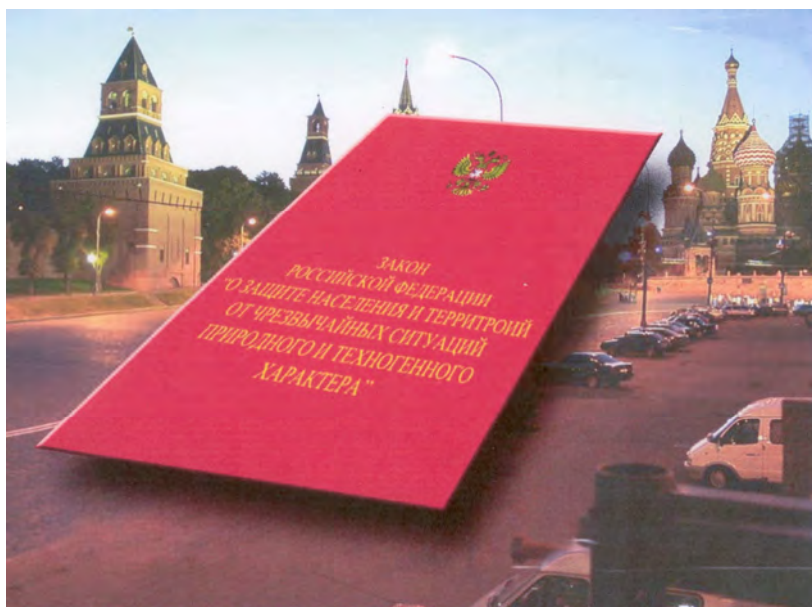
Ранг	Определение ЧС	Полный ущерб, МРОТ	Количество пострадавших, чел.	Нарушены условия жизнедеятельности, чел.	Уровень управления ЧС
1	Локальная ЧС	< 1 тыс.	< 10	< 100	Руководство организации
2	Местная ЧС	1 – 5 тыс.	10 – 50	100 – 300	Органы местного самоуправления
3	Территориальная ЧС	5 тыс. – 0,5 млн	50 – 500	300 – 500	Исполнительная власть субъекта РФ
4	Региональная ЧС	0,5 млн – 5 млн	50 – 500	500 – 1000	Исполнительная власть субъектов РФ
5	Федеральная ЧС	> 5 млн	> 500	> 1000	Исполнительная власть субъектов РФ
6	Трансграничная ЧС	–	–	–	Правительство РФ

В современном мире человек в одиночку не способен противостоять чрезвычайно опасным происшествиям. Это обременение принимают на себя современные государства. В РФ в структуре федеральных органов, под патронажем МЧС состоят две нацеленные на это системы:

- система гражданской обороны (на условия военного времени);
- РС ЧС (такой аббревиатурой называется Российская система по предупреждению и действиям в чрезвычайных ситуациях (в условиях мирного времени)).

Принципы организационного построения и функционирования этих федеральных систем будут изложены далее в процессе рассмотрения особенностей отдельных чрезвычайно опасных происшествий [35].

Чрезвычайные опасности многообразны. В каждом регионе с учетом специфических особенностей режима жизнедеятельности имеет место соответствующий набор чрезвычайных опасностей. В поле зрения государственных структур, обеспечивающих безопасность, состоят опасности, перечень которых применительно к г. Москве в качестве примера приведен на рис. 5.1.



ОСНОВНЫЕ УГРОЗЫ БЕЗОПАСНОСТИ В г. МОСКВЕ



Рис. 5.1

5.2. Химические чрезвычайно опасные происшествия

5.2.1. Особенности химического поражения человека

В доиндустриальную эпоху человечество жило в окружении большого разнообразия природой созданных веществ. Некоторые из них в силу их химических свойств обладают способностью губительно воздействовать на человеческий организм (кстати сказать, и не только на человеческий, а и на иные организмы). Примеры таких веществ: сероводород, аммиак, окись углерода и т.д. Однако природные химические вещества в современной жизни создают мизерную долю химической опасности.

Человечество ныне может синтезировать около 10 млн веществ, прежде не известных природе. Из них 50 тыс. производится в значительных количествах, а 5 тыс. – в особо больших количествах, сотнями тысяч и даже миллионами тонн в год. Многие из них относятся к токсичным веществам, т.е. создают химическую опасность, в том числе порождают химические чрезвычайно опасные происшествия [25 – 27].

Токсичные вещества – вещества, которые при действии на человеческий организм вызывают в нем нарушение процессов обмена веществ, физиологических функций органов и, как следствие, вред здоровью или смерть.

Химическая опасность обусловлена токсичностью веществ; а химические чрезвычайно опасные происшествия могут состояться:

- в результате аварий на объектах производства, в технологических процессах которых участвуют токсичные вещества;
- при террористических актах;
- в условиях войн.

Химическую опасность следует отнести к продукту человеческой деятельности. Технологические процессы значительной части современных промышленных предприятий можно отнести к химически опасным. Значимость фактора химической опасности жизнедеятельности четко проявилась на рубеже XIII – XIX вв., когда началось бурное развитие текстильной промышленности и массовое производство отбеливающих и красящих веществ, в первую очередь серной кислоты, хлора, соды, анилина, азотной кислоты.

Затем началось бурное развитие нефтегазоперерабатывающих и иных химических производств.

Общее число наименований ныне известных токсичных веществ составляет несколько сотен тысяч. Более того многие вещества, которые традиционно считаются нетоксичными, в определенных условиях становятся токсичными. Например, кислород воздуха, будучи жизненно необходимым, при его избытке становится ядом. То же можно сказать о многих лекарствах.

Из обширного списка токсичных веществ выделяется группа так называемых вредных веществ. *Вредными веществами* (по иной терминологии – *опасными химическими веществами – ОХВ*) называются токсичные вещества, используемые в современном производстве и способные в контакте с человеком вызывать травмы, заболевания, ухудшение здоровья, обнаруживаемые сразу или в отдаленные сроки, в том числе и в поколениях пораженных. К ним относятся около 60 тыс. различных веществ, большая часть которых искусственно получена.

Большинство вредных веществ являются малораспространенными и поэтому слабо опасными. Поэтому из числа вредных веществ выделяется группа аварийно химически опасных веществ. *Аварийно химически опасными веществами (АХОВ)* называются вредные вещества, которые используются в производственных процессах в значительных количествах и при авариях способны заражать окружающую среду, а через нее вызывать массовое поражение людей. Прежде, по изжившей себя терминологии, АХОВ именовались сильнодействующими ядовитыми веществами (СДЯВ). В списке АХОВ состоит несколько сотен их наименований. К их числу относятся, например, хлор, аммиак, сернистый ангидрид, иприт, метилизоцианат, диоксид, фосген, фтористый водород и др.

Наконец, следует выделить еще одну, более малочисленную, группу веществ – *отравляющие вещества (ОВ)* – такие АХОВ, которые с учетом их физико-химических свойств могут быть использованы для преднамеренного массового поражения людей при террористических актах или при ведении военных действий. К ним относятся около трех десятков наименований веществ.

Таким образом, по признаку токсичности иерархия веществ может быть приведена к схеме, показанной на рис. 5.2.

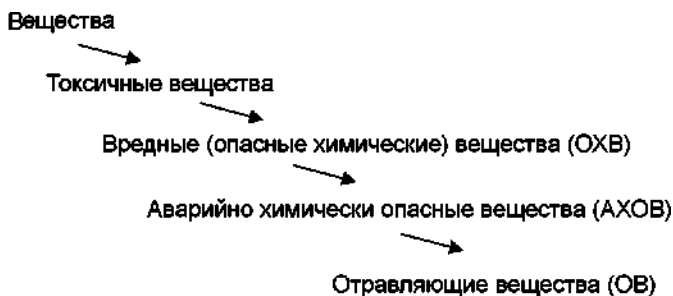


Рис. 5.2

Вредные вещества могут поступать в окружающие среды и попасть в организм людей либо с водой и пищей (перорально), либо с воздухом (ингаляционно), либо через кожу (резорбтивно). Последующее отравление организма вредными веществами именуется интоксикацией. Симптомы интоксикации многообразны:

- либо острые химические отравления с признаками – слабость, тошнота, повышение температуры, головная боль, рвота, судороги, нарушение сознания;
- либо хронические болезни – туберкулез, язвы, гепатит, экзема, гиподинамия, сердечно-сосудистые заболевания;
- либо мутагенные эффекты – поражение детородных органов, рождение от пораженных неполноценных потомков.

Развитие биологии, медицины показывает, что *химическим способом можно вызвать практически любую патологию*, известную современной медицине. Химическая опасность более многолика, более распространена, чем радиационная, воспринимаемая людьми как специфическая.

Специфика последствий химического поражения обусловлена:

- многообразием токсических веществ;
- разнообразием механизмов и временной картины развития поражения;
- неизвестностью симптомов поражения для непрофессионалов (особенно в начальном периоде развития происшествия);
- внезапностью инцидентов, необходимостью экспрессного определения параметров очага поражения;

- при преднамеренных химических атаках возможностью инцидентов в непредвиденных местах, как правило, в местах массового присутствия людей и др.

По физиологическому воздействию на организм человека вредные вещества подразделяются на разновидности.

Вредные вещества общеядовитого действия. Это – цианистый водород (или по-иному – синильная кислота), хлорциан, окись углерода, сероводород, мышьяковистый водород, фтористый водород и др. При попадании их внутрь организма с воздухом, водой или пищей симптомы поражения человека с возрастом тяжести поражения образуют такую череду: металлический вкус во рту, слабость, головокружение, головная боль, затрудненность дыхания, рвота, угнетенность сознания, судороги, потеря сознания, смерть. Трагический исход может наступить через несколько минут (иногда в молниеносной форме) или спустя часы и сутки мучительных страданий. У выживших после сильных отравлений «в осадке» остаются головные боли, нарушение умственной работоспособности, сна, параличи и т.п. Наиболее поврежденной оказывается центральная нервная система.

Вредные вещества удушающего действия. Это – фосген, дифосген, хлорпикрин, аммиак, хлор и иные галогены, фториды хлора и серы и многие др. Поражение ими происходит ингаляционно. Поражаются ткани легких, при этом в них нарушается газообмен, перегружается сердечная мышца и при определенной дозе воздействия – смерть, которая может наступить через стадию отека легких, спустя одни сутки или более. При легкой степени поражения проявляется раздражающее действие яда, с повышением степени поражения через несколько часов развивается отек легких, явными признаками которого являются кашель, выделение пенистой мокроты, посинение кожи, в последующем – легочные патологии, при высоких концентрациях смерть может наступить мгновенно – от недостатка кислорода развивается паралич органов дыхания, пораженный погибает в судорогах.

Вредные вещества нервно-паралитического действия. Это – табун, зарин, зоман, другие фосфорорганические вещества (ФОВ). Поражают нервную систему, вызывают судороги, параличи. Эта разновидность ОХВ является самой коварной из всех известных ОХВ. Впервые они были синтезированы в Германии и находились

на вооружении германской армии до конца Второй мировой войны, а затем их производство было сосредоточено в США. Они способны проникать сквозь одежду, вызывать поражения через органы дыхания, кожные покровы, слизистые, через желудочно-кишечный тракт. Их применение возможно в любых климатических условиях. Наиболее типичная симптоматика поражения человека ОХВ нервно-паралитического действия состоит в следующем наборе признаков: насморк, нарушение зрения, затрудненное дыхание, потовыделение, слюноотделение, судороги, спазмы, гипертермия, параличи, угнетение центральной нервной системы. При поражении через рот – тошнота, рвота, боли по всему животу, расстройство желудочно-кишечного тракта, органов дыхания и сердечной деятельности. Эти ОХВ обладают специфической поражающей способностью, они подавляют активность биологических катализаторов нервной системы, работа мышц внутренних органов становится бессознательной, нерегулируемой.

Вредные вещества кожно-нарывного действия. Они вызывают поражение кожных покровов, а через кожу и иные поражения внутренних органов человека с возможными летальными исходами. В эту группу веществ объединяются преимущественно стойкие, в нормальных условиях – жидкие ОХВ. Основным путем поражения ими – через кожные покровы, с образованием язв; естественно, в еще большей степени они способны поражать глаза, дыхательные пути и пищеводы, а также внутренние органы. Эти ОХВ способны вызывать смертельное поражение людей, но преднамеренное применение и злонамеренное их применение обычно строится в расчете на временное, несмертельное поражение людей, на длительный период зараженности местности и долго сохраняющиеся печати состоявшегося поражения людей. К числу данных веществ относятся иприт (в связи с характерным запахом в США его называли «горчичным газом»), а также люизит – еще более токсичное вещество, к тому же при поражении им инкубационный период практически отсутствует.

Вредные вещества раздражающего действия. Это – хлорпикрин, адамсит, газ CS. Эти вещества вызывают безинкубационно слезотечение, боли в глазах, чихание, кашель, зуд и другие раздражения ограниченной продолжительности, с маловероятной летальностью. Некоторые из них используются в качестве «полицей-

ских» газов. Высокие концентрации этих веществ могут вызывать тяжелые, вплоть до летальных, поражения внутренних органов людей.

Вредные вещества психотропного действия. Эти вещества вызывают психические аномалии в поведении людей: страх, неуверенность, оцепенение, галлюцинации, панику, психоз. Эти эффекты, как правило, проходящие. Известным в военной практике таким ОХВ является ОВ «Би-Зет».

Токсины. Это – специфическая разновидность ядовитых веществ. Этим термином называются вещества, вырабатываемые некоторыми видами растений, животных, микроорганизмов (упрощенно говоря, яды), способные при внесении в организм человека специфически поражать его, в том числе с летальным исходом. С целью поражения людей токсинные средства могут распыляться в воздухе, ими может быть отравлена вода, пища, они могут быть внедрены в тело человека вместе с осколками взрываемого боеприпаса. Токсинное оружие не может быть отнесено к биологическому оружию (на нем остановимся позже), отличительным признаком последнего является использование болезнетворных организмов для инициирования инфекционных болезней, т.е. эпидемий.

Приведенная классификация вредных веществ традиционно заимствована у военных, поле зрения которых обычно ограничивается отравляющими веществами. Фактически механизмы химического поражения не исчерпываются приведенным перечнем, они более многообразны, среди них встречаются даже экзотически редкие.

5.2.2. Химическая опасность в современных условиях жизнедеятельности

Ранее отмечалось, что химическая опасность для человека может быть порождением производственных аварий, диверсионных или военных действий. Кратко рассмотрим специфические особенности возможных химически опасных ситуаций различного происхождения с учетом ныне сложившихся условий жизнедеятельности.

Химическая опасность в условиях войн. Отдельные попытки применить ядовитые вещества в военных целях имели место на протяжении всей долгой истории войн. Однако массированное

применение химического оружия для решения боевых задач специально созданными средствами было впервые осуществлено только в годы Первой мировой войны. К концу 1914 г. фронты воюющих государств стабилизировались. Их войска зарылись в землю, оградились оборонительными системами. Преодоление таких полос в наступательных операциях требовало затраты огромного количества боеприпасов, больших человеческих жертв. Военные штабы искали способы изменить военную ситуацию в свою пользу. Первооткрывателем подходящих для этого химических средств вооруженной борьбы явилась кайзеровская Германия.

«Первой ласточкой» химической войны можно назвать применение германской армией в конце сентября 1914 г. артиллерийских снарядов с относительно безобидным снаряжением раздражающими ОВ. Первая масштабная химическая атака германских войск на позиции англо-французских войск состоялась 22 апреля 1915 г. Этот день вошел в историю как «черный день у Ипра». На линии фронта шириной 6 км вдоль реки Ипр немецкие войска выпустили из 5730 баллонов 180 т хлора. Образованное зеленовато туманное облако вдоль поверхности земли через 5 – 8 мин накрыло позиции французских войск на глубину около километра. Находившиеся на этих позициях солдаты и офицеры неожиданно стали задыхаться в волне ядовитого хлора. Хлор обжигал органы дыхания, разъедал легкие. Пораженные газом падали, непораженные, охваченные паникой, бежали. В результате этой газовой атаки было отравлено 15 тыс. чел., из которых 5 тыс. умерли на поле боя, а половина из оставшихся в живых стали инвалидами.

Небезынтересен первый случай газовой атаки немецкими войсками позиций русских войск 31 мая 1915 г. Тогда на ширине фронта в 12 км было выпущено 264 т смеси хлора и фосгена. Немецкая пехота, уверенная в успехе, пошла в атаку вслед за облаком ядовитого газа. Однако пятикратные немецкие атаки того дня на этом участке фронта были отбиты обороняющимися частями и подходящими резервами русских войск. На позициях русских войск в тот день было поражено около 9 тыс. чел., из которых свыше тысячи со смертельным исходом.

Вскоре после этих случаев на полях боев появилось химическое оружие дальнего действия – артиллерийские снаряды, а также новые химические вещества с заданными тактическими свойствами

(по скорости поражающего воздействия, по продолжительности и т.п.). Отравляющие вещества стали применяться и против германских войск.

В общей сумме промышленностью всех воевавших государств за годы Первой мировой войны было произведено около 180 тыс. т ОВ, из них на полях боев – 125 тыс. т. Общее количество пораженных в те годы химическим оружием оценивается в 1,3 млн чел., в том числе до 100 тыс. чел. со смертельным исходом.

Международной конвенцией 1925 г. было запрещено применение химического оружия в войне. Этот договор в значительной мере способствовал неприменению его в военных действиях, имевших место в период после окончания Первой мировой войны, в том числе в период Второй мировой войны. Тем не менее все эти годы во многих государствах велись разработки все более и более новых видов ОВ, продолжалось производство и накопление химических боеприпасов, что, кстати, не запрещалось конвенцией 1925 г. Имели также место случаи немасштабного или завуалированного применения химического оружия в боевых действиях со стороны Италии в Эфиопии, со стороны Японии в Китае, со стороны США во Вьетнаме и др. В минувший период глобальной международной напряженности в арсеналах некоторых государств (прежде всего – США и СССР) были накоплены огромные запасы химических боеприпасов.

Приведем пример технического усовершенствования химического оружия в период международной напряженности. В 70-х годах минувшего столетия в информационных средствах западных стран появились термины «бинарные отравляющие вещества», «бинарное химическое оружие». Специфика этого оружия состоит в том, что в них исходные химические компоненты представляют нетоксичные или малотоксичные вещества, ими отдельно начинаются боеприпасы (снаряды, бомбы и т.п.) и при доставке к цели они, смешиваясь, образуют токсичное вещество.

В 1993 г. Россией была подписана «Международная конвенция о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении». Ныне большинство стран мира присоединились к этому договору, интенсивно ведутся работы по уничтожению накопленных запасов химического оружия, в том числе и в России. Технология этих работ – сложная и

дорогостоящая, уничтожение химического оружия займет еще несколько лет.

И еще: не все страны подписались под этим договором и делают это сознательно, с некоторой аргументацией. Более того можно заметить, что всякий договор, в том числе и международный, – акт условный, и в определенных условиях он может быть расторгнут. Кстати говоря, Германия в 1914 г., решаясь на применение химического оружия, нарушила соглашения Гаагских конференций 1899 и 1907 гг., признававших использование химических средств в вооруженной борьбе аморальным.

Химическая опасность при террористических актах. Террористические акты заставили мир более пристально и серьезно взглянуть на проблему обеспечения безопасности населения. Относительная доступность токсичных веществ, возможность их по существу кустарного подпольного производства и ряд иных особенностей делают химические средства крайне привлекательными для использования террористами в качестве оружия массового поражения людей.

После Второй мировой войны научные и технологические разработки в области ОВ были рассекречены, доступ к ним стал открытым. Этим воспользовались многие страны для производства на их основе различных средств защиты растений, лекарств, средств бытовой химии и т.д. Вместе с этим возросли возможности диверсионных группировок приобрести опасные химические вещества.

Террористические акты осуществляются, как правило, с расчетом на запугивание населения, на формирование у людей ощущения своей незащищенности. Террористы заинтересованы в афишировании результатов своих чудовищных актов, и вспышки паники, страха как нельзя лучше способствуют этому. Приведем некоторые примеры совершенных в последние годы террористических актов.

В 1994 и 1995 гг. членами секты «Аум Синирике» совершены акты с применением зарина в японском городе Мацумото и в токийском метро. В первом случае погибли 7 чел. и 280 госпитализированы, во втором случае погибли 12 чел. и 5500 чел. получили поражение различной степени. Эти инциденты по сути дела являются началом новой эры терроризма. В 1997 г. в торговом центре Сиднея были взорваны две бомбы, начиненные хлором. Число пораженных было 500 чел. За последние 10 лет в различных странах

мира были предотвращены неоднократные подготовленные террористические акты с применением химических средств.

При совершении террористических актов наиболее вероятно применение ОХВ, обладающих наибольшим ингаляционным или кожно-нарывным действием, не обладающих инкубационным периодом, способных быстро создавать опасные концентрации в воздушной среде, которые нетрудно изготовить полукустарно или приобрести под видом использования для бытовых нужд. Немаловажными являются также возможность скрытного хранения и транспортировки, простота перевода в боевое состояние.

Из большого разнообразия веществ химической природы, использование которых возможно при осуществлении террористических актов, наиболее вероятными являются те, которые могут переходить в воздушную среду в парообразном, или капельно-жидком состоянии. В результате применения такого ОХВ образуется облако, которое называется *первичным*. Если в нем присутствуют капли ОХВ, то они, испаряясь, формируют *вторичное облако* очага химического поражения. Масштаб химического загрязнения определяется площадью зоны химического загрязнения, которая включает в себя район применения ОХВ и зону распространения облака (первичного и вторичного).

Большая потенциальная опасность создается возможностью использования террористами токсинов для отравления воды, продовольствия, даже если этот факт будет установлен немедленно и лечебные мероприятия начнутся сразу, некоторые токсины способны вызвать 50 %-ный летальный исход пораженных.

Понятно, что для осуществления террористических актов подходящими ОХВ являются практически все боевые отравляющие вещества, о которых шла речь ранее. Но боевые отравляющие вещества, как представляется, находятся под пристальным контролем государственных органов, чем осложняется, но не исключается, их приобретение террористами. В то же время в технологических процессах современных производств используются и иные токсичные вещества, подходящие для осуществления коварных планов террористов, они по ходу изложения уже упоминались.

Конечно, кроме опасных химических веществ террористами могут быть использованы и иные средства: взрывчатые вещества, захват заложников, убийства, диверсии и т.д. Все это учитывается

при организации борьбы с терроризмом, но в данном случае делаем акцент на специфической форме возможных террористических актов – на применении химических отравляющих веществ. Учитывая высокую значимость проблемы защиты населения от такой опасности, в 1999 г. решением Федеральной антитеррористической комиссии РФ принята целенаправленная «Концепция» обеспечения безопасности в ситуациях возможного применения террористами опасных веществ и средств массового поражения.

Техногенная химическая опасность. В технологических процессах современных производств циркулирует огромное число различных химически активных веществ. Многие из них токсичны, а некоторые ядовиты. В целях интенсификации производства повышаются рабочие параметры технологических процессов – температура, давление, объемы рабочих реакторов, количество продукции в отдельных аппаратах и на производственных площадках. Производственные комплексы размещаются, как правило, в местах массового проживания людей или поблизости от них. Перечисленные особенности современных производств обуславливают соответствующий масштаб их опасности с токсическими признаками.

Принятие мер по предотвращению патогенного воздействия токсичных веществ на людей не гарантирует безопасности обращения с ними. Соответствующая опасность не может быть сведена к абсолютному нулю.

Проблему обеспечения химической безопасности химически опасных объектов производства принято рассматривать в двух аспектах.

Первое. Защита персонала и населения в условиях нормальной (неаварийной) работы объекта, т.е. в рамках «охраны труда». Эта часть проблемы обычно решается путем нормирования допустимых пределов воздействия на человека вредных веществ и соблюдения правил обращения с вредными веществами.

Второе. Защита людей в условиях аварийного выхода химически опасных веществ в окружающую среду и возникающей при этом угрозы поражения людей. Эта составляющая обеспечения химической безопасности предполагает создание резервов сил и средств, предназначенных для проведения спасательных и аварийно-восстановительных работ в очагах возможных аварий на химически опасных объектах.

Пространственно-временную картину химического заражения окружающей среды (воздуха, воды, земной поверхности) при аварии на химически опасном объекте можно спрогнозировать, рассматривая диаграмму состояния ОХВ, находящегося на объекте. Практически всякое вещество в зависимости от внешних условий может находиться в одном из трех состояний: твердом, жидком или газообразном. Упрощенно диаграмма состояний может быть представлена в виде, представленном на рис. 4.3. Понятно, что всякое вещество имеет свою, индивидуальную, диаграмму состояний. Особой точкой диаграммы является точка *C*, называемая *критической*. При температуре выше критической вещество не может быть переведено в жидкое состояние. При такой температуре вещество приобретает свойства, стирающие различие между жидким и газообразным состояниями.

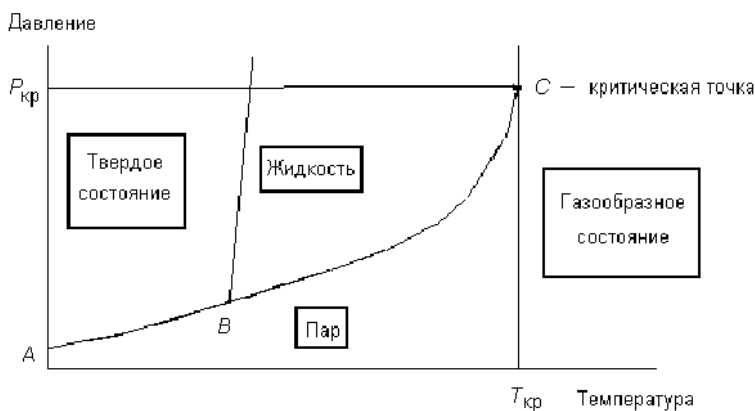


Рис. 5.3

Для некоторых веществ температура, при которой происходит их разложение на газообразные продукты, ниже, чем температура, которой соответствует точка *B*. Такие вещества могут находиться только в твердом или газообразном состоянии.

Хранить, транспортировать вещества в газообразном состоянии крайне не рентабельно, хотя и часто практикуется. С учетом этого те вещества, которые в обычных условиях окружающей среды являются газом, сжижают. Это достигается сжатием или охлаждением веществ, и тогда их термодинамические параметры (давление и

температура) будет отличаться от параметров окружающей среды. В еще большей степени фактические параметры веществ могут отличаться от параметров окружающей среды во всевозможных реакторах предприятий. Все это становится фактором повышения опасности обращения с такими веществами, в частности химической опасности, если они токсичны.

Поведение ОХВ при авариях на производственных объектах определяется диаграммой состояния вещества, фактическими параметрами вещества (давлением и температурой) и параметрами окружающей среды, прежде всего ее температурой (она в различных местах земного шара изменяется в диапазоне от -40 до $+50$ °C). С этих позиций (по специфике поведения при авариях) практически все вещества можно разделить на четыре характерные категории, различающиеся поведением вещества в процессе гипотетических аварий (рис. 5.4).

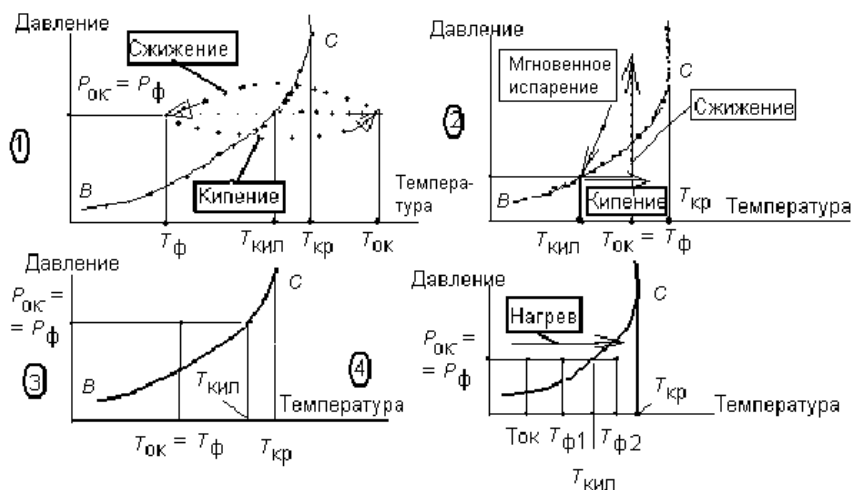


Рис. 5.4

Вещества первой категории. У них критическая температура ниже температуры окружающей среды. Чтобы такое вещество перевести в жидкое состояние, его необходимо охладить до некоторой температуры $T_{ф}$, которая, естественно, должна быть ниже температуры кипения при нормальном атмосферном давлении $T_{кип}$ (см.

рис. 5.4) Технология хранения таких веществ основывается на использовании высококачественной термоизоляции. Примерами таких веществ могут служить метан ($T_{кр} = -82\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{кип} = -164\text{ }^{\circ}\text{C}$), азот ($T_{кр} = -147\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{кип} = -147\text{ }^{\circ}\text{C}$).

При аварийной разгерметизации сосудов с жидкостями данной категории часть жидкости мгновенно испаряется, ее температура при этом повышается до температуры кипения, если до того она имела более низкую температуру. Оставшаяся часть жидкости перейдет в режим стационарного кипения. Скорость последующей газификации зависит от скорости подвода тепла к кипящей жидкости и, следовательно, от площади ее разлития.

Вещества второй категории. У них критическая температура выше, а температура атмосферного кипения ниже температуры окружающей среды. При нормальных атмосферных условиях эти вещества являются газообразными, точнее парообразными. Аммиак, хлор – примеры таких веществ. Сжижение этих веществ может быть осуществлено их сжатием, что в практике чаще всего и реализуется, хотя возможно их сжижение и за счет охлаждения. При разгерметизации сосудов со сжиженным путем сжатия веществом данной категории часть жидкости мгновенно испарится (а не газифицируется, как в предыдущем случае), а оставшаяся часть при этом будет охлаждена до температуры кипения и будет испаряться за счет подвода тепла из окружающей среды. Если же сжижение вещества данной категории было произведено путем охлаждения, то при разгерметизации емкости его поведение будет аналогичным с веществом первой категории (см. рис. 5.4).

Вещества третьей категории. У них критическая температура и температура кипения выше температуры окружающей среды. Примерами таких веществ являются диоксид, кислоты, к ним относятся и вода. При разлитии таких веществ, происходит их испарение до достижения равновесия паров и жидкости. Скорость испарения будет существенно зависеть от скорости ветра (см. рис. 5.4).

Вещества четвертой категории. К ним относятся вещества третьей категории, но находящиеся при повышенных температуре и давлении. В случае разгерметизации сосудов с таким веществом в окружающую среду оно поступит в виде горячих брызг и пара. Эти примеси в дальнейшем будут разноситься средой, конденсиро-

ваться, осаждаться. Затем поведение этих веществ не будет отличаться от поведения веществ третьей категории (см. рис. 5.4).

Картину возможных химических аварий можно составить из описания катастрофического происшествия на химическом предприятии в индийском городе Бхопал 2 декабря 1984 г. Этот случай признается самой крупной химической аварией за всю историю развития мировой промышленности. В то роковое воскресенье, в 23.00, на заводе, производившем пестициды, операторы обнаружили повышение давления в резервуара, содержащем 41 т газообразного метилизоцианата. Вскоре произошел разрыв стенки резервуара и около 35 т метилизоцианата вышло в атмосферу, образовав разползающееся вдоль поверхности земли облако. Последующее расследование показало, что население города (в Бхопале проживало около 800 тыс. чел.) не было готово к подобной беде, персонал завода не был должным образом обучен, медики не были готовы к проведению спасательных работ в очаге массового химического отравления. Положенных токсикологических исследований по метилизоцианату на случай аварий не проводилось.

Метилизоцианат является высокотоксичным веществом, в несколько раз токсичнее хлора, фосгена и других известных отравляющих веществ. Он поражает, прежде всего, легкие, желудок, печень. В ночных условиях аварии жители города в большей части находились в состоянии сна. Основную часть пораженных составили жители нижних этажей жилых домов. Многие из них погибли, не выходя из состояния сна. По разным источникам число погибших составило от 5 до 10 тыс. чел., число людей, получивших отравление, составило около 200 тыс. чел.

Установлено, что первопричиной аварии явилась вода, попавшая в резервуар случайно или с целью саботажа. В любом случае роковую роль сыграл человеческий фактор.

5.2.3. Количественные характеристики токсичности веществ

Степень опасности токсичных веществ принято выражать специальными критериями. Такие критерии основаны на представлении о концентрации вещества в окружающей среде и продолжительности его воздействия на человеческий организм. Концентрацию выражают массой токсичного вещества в единице объема или

в единице массы вещества окружающей среды ($\text{мг}/\text{м}^3$, $\text{мг}/\text{кг}$ и т.п.). Доза чаще всего выражается численным значением произведения концентрации на продолжительность пребывания человека в химически зараженной среде (например, выраженной в $(\text{мг} \cdot \text{мин})/\text{м}^3$); иногда дозу выражают количеством вещества, попавшего внутрь организма, иногда в пересчете на единицу массы организма. В зависимости от целей рассмотрения проблемы химической опасности используются разные количественные критерии. Приведем основные из них.

Пороговая концентрация (РС) – минимальная концентрация, которая может вызвать ощутимый физиологический эффект. Подверженные воздействию токсичных веществ при их пороговой концентрации лишь ощущают признаки воздействия, не утрачивая работоспособности и тем более здоровья.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – такая концентрация любых вредных веществ в окружающей среде (чаще всего в воздухе, но при необходимости и в других средах – воде, пищевых продуктах, почве и иных веществах), при которой риск нарушения здоровья не превышает законодательно установленных пределов. Различают ПДК непрерывного режима воздействия (для населения), ПДК рабочих зон (для профессионалов), ПДК разового кратковременного режима воздействия продолжительностью 5 – 15 мин.

Средняя летальная концентрация (LC_{50}) – концентрация, вызывающая 50 %-ный летальный исход пораженных.

Средняя летальная доза (LD_{50}) – произведение концентрации на кратковременную (в несколько минут) продолжительность воздействия, при котором возникает 50 %-ный летальный исход пораженных.

Пределы переносимости – дозовый (PDt) или концентрационный (PCst). При поражении вызывают различные заболевания, приводящие пораженных к порогу летальности, но не вызывающие летальный исход.

По показателям токсичности все токсичные вещества подразделяются на четыре класса опасности (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Показатель токсичности	Класс опасности			
	1	2	3	4
ПДК в воздухе, мг/м ³	< 0,1	0,1 – 1,0	1,0 – 10	> 10
LC ₅₀ , мг/м ³	< 500	500 – 5000	5000 – 50000	> 50000
LD ₅₀ , мг/кг	< 15	15 – 150	150 – 5000	> 5000

Токсикологические характеристики некоторых из наиболее распространенных в современных технологических процессах токсических веществ приведены в качестве примера в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³		РСт, мг/м ³	LC ₅₀ , мг/м ³	LD ₅₀ , мг/кг
	население	профессионалы			
Аммиак	0,2	20	0,25	70	20
Хлор	0,03	1,0	0,01	10	3,5
Синильная кислота	0,01	2,0	0,02	2,0	1,0
Фосген	0,005	0,5	0,03	3,2	–

5.2.4. Основы защиты людей в условиях химического заражения

Защита людей от химической опасности основывается на двух основных принципах:

первый – заблаговременность подготовки сил и средств защиты и обучения работников химических предприятий и населения потенциально опасных районов действиям в очаге химического заражения;

второй – выбор мер и способов защиты, адекватных потенциальной опасности, этот принцип предполагает прогнозирование и оценку химической обстановки для всякого потенциально химически опасного объекта.

Основные способы защиты людей от химической опасности:

- применение индивидуальных средств защиты и защитных сооружений;
- временное укрытие людей в жилых и производственных зданиях;
- эвакуация из зон возможного химического заражения.

Средства индивидуальной защиты. Для индивидуальной защиты от ОХВ используются средства защиты органов дыхания и средства защиты кожи (см. прил. 3). Для защиты органов дыхания применяются средства двух типов: фильтрующие и изолирующие. К фильтрующим средствам относятся противогазы и респираторы. Защитный эффект применения этих средств достигается путем очистки вдыхаемого воздуха в процессе фильтрации и за счет избирательного поглощения токсичных примесей воздуха. При небольших концентрациях токсичных паров, газов, аэрозолей (10 – 15 ПДК) могут использоваться газопылезащитные респираторы. При концентрациях от 10 до 100 ПДК для защиты органов дыхания должны применяться противогазы. При еще больших концентрациях должны применяться противогазы с поглотителями, ориентированными на конкретное ОХВ, такие противогазы называются *промышленными*. Их фильтропоглощающие коробки имеют специальную маркировку и окраску (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Марка коробки	Цвет коробки	Вещества, от которых защищает коробка
А	Коричневый	Фосфор и галогенорганические соединения
В	Желтый	Кислые газы и пары
КД	Серый	Аммиак, сероводород
БКФ	Защитный	Водород мышьяковистый, водород фосфористый
М	Красный	Оксид углерода, сероводород, органические вещества, аммиак
СО	Серый	Оксид углерода

Гражданские (не промышленные) противогазы имеют несколько модификаций. У всех у них коробки с активным наполнителем присоединяются непосредственно к лицевой резиновой маске. Существуют противогазы для взрослых (марки ГП-5 или ГП-7) и для детей (ДПФ-2Д – для дошкольников и ДПФ-2Ш – для школьников). Любой из этих противогазов может быть дополнен присоединяемым к коробке патроном ДПГ, повышающим защитные свойства противогаза и обеспечивающим защиту пользователя от большинства промышленных газов.

Изолирующие противогазы обеспечивают защиту за счет полной изоляции органов дыхания от внешней среды. При пользовании таким противогазом (его марка – ИП 4) воздух циркулирует по замкнутому кругу и, проходя через регенератор, обогащается кислородом и обедняется углекислым газом. Еще одной разновидностью изолирующих средств являются дыхательный аппарат АСВ-2 (на сжатом воздухе) и КИП (на сжатом кислороде).

Следует знать, что все противогазы имеют ограниченный ресурс времени применения – от 30 мин до 2 ч.

В качестве изолирующих средств защиты кожи применяются костюмы, чулки, перчатки из прорезиненных тканей.

Защитные сооружения. Специальные защитные сооружения, построенные в нашей стране и некоторых других странах в период острой международной напряженности, предназначаются для защиты людей от поражающих факторов оружия массового поражения. Разные по конструкции, они именуются: убежищами, противорадиационными укрытиями и быстро возводимыми (в условиях угрозы войны!) укрытиями. Наиболее сложными и надежными сооружениями являются убежища. Они возводились в населенных пунктах, относимых к категорированным по признакам гражданской обороны. В них предусмотрены помещения для людей вместимостью до нескольких тысяч в одном убежище, они оборудованы системами жизнеобеспечения, рассчитанными на автономное пребывание в нем людей не менее чем трое суток. Убежища являются высокопрочными подземными сооружениями с надежной защищенностью от действия поражающих факторов оружия массового поражения, в том числе от радиации, отравляющих веществ. Для этих целей в них предусмотрены фильтровентиляционные установки. Типовая планировка убежища приведена в гл. 7.

Другие вышеупомянутые способы защиты людей от химической опасности поясним вместе с *общими правилами поведения людей в зоне химического заражения*. Если сигнал о химическом заражении (в условиях войны, при аварии на химически опасном объекте, при диверсии) застал человека на улице, следует, не поддаваясь панике, сориентироваться, уяснить, где находится очаг заражения и ускоренно перемещаться в сторону, перпендикулярную направлению ветра. Надо помнить, что пары хлора распространяются преимущественно вдоль поверхности земли (они тяжелее воздуха), а пары

аммиака поднимаются вверх. Если сигнал застал человека в помещении, то не следует спешить покидать его. По местным средствам информации следует получить информацию о событии и рекомендации по дальнейшему поведению. При отсутствии информации рекомендуется плотно закрыть окна, быстро изготовить ватно-марлевые, в крайнем случае тканевые, смочить их раствором пищевой соды (эффективна при защите от хлора) или раствором какой-либо пищевой кислоты (при защите от аммиака), при отсутствии необходимых растворов – мыльным раствором или просто водой. Надеть повязки, закрывая рот и нос. Следует принять все возможные меры по герметизации помещения. Помещения для укрытия следует выбирать с подветренной стороны здания. Все меры защиты следует применить в отношении детей и людей, нуждающихся в физической помощи.

Эвакуируясь из помещений, следует помнить, что ширина зоны заражения может достигать нескольких сотен метров, перемещаться следует быстро, обходя овраги, парки, видимые скопления паров. При возможности использовать противогазы, респираторы, при их отсутствии – смоченные повязки.

Оказание первой помощи пораженным. При контакте человека с любым опасным химическим веществом первая доврачебная помощь пострадавшему может быть, а при наличии возможностей должна быть оказана непосредственно в зоне заражения. Целесообразен следующий перечень спасательных мер:

- немедленное прекращение поступления опасных веществ в организм (вывод или вынос пострадавших из зоны заражения или применение индивидуальных средств защиты его органов дыхания и кожи);
- ускоренное выведение яда из организма (применение рвотных, слабительных средств);
- восстановление и поддержание функционирования систем жизнеобеспечения (реанимационные процедуры);
- кислородные ингаляции, использование лекарственных препаратов по согласованию со специалистами;
- промывание глаз водой, мыльным раствором.

Более конкретные меры спасения должны соответствовать виду отравляющего вещества. Меры, применимые при отравлении одними ядами, могут усугублять состояние пораженного при отрав-

лении другими ядами. Процедуры спасательных действий в очагах возможного химического заражения заранее разрабатываются и содержатся в планах штабов МЧС и гражданской обороны. Люди, проживающие или работающие в зонах возможного химического заражения, должны быть должным образом проинформированы или проинструктированы.

5.2.5. Принципы прогнозирования и оценки обстановки в очагах химического заражения

Как отмечалось, обеспечение химической безопасности предполагает проведение заблаговременного прогнозирования чрезвычайных ситуаций в возможных очагах химического заражения. На основе такого прогноза, в частности, создаются резервы средств защиты, ведется обучение спасательных формирований, разъяснительная работа среди населения и т.д. Строгий учет всех нюансов, формирующих очаг химического заражения в случае аварийного или злонамеренного выброса в окружающую среду опасных химических веществ, делает процедуру прогнозирования сложной, практически трудно реализуемой. Штабами МЧС и ГО такое прогнозирование проводится с использованием методик, в которых физика процессов рассеяния химических агентов в окружающих средах представляется упрощенными схемами.

Обязательные исходные данные для прогнозирования включают в себя: вид (название) химически опасного вещества, его количество, выброшенное в окружающую среду, скорость ветра, температуру окружающей среды. По этим исходным данным можно оценить количество мгновенно испарившегося продукта (следовательно, и размеры первичного облака) и продолжительность испарения оставшегося жидкого продукта (следовательно, размеры вторичного облака). Границы первичного и вторичного облаков (размеры зоны заражения) определяются из условия: концентрация продукта на границе зон равна одной ПДК для профессионалов. Поясним одну методику [27], получившую широкое применение при оперативном прогнозировании химической обстановки.

Суть методики состоит в том, что в ней *хлор* принимается за «эталонную» разновидность АХОВ. В предположении, что в окружающую среду произошел мгновенный выброс жидкого хлора в

количестве равном количеству фактически выброшенного АХОВ, рассчитываются параметры зоны химического заражения хлором. Последующий пересчет этих параметров применительно к фактически выброшенному АХОВ осуществляется с помощью коэффициентов эквивалентности, рассчитанных применительно к излагаемой методике и даваемых в виде таблиц к методике (они будут приведены далее).

Методика позволяет решать следующие задачи:

- 1) определять размеры зоны возможного химического заражения;
- 2) определять время подхода облака зараженного воздуха к местам пребывания людей, находящимся на заданном удалении от места выброса АХОВ;
- 3) определять продолжительность зараженности среды;
- 4) ориентировочно оценивать количество пораженных людей, оказавшихся в очаге химического заражения.

При заблаговременном прогнозировании параметров зоны заражения ориентируются на летние метеоусловия: температура окружающего воздуха $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость ветра (на высоте 10 м) – 5 м/с. Кроме того, принимается, что ОХВ при аварии выливается мгновенно из разрушаемой в результате аварии емкости и образует «лужу» в пределах поддона (если он предусмотрен) или участка обваловки емкости. Все трудоемкие расчеты, связанные с решением вышеперечисленных задач прогнозирования, выполнены заранее и их результаты приведены в прил. 5.

5.3. Наводнения

При общей массе Земли $6 \cdot 10^{24}$ т на воду приходится $3 \cdot 10^{18}$ т.

Наводнениями называют временное внезапное аномальное затопления водой значительных участков суши [28 – 30]. По трагическим последствиям наводнения не отстают от землетрясений, опережая последние по материальному ущербу, но уступая по числу человеческих жертв. Повышенную опасность наводнения создают для людей, живущих в речных долинах, на берегах морей и океанов. Люди заселяли такие места, соблазняясь благоприятными условиями для хозяйственной деятельности, несмотря на повышенный местный риск, обусловленный этим видом катастроф.

Механизм возникновения наводнений можно понять, рассматривая геофизический круговорот воды. В процессе этого круговорота с поверхности суши испаряется в среднем 42,0 см/год влаги, а осадков выпадает на сушу 67,4 см/год. Разница в 25 см/год в виде наземных и подземных стоков возвращается в мировой океан. Объем сточных вод составляет 37 тыс. км³. Естественно, регионы отличаются между собой по количеству осадков, а значит, и по количеству сточных вод.

Установившийся среднестатистический годовой режим циркуляции воды в бассейне любой реки наглядно можно изобразить в виде гидрографа, типичный вид которого применительно к территории нашей страны выглядит примерно так, как это показано на рис. 5.5.

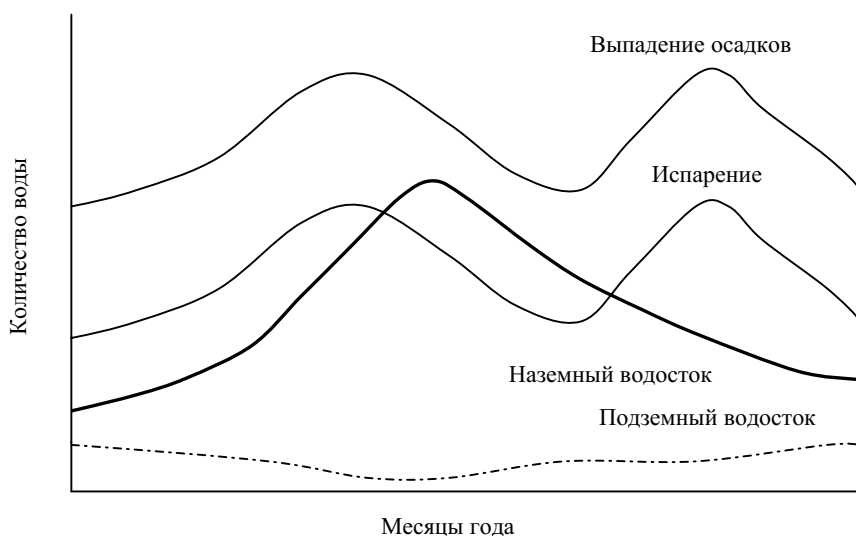


Рис. 5.5

Условия формирования стока воды в бассейнах рек определяются, главным образом, климатическими особенностями регионов и рельефом местности. Например, для рек европейской части РФ и Западной Сибири пики водостока приходятся на период таяния

снега; для рек Кавказа, Дальнего Востока, южных регионов европейской части – на период паводков от выпадающих дождей.

В нормальном среднестатистическом режиме циркуляции воды ее количество на территории бассейна любой реки изменяется, соответственно, с сезонными изменениями геофизических условий. Сопровождающие этот процесс сезонные затопления участков суши не являются наводнениями, так как они предсказуемы. Наводнения возникают при резком изменении режима циркуляции воды в бассейне реки. Истоки причин этого лежат в неожиданных резких нарушениях хотя бы одного из процессов, формирующих гидрограф местности: выпадения осадков, испарения воды, стока – наземного или подземного. Возможно проявление и других механизмов запуска наводнений, в том числе и антропогенных. Принятая в настоящее время классификация наводнений (рис. 5.6) упростит рассмотрение наводнений как чрезвычайно опасных происшествий.



Рис. 5.6

Половодьевые наводнения. Режим половодья можно считать нормальным, если им не создается угроза жизни людей, не затопляются объекты жизнедеятельности, при строительстве которых фактор половодья, естественно, учитывается. Предпосылками катастрофических половодий могут быть: обильные осадки осенью, ранняя зима, сильные морозы зимой, обильные осадки снега, поздняя весна. Случайное совпадение нескольких таких факторов может вызвать буйство водной стихии. На территории нашей страны половодьевые наводнения случаются практически всюду, особенно в бассейнах рек, текущих с юга на север. В этих случаях талые воды, устремляющиеся на север, вскрывают ледяной покров, образуются ледовые заторы и зажоры (закупорки русла рыхлым внутриводным льдом), дополнительные наледи за счет замерзания вытекающей из-под льда воды, чем ограничивается сток. На крупных сибирских реках уровень воды может подниматься до 20 м, а сами реки разливаются до 30 км в ширину. Скорость подъема уровня воды при половодьевых наводнениях может составлять до 1 м в сутки.

Примером небывалого половодья может служить случай 1979 г. в бассейне реки Вятка. Значительная часть территории Кировской области оказалась под водой; уровень воды в реках поднялся до 9 м. Такой ситуации в тех местах не наблюдалось, по крайней мере, на протяжении последних ста лет. Все население области вынуждено было переключиться на противодействие стихии. Эвакуировались люди из жилых поселков, предприятия, усиливались и создавались новые гидротехнические сооружения, принимались нетрадиционные меры жизнеобеспечения людей, оказавшихся в плену у водной стихии. Беда продолжалась около двух недель. Хозяйству области был нанесен огромный материальный ущерб.

Опасность при половодьевых наводнениях нарастает не так неожиданно, как, скажем, при землетрясениях. Люди имеют возможность хотя бы эвакуироваться, избежать массовых человеческих жертв. Неожиданным может оказаться разлив накопившейся массы воды при внезапном прорыве ледяного затора в русле реки, а возможно, и из лесосплава. Для упреждения таких случаев в период половодья ведутся наблюдения, а при обнаружении заторов – их разрушение чаще всего с помощью взрывов.

Ливневые наводнения. Ливни – кратковременные, но аномально интенсивные дожди, происходящие неожиданно. При уже упоминавшейся усредненной годовой норме осадков в 67,4 см, в силу капризов природы случаются ливни, когда за сутки выпадет годовая норма. Боле того территориальное распределение осадков по поверхности суши крайне не одинаково. Например, рекордно большое количество осадков выпадает в некоторых регионах Индии – до 1300 см в год, т.е. в 20 раз больше средней. Памятным является случай тех мест, произошедший в 1861 г., когда только за июль выпало осадков 930 см, а ливень, прошедший 14 июля 1876 г. дал за сутки более 100 см осадков.

Особенно тяжелые последствия вызывают ливневые наводнения в равнинной местности, откуда затруднен отток воды, такой тип местности характерен для большей части европейской территории РФ. Районами случающихся ливневых наводнений в нашей стране являются: центрально-черноземная зона, Дальний Восток, бассейн реки Амур, Северный Кавказ и некоторые другие. Скорость выпадения осадков в этих регионах может достигать 15 см в сутки. Уровень воды в таких регионах ливня может подниматься на несколько

метров, затопляя и разрушая населенные пункты, мосты, дороги, гидротехнические сооружения, уничтожая посевы и т.п. Скорость накопления воды в бассейнах рек в период ливневых наводнений в несколько раз выше, чем в период половодья. Представление о масштабах подобных опасностей могут создать следующие примеры. В период ливневых наводнений, случившихся в 1899 и 1926 гг., уровень воды в руслах рек волжского бассейна поднимался на 10 – 12 м, а в 1937 г. – в енисейском бассейне – на 16 м.

Нагонные наводнения. Нагонные наводнения случаются в прибрежной полосе морей и океанов, в нашей стране – на берегах Каспийского, Черного, Балтийского морей, Дальнего Востока. Механизм этого вида наводнений состоит в следующем. Всасывающим действием циклона, движущегося со стороны моря к берегу, на море порождаются волны. Ветром волны гонятся в сторону берега, в русла стекающих рек. Прибрежная зона моря в местах стока рек, как правило, мелководна за счет речных наносов – продуктов эрозии. Из-за этого уровень воды в гонимой с моря волне поднимается, реки начинают течь вспять, местность затопляется, бал начинает править нагонное наводнение.

Самые высокие на земном шаре нагонные наводнения случаются на побережье Индии. Уровень воды, например, в окрестностях Калькутты иногда поднимается выше 10 м и может оставаться таким на протяжении нескольких суток.

Сильную головную боль нагонные наводнения создают жителям Санкт-Петербурга. За три столетия истории этого города имело место 13 случаев нагонных наводнений с уровнем поднятия воды более 3 м, а число нагонов воды с превышением уровня воды над уровнем Балтийского моря в 160 см – 243 случая. На водомерном столбе в центре города рекордная отметка высоты подъема воды соответствует 421 см (1824 г.). Это было одно из самых страшных стихийных бедствий в городе за всю его историю. Было снесено 300 домов, серьезно повреждено 3 тыс. строений, погибли около 600 чел. В этот день под водой оказалось 2/3 территории города. Из-за низкого уровня местности, на которой расположен город, в периоды нагонных наводнений становится затопленной значительная часть города, в воде оказываются подвальные и нижние этажи зданий со всеми вытекающими отсюда последствиями. В настоя-

щее время осмысливается идея защиты Санкт-Петербурга от нагонных наводнений путем строительства дамбы.

Обвальные и антропогенные наводнения. Режим стока воды в регионе может быть внезапно нарушен обвалом горных пород или ледников в русла рек, озер или разрушением естественных запруд высокогорных водоемов. В подобных случаях внезапный поток воды, устремляющийся в ниже расположенные участки территории, представляет большую опасность для людей. Аналогичная ситуация складывается в случаях прорыва построенных людьми плотин, дамб многочисленных искусственных водохранилищ. Кстати, объем воды в водохранилищах, построенных человеком, ныне составляет около 3000 км^3 , что равно примерно 10 % общего годового водостока. Картина наводнений такой природы подобна половодьевым в долинах северных рек при прорыве в них заторов.

Антропогенные наводнения, помимо обвальных, могут быть вызваны еще одним видом деятельности человека – вырубкой лесов. Лесные массивы задерживают таяние снега, растягивают период половодья. Уменьшение площади лесов порождает дополнительную причину нарушения режима водостока и, как следствие, увеличивает опасность половодьевых наводнений.

Цунами. Волны цунами – морские волны, безобидные в открытом море. Необходимым условием возникновения цунами является быстрое изменение рельефа дна во время тектонических процессов – землетрясений, вулканов, подводных обвалов. Перемещающееся дно, действуя по принципу поршня, толкает воду, вызывая образование цунами. В открытом море волна имеет пологий фронт; при высоте в несколько метров ее длина составляет десятки километров. Скорость распространения волны цунами (V) зависит от глубины моря (H) и высоты волны (h):

$$V = \sqrt{gH(1 + h/H)} . \quad (5.1)$$

При средней глубине моря примерно 4 км скорость волны составляет около 700 км/ч. При формировании волны цунами образуется несколько волн (цуг) и в таком построении цунами устремляется к побережью. Цуг волн накатывается на берег с периодичностью единицы-десятки минут. Какой из накатов волны окажется

наиболее разрушительным, заранее предсказать невозможно; обычно это один из первых.

При приближении к берегу и выходе на мелководье высота волн цунами возрастает согласно соотношению:

$$h_2 / h_1 = (H_1 / H_2)^{1/2}. \quad (5.2)$$

Это объясняется тем, что на мелководье за счет торможения волны ее длина уменьшается, а энергия (ее величина пропорциональна произведению длины волны и амплитуды) практически сохраняется. Например, при $H_1/H_2 = 16$ высота волны учетверяется. Дополнительно к этому на мелководье включается еще один механизм: за счет трения и торможения нижних слоев воды увеличивается крутизна переднего фронта волны, она превращается в «водяную стену» высотой десятки метров. Такой гигантский таран мощно накатывается на берег, утюжа его на глубину километра и более, убивая оказавшихся на ее пути людей, разрушая и опрокидывая сооружения, а затем откатывается назад, унося свою добычу в море. На берег могут быть выброшены морские суда, в море могут быть смыты вагоны, дома и т.п. Коварство цунами особенно опасно на низменных берегах океана, а также в вершинах заливов и бухт.

Цунамоопасными регионами нашей страны являются Курильские острова, Камчатка, Сахалин, побережье Тихого океана. Примером цунами с большими трагическими последствиями может служить случай цунами 1952 г. в районе Курильских островов. Высота волны у южной оконечности Камчатки достигла 60 м. Волной цунами буквально смыло город Южно-Курильск. О возможной массовости гибели людей в результате цунами говорит хотя бы недавний трагический случай цунами, произошедший в регионе индонезийских островов 26 декабря 2004 г. Высота волны, накатившейся на берега, достигала 30 м. Глубина прибрежной полосы разрушений и полного кошмара достигала 3 км.

Поражающую способность цунами принято выражать магнитудой. За магнитуду цунами (m) принят натуральный логарифм амплитуды (A) волны (в сантиметрах), измеренной на расстоянии от 3 до 10 км от береговой линии:

$$m = \lg A. \quad (5.3)$$

Магнитуда цунами может иметь значение до четырех единиц: при $m = 4$ – катастрофическое цунами, полное разрушение на берегу; при $m = 3$ – очень сильное цунами, разрушения и повреждения сооружений; при $m = 2$ – сильное цунами, повреждение непрочных сооружений вблизи берега; $m = 1$ – опасное цунами, поражающее людей вблизи берега.

Цунами – наиболее грозная разновидность наводнений. Они способны приводить к массовой гибели людей, огромному экономическому ущербу, надолго нарушать режим жизнедеятельности регионов. Помимо прямых возможны вторичные последствия поражающего действия цунами: пожары, аварии на предприятиях и в системах коммунального хозяйства, поражение сельскохозяйственных угодий и т.д.

В принципе возможно создание региональных систем предупреждения людей о приближении цунами. Регистрируя сейсмические волны, порождаемые тектоническими явлениями, системой территориально разнесенных сейсмических станций, можно оперативно установить координаты эпицентра явления, а следовательно, и эпицентра цунами. При удаленности эпицентра от берега, равной D , временной интервал между моментами прихода на берег сейсмической волны и волны цунами составит:

$$\tau = D(C - V)/(CV), \quad (5.4)$$

где C – скорость сейсмической волны (она составляет несколько километров в секунду); V – скорость волны цунами (она в 30 – 40 раз меньше).

Соответствующего интервала часто достаточно для оповещения людей и принятия ими мер по защите, чаще всего эвакуации.

Защита от наводнений. Статистика трагических последствий наводнений обязывает людей принимать соответствующие меры для обеспечения своей безопасности. Крупномасштабные меры защиты от наводнений (необходимость таких мер очевидна, поскольку речь идет о геофизических факторах) могут быть реализованы только на государственном уровне, а иногда, как, например, в отношении цунами, в рамках международного сотрудничества. И подобные меры повсеместно проводятся. К числу таких мер можно отнести: научные исследования по изучению причин и предсказанию наводнений, ведение мониторинга, информирование насе-

ния о геофизической обстановке, строительство разного рода инженерных сооружений, создание сил и средств на случаи аномального проявления стихии и т.д. Подробное рассмотрение этих мер выходит за рамки данного пособия. Обратим внимание на рекомендации по поведению людей в случаях угрозы или свершившегося наводнения.

Прежде всего, каждый человек должен знать гидрометеорологические особенности своего региона проживания, а в периоды сезонных или иных аномальных отклонений параметров среды обитания быть внимательным к сообщениям средств массовой информации. Следует также быть внимательным при обнаружении всевозможных аномалий: необычные запахи, изменение уровня грунтовых вод, поведение животных и т.п. В частности, установлено, что животные обладают предчувствием геофизических бед – они покидают районы будущего бедствия заранее. К примеру, среди тысяч погибших от цунами в декабре 2004 г. не оказалось ни одного погибшего животного – все они, как оказалось, заблаговременно покинули опасную зону. О грозящем опасном происшествии человеку часто посылаются сообщения домашними животными в форме необычно беспокойного поведения. О предстоящих катаклизмах в гидросфере можно «прочитать» по поведению морских животных, в частности рыб.

Получив информацию о возможности наводнения или обнаружив признаки надвигающегося бедствия, люди должны принять все возможные меры самозащиты. Если ожидается наводнение с умеренным режимом нарастания (паводковые, половодьевые, нагонные), то предварительные меры самозащиты сводятся к следующему. Ближайшей задачей может стать эвакуация. С учетом этого жителям сельской местности необходимо наметить возвышенные места для предстоящей эвакуации. При этом не следует ориентироваться на холмы с крутыми склонами, помня о возможности оползней. Далее, следует запастись теплой одеждой, продуктами питания, водой, взять с собой лекарства, документы. Необходимые вещи, ценные вещи и предметы нужно переместить на чердаки или закрепить их так, чтобы они не могли быть унесены водным потоком. Следует организовать дежурство для наблюдения за обстановкой, при возможности держать средства массовой информации во включенном состоянии, иметь при себе средства световой сигнали-

зации. Скот следует перегнать на возвышенные места. Коротко: должно быть предусмотрено все на случай возможного бегства, а то и возможности оказаться на острове.

В периоды буйного торжества наводнения: избегать низко расположенных мест, которые могут быть внезапно затоплены при разрушении плотин, не переходить затопленные участки вброд, если уровень воды выше колен (поток воды может свалить, а в водовороте человек становится беспомощным), опасным становится движение через затопленные участки на автомобиле (можно не заметить ямы). Физически здоровые люди должны быть в готовности оказывать помощь пострадавшим, попавшим в беду. Нельзя использовать для питья воду из открытых источников (в ходе наводнений в них могут попасть стоки из могильников). В критическом положении подавать звуковые и световые сигналы бедствия, помня, что в подобных ситуациях должны действовать спасательные подразделения.

Существенно иными становятся рекомендации по самозащите на случаи внезапных наводнений типа цунами или обвальных. В этих ситуациях речь может идти, скорее, не о самозащите, а о самоспасении. Если в море сформировалась волна цунами, и человеку об этом стало известно, то в запасе у него может оказаться всего несколько минут, чтобы предпринять спасительные меры. Очевидной спасательной мерой в этой ситуации является убежание на ближайшую возвышенность. Подсказывающим признаком приближающейся беды в форме волны цунами является неожиданное предварительное понижение уровня воды в прибрежной зоне. Оно проявляется за несколько минут до прихода цунами к побережью. К сожалению, во время цунами в декабре 2004 г. отдыхающие на пляжах не среагировали на это предупреждение приближающейся беды.

Для оповещения жителей тихоокеанского региона о возможности цунами при регистрации землетрясений была создана Служба предупреждения с центром на Гавайских островах. Функционирование Службы основано на принципе, поясненном выше. Но этот принцип имеет свою оборотную сторону: люди, привыкнув к частым, но не сбывшимся предупреждениям (не при каждом землетрясении порождается цунами), теряют доверие к предупреждениям и, как показывает опыт, не реагируют на них. Требуется более надеж-

ный алгоритм регистрации непосредственно волны цунами в эпицентре ее формирования.

5.4. Метеорологические чрезвычайно опасные происшествия

Под метеорологическими происшествиями в данном случае будем подразумевать природные явления, характеризующиеся высокими скоростями ветра. К ним относятся: ураганы, бури, смерчи. Иные их названия: тайфун, шторм, торнадо – соответственно. По существу эти явления представляют собой атмосферные вихри различного масштаба.

Физическая сторона этих явлений состоит в следующем. В земной атмосфере имеет место устойчивая глобальная циркуляция воздуха. Основные факторы, определяющие закономерности этой циркуляции, – градиент температуры и плотности воздуха по высоте, широтная неравномерность прогрева поверхности Земли солнечными лучами и вращение Земли. В этих устойчивых воздушных течениях случайным образом могут возникать области повышенного или пониженного давления различного размера. И тогда в устойчивых потоках циркуляции воздуха, по законам механики, возникают закрутки – вихри. В северном полушарии массы воздуха в вихре закручиваются против часовой стрелки, если центральная область имеет пониженное давление, и по часовой стрелке, если центральная область имеет повышенное давление. В южном полушарии направление закруток – противоположное.

Мощные крупноразмерные вихри – циклоны и тайфуны – зарождаются, как правило, вокруг восходящих потоков теплого влажного воздуха над океанами. Имея поперечные размеры в несколько тысяч километров, атмосферный «волчек» перемещается со скоростью до нескольких десятков километров в час, совершая путь до нескольких тысяч километров. Если по пути движения воздух будет теплым и влажным, то «волчек» будет дополнительно подпитываться энергией, выделяющейся при конденсации водяных паров. Выйдя на сушу, закрутки постепенно теряют свою энергию и затухают. Крупноразмерные вихри могут существовать до трех недель.

Менее крупные вихри – бури и штормы – порождаются интенсивной местной циркуляцией воздуха под краями мощных облаков,

в периоды циклонической активности. Продолжительность существования этих вихрей – от нескольких часов до нескольких дней.

Механизм формирования смерчей и торнадо обусловлен восходящей струей теплого воздуха, за счет чего образуется крупное грозовое облако. В какой-то момент из него начинается выпадение осадков, падающая масса закручивается в спираль, которая в форме цилиндра или конуса, подобно хоботу слона, достигает поверхности Земли. Центробежная сила вращающейся массы воздуха создает разряжение внутри закрученной трубки, в связи с чем в облако дополнительно всасывается теплый воздух. Часто теплый воздух в трубу подталкивается подтекающим под основание трубки клином холодного воздуха. Механизм формирования смерчей и торнадо развивается очень стремительно. Смерчи, возникающие на территории нашей страны, характеризуются средним временем существования 10 – 30 мин, а иногда – до 1 ч. Они движутся со скоростью породившего их атмосферного фронта – десятки километров в час, проходят путь в несколько километров, реже – несколько десятков километров. Средний диаметр смерча у земли составляет около 1 км. Торнадо Северной Америки имеют более грозные показатели: время существования – до нескольких часов, длина пути – в сотни километров.

Ураганы и бури чаще всего сопровождаются обильными осадками – ливнями, снегопадами, градом, а также часто приводят к пыльным, песчаным (в условиях засушливого лета) или снежным бурям. Осадки стимулируются конденсацией влаги при охлаждении в верхних слоях атмосферы воздуха, поднимаемого из приземных слоев. Так что сильные ветры часто сопровождаются наводнениями, снежными заносами, сходом лавин.

Поражающая способность ветровых явлений определяется скоростью движения воздушного потока. За счет кинетической энергии потока воздуха на объекты, находящиеся на его пути, создается давление, называемое *давлением скоростного напора*. Максимальное значение давления скоростного напора $P_{\text{сн}}$ при скорости ветра V и плотности воздуха ρ может составить:

$$P_{\text{сн}} = \rho V^2. \quad (5.5)$$

Силой скоростного напора ветра повреждаются и разрушаются дома, иные подобные сооружения, объекты могут быть опрокинуты, отброшены, перемещены, вырваны из земли и т.п. Поражение людей может быть вызвано как прямым воздействием ветра, так и летящими обломками разрушаемых объектов. Иногда случаются экзотические варианты поражения людей и объектов вихрями смерчей и торнадо: они могут быть подняты всасывающей силой вихря и перенесены на значительные расстояния.

Дополнительным, сопутствующим поражающим фактором при сильных ветровых происшествиях, как уже отмечалось, являются обильные осадки и, как следствие, наводнения.

Силу ветра, а следовательно, степень опасности, создаваемой им, принято выражать в баллах. Наибольшее распространение имеет шкала балльности ветра, носящая название шкалы Бофорта (Бофорт – английский адмирал, предложивший ее). Модифицированный вариант шкалы Бофорта в 1963 г. принят Всемирной метеорологической организацией в качестве шкалы силы ветра. В ней, как и в сейсмической шкале, в качестве критерия классификации используются наблюдаемые последствия поражающего действия ветра на различные объекты. С некоторыми сокращениями второстепенных деталей она приводится в табл. 5.5.

На территории нашей страны атмосферные вихри часто возникают в южных районах, на Дальнем Востоке, Камчатке, Чукотке, Сахалине, Курильских островах, Северном Кавказе; нередко они случаются и в центрально-европейской зоне. Примером катастрофического урагана может служить ураган, случившийся в августе – сентябре 1988 г. на Камчатке. В том случае город Петропавловск-Камчатский остался без электричества, а дома – без крыш; региону был нанесен огромный материальный ущерб.

Еще более впечатляющим случаем является ураган «Катрина», обрушившийся на город Орлеан (восточное побережье США) осенью 2005 г. Ураган сопровождался нашествием воды. Курортный город был основательно затоплен, имели место многочисленные человеческие жертвы. Материальный ущерб от этого побоища оценен в 200 млрд дол. США. Ураган, атаковавший в 1970 г. побережье Пакистана, привел к гибели около 200 тыс. жителей.

Таблица 5.5

Балл	Название ветра	Скорость, м/с	Наблюдаемые эффекты воздействия ветра	
			на суше	на море
0	Штиль	0 – 0,2	Дым поднимается вертикально	Зеркально гладкая поверхность
1	Тихий ветер	0,3 – 1,5	Дым из труб поднимается струей, отклоняющейся от вертикали	Рябь, пена на гребнях волн
2	Легкий	1,6 – 3,3	Ощущается поверхностью лица, ленивое реагирование флюгера	Короткие волны не опрокидываются
3	Слабый	3,4 – 5,4	Листья деревьев колышутся, флаги развеваются	Гребни волн опрокидываются, образуются редкие барашки
4	Умеренный	5,5 – 7,9	Поднимается пыль, качаются тонкие ветки деревьев	Удлиненные волны, многочисленные белые барашки
5	Свежий	8,0 – 10,7	Качаются тонкие стволы деревьев	Сплошные волны, барашки, редкие брызги
6	Сильный	10,8 – 13,8	Качаются толстые стволы деревьев, гудят телеграфные провода	Белые пенистые волны, брызги
7	Крепкий	13,9 – 17,1	Идти против ветра трудно	Волны громоздятся, пена полосами
8	Очень крепкий	17,2 – 20,7	Ломаются сучья деревьев, идти очень трудно	Волны разбиваются в брызги, сплошная пена
9	Шторм	20,8 – 24,4	Срываются крыши домов (буря)	Волны рассыпаются в брызг (буря)

Балл	Название ветра	Скорость, м/с	Наблюдаемые эффекты воздействия ветра	
			на суше	на море
10	Сильный	24,5 – 28,4	Вырываются деревья, строения рушатся	Гребни волн загибаются, хлопы пены по всей поверхности
11	Жесткий	28,5 – 32,5	Обрушения построек на значительных пространствах	Видимость плохая, средние суда скрываются за волнами
12	Ураган-тайфун	32,6 и более	– « –	– « –
	– « –	32,6 – 42	Массовые разрушения строений	Воздух наполнен брызгами
	– « –	42 – 49	Полное разрушение легких строений	Воздух наполнен пеной
	– « –	49 – 58	Массовые разрушения всяких построек, лесные завалы	Опрокидывание судов
	– « –	58 – 70	– « –	– « –
	Смерч, торнадо	Более 70	Полоса полных разрушений, завалов	– « –

Примечание. Скорость ветра измеряется над открытой ровной поверхностью, на высоте 10 м.

Противодействие ветровым опасностям требует учета возможных нагрузок (скоростного напора) при строительстве всевозможных сооружений. Так, согласно строительным нормам, максимальное значение ветрового давления на территории России принимается равным 0,85 кПа, что соответствует скорости ветра около 40 м/с, т.е. урагану 12.1 балла по шкале Бофорта.

Передовой эшелон защиты от катастрофических ветровых происшествий основывается на их прогнозировании. Люди, живущие в регионах повышенной активности ветра, должны быть внимательны к прогнозным сообщениям метеослужб. Беспечность в этом отношении наказуема. На случаи явной ветровой опасности в таких

регионах предусматриваются нетрадиционные способы оповещения людей о грозящей беде. Метеослужба способна подавать штормовое предупреждение, по крайней мере, за несколько часов.

При заблаговременном получении информации о приближении ветровой стихии следует укрываться в наиболее прочных помещениях, лучше в подвальных. Следует закрыть двери, окна, убрать вещи с балконов и подоконников, вещи, которые могут падать, нанося травмы людям, погасить огонь в печах, выключить газ. Создать запас воды, продуктов питания на 2 – 3 дн., держать в доступности средства медицинской помощи. Держать включенными средства радиосвязи, телефонной связи. Находясь на улице, следует держаться подальше от крупных непрочных сооружений, линий электропередач и т.п.

Будучи застигнутым ураганом, смерчем на открытой местности, необходимо по возможности укрыться в складки местности – кювет, канаву, овраг, но не под деревьями, не вблизи от непрочных объектов. Следует быть внимательным к окружающей обстановке на случаи возникновения пожаров, наводнений, выхода газов, падения на землю токоведущих проводов и т.п.

В периоды относительного затишья следует проводить разведку обстановки, вести поиск пострадавших, оказывать им помощь. Оказывать содействие спасателям.

5.5. Землетрясения

5.5.1. Геофизические представления о землетрясениях

Землетрясения – подземные удары и колебания земной поверхности, порождаемые естественными, природными, факторами. Основные причины землетрясений – процессы, протекающие в земной коре, главным образом процессы движений и деформаций земной коры. Применительно к землетрясениям термин «тектоника» равносильен термину «геоархитектура».

Земная кора представляет собой верхний слой «твердой» Земли. Верхняя поверхность земной коры является частично материковой (29 %), частично – океанической (71 %). Ее рельеф характеризуется так называемой гипсографической кривой (рис. 5.7) – распределением площади поверхности по высоте (в пределах материковой части) и по глубинам (в пределах океанической).

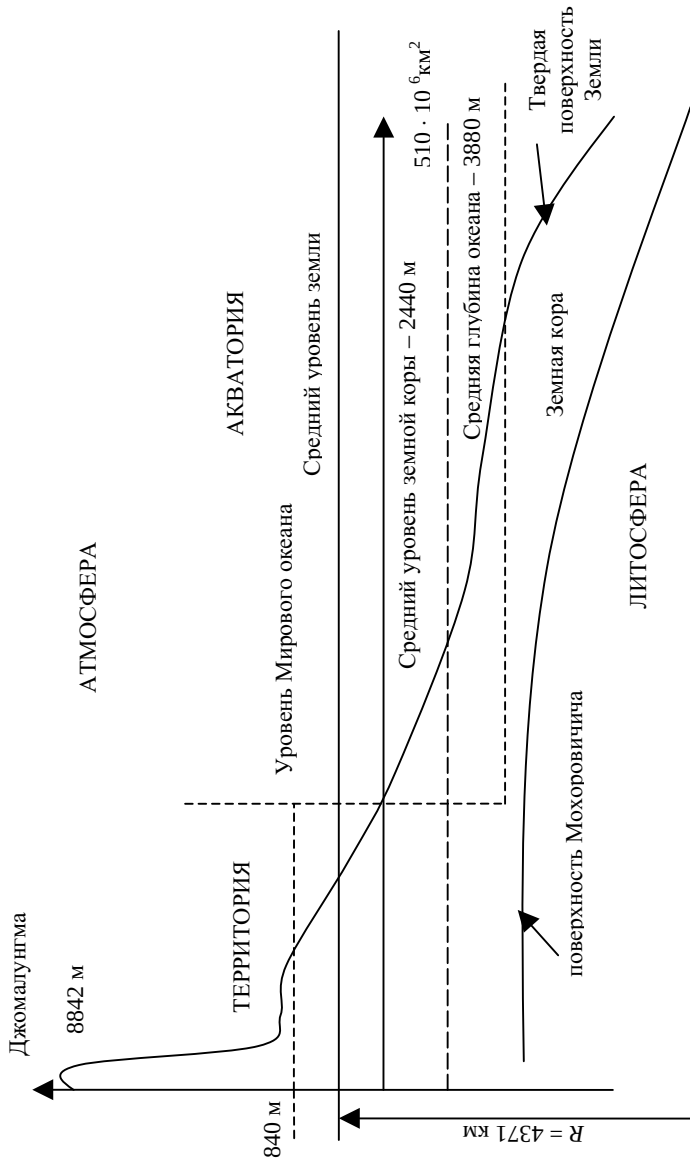


Рис. 5.7

По глубине земная кора условно делится на три слоя: верхний – осадочный, средний – гранитный, и нижний – базальтовый. Соответствующая этим слоям толщина колеблется в пределах: от 10 до 40 км и от 10 до 70 км. Под океанами первые два слоя имеют малую толщину, да и базальтовый слой имеет толщину около 5 км.

Нижней границей земной коры считается четко проявляющаяся поверхность, именуемая поверхностью Мохоровичича, – граница между земной поверхностью и мантией. Мантия простирается до глубин 2900 км, т.е. до ядра Земли. Верхний слой мантии до глубины в 700 км по физическим свойствам ближе к твердотельному. Этот слой вместе с земной корой именуется литосферой или тектоносферой. Именно в литосфере протекают процессы, приводящие к землетрясениям. Вещество всех геосфер находится в непрерывном изменении, движении.

В недрах Земли происходят перемещения огромных земных масс, концентрация более легких веществ в верхних слоях, а более тяжелых – в глубоких; протекают тепловые, электрические, химические, радиоактивные процессы. Совокупное воздействие этих процессов на атмосферу приводит к вертикальным и горизонтальным перемещениям отдельных ее участков. По современным представлениям земная кора является не монолитной наружной оболочкой «твердой» Земли, а состоит из отдельных блоков – тектонических плит. Тектонические плиты имеют различные размеры, некоторые из них соразмерны с материками. В процессе перемещений тектонических плит на их границах могут образовываться участки механического перенапряжения. В моменты, когда напряжения превышают соответствующий предел прочности земных пород, происходит внезапный разрыв пород, практически мгновенное перемещение огромных масс литосферы. Ударное воздействие перемещающихся масс на окружающую среду и представляет собой по существу землетрясение.

Область возникновения подземного удара именуется *очагом землетрясения*, а ее условный центр – *центром землетрясения*, или *гипоцентром*. Радиальная проекция гипоцентра на земную поверхность называется эпицентром землетрясения (рис. 5.8).

Очаги землетрясений могут возникать на различных глубинах; большинство из них концентрируется на глубине 20–30 км, но практически их глубина может достигать значений до 700 км, т.е. развиваться в верхнем слое мантии.

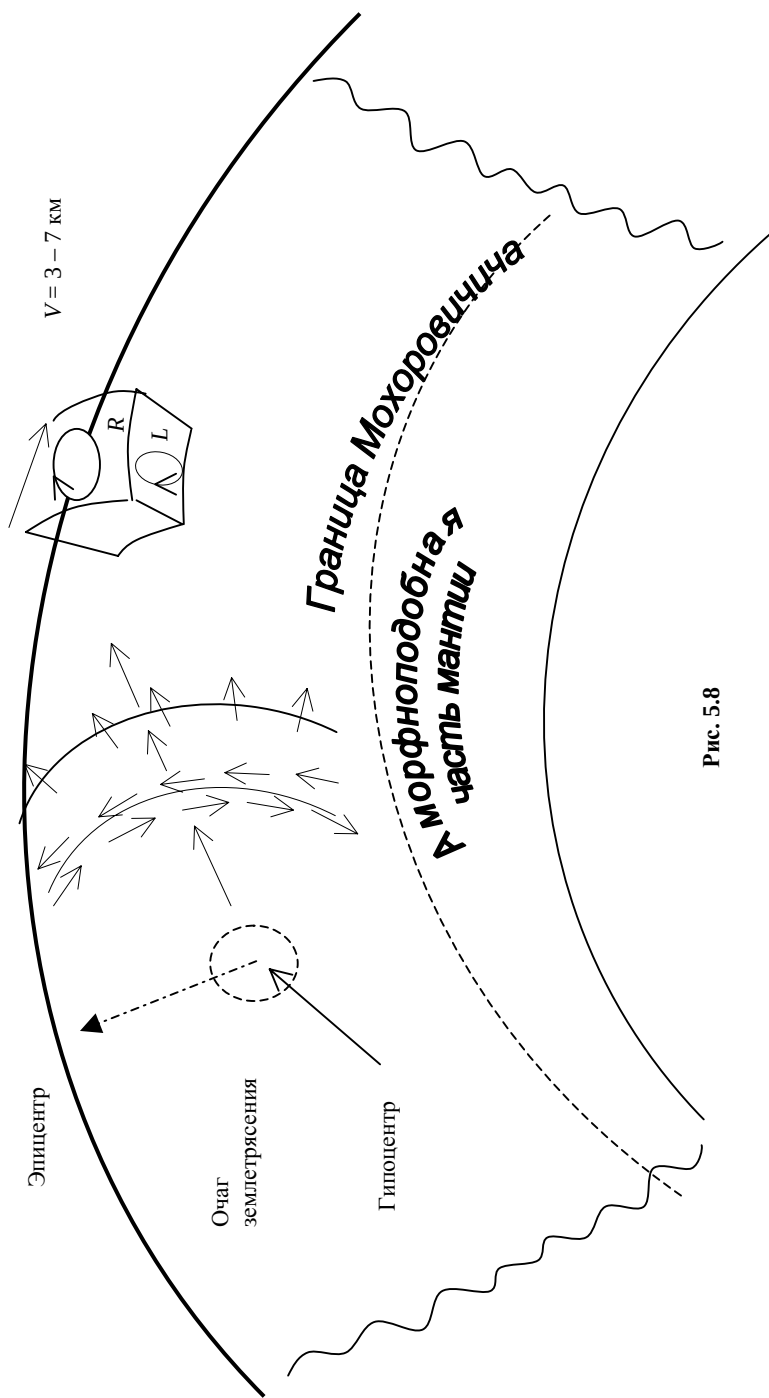


Рис. 5.8

Силу землетрясений в очаге принято выражать значением выделившейся в нем механической энергии; она может достигать величин до 10^{18} Дж. На всей Земле за год в процессе землетрясений освобождается энергия порядка $5 \cdot 10^{18}$ Дж; лишь малая доля их достигает степени катастроф.

Распределение очагов землетрясений по земной поверхности крайне неравномерно. Имеются зоны повышенной сейсмической активности, которые образуют так называемые сейсмоактивные пояса Земли. Среди них: атлантический (примерно до середины дна Атлантического океана), тихоокеанический (вдоль западного побережья американских континентов), восточно-азиатский (вдоль восточного побережья Азии и Австралии), индо-океанический пояс. Большая часть сейсмоактивных зон приходится на акваторию Земли. Применительно к территории РФ сейсмоактивные зоны – территория Кавказа, юго-восточные окраины азиатской части территории.

Землетрясение, состоявшееся в очаге, порождает в земной коре упругие колебания, именуемыми *сейсмическими волнами*. Радиально расходящиеся от очага сейсмические волны до выхода их на поверхность Земли называются *объемными сейсмическими* и представляют собой совокупность волн двух типов – *продольной* и *поперечной*. В объемной продольной сейсмической волне колебания среды происходят в направлении распространения, и имеет место деформация сжатия-растяжения. В объемной поперечной сейсмической волне колебания происходят в перпендикулярном направлении относительно направления распространения, а видом деформации является *сдвиг*. Скорость распространения продольной волны примерно в 1,5 раза превосходит скорость поперечной; соответственно этому первая называется первичной (в сейсмологии обозначается символом «Р»), а вторая – вторичной (обозначается символом «S»). Доминирующее значение периода колебаний объемных сейсмических волн находится в пределах десятых долей секунды. С глубиной температура литосферы возрастает, за счет этого обстоятельства направление распространения объемных волн искривляется, траектория становится выпуклой в сторону центра Земли.

При выходе на поверхность Земли, точнее на поверхность земной коры, объемные сейсмические волны испытывают преломление, отражение. В результате они трансформируются в поверхностные сейсмические волны, распространяющиеся вдоль поверхно-

сти земной коры во все стороны от эпицентра со скоростью от 3 до 7 км/с. Именно поверхностные сейсмические волны являются поражающим фактором землетрясений.

На рис. 5.8 приведена наглядная картина описанных процессов формирования сейсмических волн.

Поверхностные сейсмические волны более разнообразны по сравнению с объемными, что обусловлено разнообразием условий отражения-преломления последних. При определенных условиях для поверхностных сейсмических волн образуются так называемые сейсмические волноводы – слои литосферы, на удалениях до значения глубины очага, преобладают вертикальные колебания земной поверхности, а на больших удалениях – горизонтальные, которые, кстати, более опасны для наземных объектов.

Следует также подчеркнуть тот факт, что амплитуда объемных сейсмических волн обратно пропорциональна расстоянию, а амплитуда поверхностных волн обратно пропорциональна квадратному корню из расстояния. По этой причине в колебаниях от удаленных землетрясений доминируют поверхностные сейсмические волны.

Среди многообразных поверхностных сейсмических волн заметное место (по поражающему потенциалу) занимает волна Лява (L) и волна Рэлея (R), названные именами исследователей. Отличие между ними, помимо прочего, состоит в ориентации плоскостей поляризации их колебаний: колебания в волне Лява вертикально поляризованы, а волны Рэлея – горизонтально поляризованы.

5.5.2. Поражающая способность землетрясений

Исходным, естественным, критерием поражающего потенциала землетрясения является значение энергии, выделяющееся в очаге. Ее значение, как уже отмечалось, лежит в пределах от 10^6 до 10^{18} Дж. При состоявшемся землетрясении картина его последствий, помимо энергии в очаге, зависит от глубины очага, эпицентрального расстояния, геологических особенностей региона. В процессе исследования этой зависимости было установлено, что практически целесообразнее вместо энергетического показателя поражающего потенциала землетрясения пользоваться некоторыми условным, эквивалентным показателем. Согласно Рихтору, эта

мера поражающей способности землетрясения называется *магнитудой* (M). Ее значение может быть оценено по значению энергии в очаге по следующей эмпирической зависимости:

$$M = 0,7(\lg E - 5,3), \quad (5.6)$$

где E – энергия в джоулях.

Магнитуда является безразмерной величиной, ее максимальное значение составляет около девяти. Помимо этого используется магнитудный показатель m , определяемый по амплитуде сейсмических колебаний. Ее численное значение определяется как логарифм амплитуды (в микрометрах) сейсмической волны, регистрируемой на удалении 100 км от эпицентра.

Поражающая способность землетрясения в конкретном месте земной поверхности зависит, естественно, от параметров поверхностных сейсмических волн, пришедших в это место. С учетом этого поражающую способность поверхностных сейсмических волн принято называть *интенсивностью землетрясения*, а значение интенсивности выражать в баллах. Балльность землетрясения определяется по характерным наблюдаемым признакам, согласно 12-балльной сейсмической шкале. Существуют и в мировой практике используются несколько вариантов сейсмических шкал, различающихся несущественными деталями. В РФ используется шкала MSK-64 и шкала ГОСТ 6249-52.

Упрощенный вариант сейсмической шкалы приведен в табл. 5.6.

Интенсивность землетрясения I , выраженную в количестве баллов, можно оценить по значению магнитуды M и гипоцентрального расстояния L по следующей эмпирической зависимости:

$$I = 3 + 1,5M - 3,5\lg L, \quad (5.7)$$

где $L = h^2 + R^2$, h – глубина очага, в км; R – эпицентрального расстояние, км.

Для примера примем глубину очага землетрясения равной 10 км, а энергию, выделившуюся в очаге, равной 10^{16} Дж, т.е. в 100 раз меньше максимально возможной. Для такого случая магнитуда, согласно зависимости (5.6), окажется равной 7,7, а согласно зависимости (5.7), балл землетрясения в эпицентральной области составит 11, а, к примеру, на эпицентрального удалении в 100 км – 7,5 балла.

Таблица 5.6

Балл	Признаки землетрясения	Приближенное значение амплитуды волны, мкм
1	Регистрируются только специальными сейсмическими приборами; людьми не ощущаются	0,06
2	Ощущается отдельными людьми в состоянии покоя, сосредоточенности	0,12
3	Ощущается значительной частью людей; беспокойное поведение животных	0,25
4	Легкое колебание предметов, дребезжание посуды, оконных стекол, скрип дверей, стен	0,5
5	Сотрясение зданий, колебание мебели, трещины в стеклах, штукатурке; спящие внезапно просыпаются	1,0
6	Падение подвешенных предметов, штукатурки; легкие повреждения зданий	2,0
7	Трещины в стенах каменных зданий	4,0
8	Трещины в грунте, сдвиг предметов, сильные повреждения домов (требуется капитальный ремонт)	8,0
9	Повреждения и разрушения каменных домов (их восстановление нецелесообразно)	16
10	Крупные трещины в грунте, оползни, обвалы, искривление железнодорожных рельсов, разрушение всевозможных сооружений	32
11	Полное разрушение строений, сооружений; в грунте трещины; ступени в несколько метров	64
12	Изменение ландшафта, русел рек, сдвиг ландшафтных массивов	До 300

Поражающая способность землетрясения определяется параметрами сейсмических волн, пришедших в место расположения объектов, людей, а именно: амплитудой и периодом колебаний, продолжительностью колебаний (она может составлять около минуты в одном цуге), скоростью распространения. Колебание грунта передаются находящимся на нем объектам, которые испытывают воздействие ударной сейсмической волны, чья сила пропорциональна величине ускорения колебаний в сейсмической волне.

Человек, находящийся на открытой местности или в сооружении, может получить травму непосредственно от удара или быть отброшенным и получить травму при ударе о преграду. Однако такие случаи прямого поражения людей при землетрясениях – яв-

ления редкие, возможные при близких к предельным значениям интенсивности. Чаще всего люди поражаются косвенным путем – обломками разрушающихся сооружений или природных объектов.

Большинство объектов современной техносферы являются сейсмически уязвимыми. В частности, это относится к жилым и производственным зданиям, где чаще всего пребывает человек и где он обычно настигается землетрясением. С позиций сейсмостойкости все здания принято делить на четыре группы: А, Б, В и С. К первым трем отнесены те, которые построены без применения специальных антисейсмических мер. Здания категории С строятся по антисейсмическим проектам. Возможную степень повреждения зданий при землетрясениях принято классифицировать по пяти степеням: от о1 до о5: о1 – тонкие трещины в стенах, повреждение штукатурки; о2 – падение штукатурки, щели в перегородках (требуется текущий ремонт); о3 – обвал перегородок, сдвиг панелей, (требуется капитальный ремонт); о4 – пролом стен, обрушения перекрытий, (подлежит сносу); о5 – полное обрушение. Признаки такой классификации и зависимость степени разрушений от балльности землетрясений приведены в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Класс здания	Степень повреждения				
	о1	о2	о3	о4	о5
А: построенные из местных стройматериалов, без каркасов	6	6,5	7	7,5	8
Б: здания из кирпича с легкими перекрытиями или деревянные щитовые	6,5	7	7,5	8	8,5
В: добротные построенные каркасные железобетонные здания	7	7,5	8	8,5	9
Здания, построенные с применением антисейсмических мер					
С1: с расчетной сейсмостойкостью до 7 баллов	7,5	8	8,5	9	9,5
С2: с расчетной сейсмостойкостью до 8 баллов	8	8,5	9	9,5	10
С3: с расчетной сейсмостойкостью до 9 баллов	8,5	9	9,5	10	10,5

Землетрясением могут быть повреждены, разрушены всевозможные объекты. Повреждения объектов инфраструктуры населённого пункта часто приводят к возникновению пожаров, затоплений, загазованностей и т.п. Все это усугубляет общую картину катастрофических последствий. Разрушения происходят на фоне общего гула, резких звуков, наподобие грома.

В табл. 5.8 приведены данные по балльности землетрясений в эпицентральной области в зависимости от магнитуды и глубины очага.

Таблица 5.8

Глубина очага, км	Магнитуда M			
	5	6	7	8
10	7	8 – 9	10	11 – 12
20	6	7 – 8	9	10 – 11
40	5	6 – 7	8	9 – 10

Поражающую, разрушительную способность землетрясений можно представить из табл. 5.9, где приведены данные по трагическим последствиям далеко не полного списка землетрясений, произошедших в недалеком прошлом.

Таблица 5.9

Дата по новому стилю (согласно времени по Гринвичу)	Местоположение эпицентра (страна, район, горная система)	Магнитуда	Сила, баллы	Примечание
ЕВРОПА				
1908, 28 декабря	Остров Сицилия (Италия)	7,5		Разрушен г. Мессина и ряд других населенных пунктов на Ю. Италии. Волны цунами достигали 14 м высоты; погибло 100 – 160 тыс. чел.

Дата по новому стилю (согласно времени по Гринвичу)	Местоположение эпицентра (страна, район, горная система)	Магнитуда	Сила, баллы	Примечание
1927, 11 сентября	Южный берег Крыма, к югу от Ялты (СССР)	6,5	До 8	Повреждены многие постройки (от Севастополя до Феодосии)
1953, 12 августа	Ионические острова (Греция)	7,5	–	Разрушены населённые пункты острова Кефалиния; часть острова погрузилась под уровень моря
1963, 26 июля	Город Скопье (Скопье, Югославия)	6	9- 10	Почти 80 % зданий города разрушено или повреждено; погибло свыше 2 тыс. чел.
1969, 8 февраля	У юго-западных берегов Португалии	8	–	Пострадали города Лисабон, Касабланка и др. поверхность земли покрылась трещинами
1969, 27 октября	Юго-западная часть Югославии	6,4	9	Катастрофическое. Город Баня-Лука превращен в развалины
АЗИЯ				
1902, 16 декабря	Ферганская долина, г. Андижан (Россия)	–	9	Погибло более 4,5 тыс. чел.
1905, 4 апреля	Гималаи	8	–	
1905, 23 июля	Хребет Болнай (МНР)	8,2	–	В районе озера Сангийн-Далай-Нур-хребта Хан-Хухэй образовалась трещина длиной в 400 км
1907, 21 октября	Южный склон Гиссарского хребта (Россия)	–	9	Разрушен Каратаг и около 150 других населенных пунктов; погибло 1,5 тыс. чел.
1911, 3 января	Долина реки Кебин, южный склон хребта Заилийский Алатау (Россия)	8	9	Разрушен г. Верный (ныне Алма-Ата); обвалы, запруды на горных реках

Продолжение табл. 5.9

Дата по новому стилю (согласно времени по Гринвичу)	Местоположение эпицентра (страна, район, горная система)	Магнитуда	Сила, баллы	Примечание
1911, 15 июня	Острова Рюкю (Япония)	8,2	–	Огромные оползни и обвалы; погибло 100 тыс. чел.
1923, 1 сентября	Остров Хонсю (Япония)	8,2	–	Катастрофическое. Опустошены Токио, Йокохама; погибло около 150 тыс. чел. В бухте Сагами волны цунами достигали 10 м
1927, 7 марта	Остров Хонсю (Япония)	7,8	–	Катастрофическое. Город Минеяма превращен в руины; погибло около 1 тыс. чел.
1938, 1 февраля	Море Банда (Индонезия)	8,2	–	
1939, 26 декабря	Горы Внутренний Тавр (Турция)	8,0	–	Катастрофическое; погибло около 30 – 40 тыс. чел. На побережье Черного моря вода отступила на 50 м, а затем залила его на 20 м дальше обычного
1941, 20 апреля	Долина р. Сурхоб, посёлок Гарм (СССР)	6,5	8-9	Разрушено более 60 населенных пунктов
1946, 2 ноября	Северная часть Чаткальского хребта (СССР)	7,5	9	Повреждены сотни зданий в Ташкенте и др. городах; деформация земной коры
1948, 5 октября	Ашхабад (СССР)	7	9	Катастрофическое. В течение 20 с разрушена значительная часть города
1949, 10 июля	Гиссаро-Алайская горная система, Хаит (СССР)	7,5	Свыше 9	Пострадало более 150 населенных пунктов

Дата по новому стилю (согласно времени по Гринвичу)	Местоположение эпицентра (страна, район, горная система)	Магнитуда	Сила, баллы	Примечание
1952, 4 ноября	Курильские острова к юго-востоку от полуострова Шипунский (СССР)	8,2	–	Катастрофическое. Цунами высотой до 18 м причинили крупные повреждения на берегах Камчатки и северной части Курильских островов
1957, 27 июня	Забайкалье, Муйский хребет (СССР)	7,5	9 – 10	Разрушения в Чите, Бодайбо и др. населённых пунктах
1958, 6 ноября	Курильские острова к юго-востоку от острова Итуруп (СССР)	8,7	9	Цунами
1960, 24 апреля	Лар (Иран)	6	–	Город сильно разрушен; погибло 3 тыс. чел.
1962, 1 сентября	Среднеиранские горы (Иран)	7,8	–	Разрушительное. Полное разрушение населённого пункта Рудак; погибло 12 тыс. чел.
1966, 25 апреля	Ташкент	5,3	8	Разрушения в центральной части города. Толчки повторялись в мае-июле 1966
1970, 28 марта	Западная Турция	7	–	Катастрофическое. Ряд населённых пунктов превращен в развалины; погибло более 1 тыс. чел.
1970, 14 мая	Дагестан	6,5	8	Большой ущерб нанесен населенным пунктам Буйнакского, Гумбетовского, Казбековского, Кизильюртовского и других районов
1971, 22 мая	Восточная Турция	6,8	–	Разрушены города Бингель и Генч; погибло более 1 тыс. чел.

Дата по новому стилю (согласно времени по Гринвичу)	Местоположение эпицентра (страна, район, горная система)	Магнитуда	Сила, баллы	Примечание
1971, 5 октября	Японское море	7,3	–	Одно из самых сильных землетрясений в истории острова Сахалин
АВСТРАЛИЯ И ОКЕАНИЯ				
1906, 14 октября	Впадина Бугенвиль	8,1	–	
1931, 2 февраля	Новая Зеландия (Северный остров)	7,8	–	Катастрофическое. Разрушения и пожары
1966, 31 декабря	Острова Санта-Крус (британские)	8	–	
АФРИКА				
1960, 29 февраля	Город Агадир (Марокко)	6	11	Полностью разрушен г. Агадир; погибло 12 – 15 тыс. чел.
СЕВЕРНАЯ АМЕРИКА				
1906, 18 апреля	Береговые хребты Кордильер (Калифорния, США)	8,2	–	Разрушена значительная часть г. Сан-Франциско
1964, 28 марта	Залив Принс-Уильям (США)	8,6	10 – 11	Цунами высотой до 9 м достигли побережья Канады, США, Гавайских островов и Японии
1971, 9 февраля	Калифорния (США)	6,7	–	Сильнейшее за последние 40 лет землетрясение в Лос-Анджелесе
ЮЖНАЯ АМЕРИКА				
1906, 17 августа	Береговая Кордильера (Чили)	8,4	–	В г. Вальпараисо сопровождалось поднятием береговой линии; цунами пересекли океан, достигли Японии и Гавайских островов

Дата по новому стилю (согласно времени по Гринвичу)	Местоположение эпицентра (страна, район, горная система)	Магнитуда	Сила, баллы	Примечание
1960, 22 мая	Район г. Консепсьон (Чили)	8,8	–	Разрушительное. Цунами достигли США, Гавайских и Курильских островов, Австралии и Японии; погибло около 10 тыс. 1 чел.
1961, 19 августа	Бразилия	8	–	
1970, 10 декабря	Побережье Перу	7,3	–	Разрушено около 5 тыс. домов. Свыше 20 тыс. чел. осталось без крова

5.5.3. Оповещение людей о землетрясении

Предупреждение жителей об угрозе землетрясения является весьма затруднительным, так как точно предсказать его место и время пока невозможно. Однако знание косвенных признаков его приближения может помочь пережить данную ситуацию с наименьшими потерями. К таким признакам относятся беспричинное, на первый взгляд, беспокойство птиц и домашних животных (особенно это заметно ночью), а также массовый исход из мест обитания пресмыкающихся. Зимой ящерицы и змеи в предчувствии опасности выползают даже на снег. *Оповещение населения осуществляется передачей сообщения по сетям радиовещания и телевидения.*

Для привлечения внимания в экстренных случаях перед передачей информации включаются сирены, а также другие сигнальные средства. Сирены и прерывистые гудки предприятий, транспортных средств означают сигнал гражданской обороны «*Внимание всем!*». При этом необходимо немедленно включить громкоговоритель, радио- или телеприемник и слушать сообщение штаба гражданской обороны. При угрозе землетрясения такое сообщение может начинаться со слов: «*Внимание! Говорит штаб гражданской обороны города... Граждане! В связи с возможным землетрясением...*».

Действия людей.

При предупредительном сигнале «Внимание всем!» (сирены, прерывистые гудки).

Услышав сигнал «Внимание всем!», людям необходимо выполнить следующие действия.

1. Немедленно включить радио или телевизор для прослушивания экстренных сообщений штаба гражданской обороны.

2. Сообщить соседям и родственникам о случившемся, привести домой детей и действовать в соответствии полученной вами информации.

3. При необходимости эвакуации выполнить следующие рекомендации:

- соберите в небольшой чемодан (или рюкзак) вещи первой необходимости, документы, деньги, ценности;
- налейте в емкость с плотно закрывающейся крышкой воду, приготовьте консервированные и сухие продукты питания;
- подготовьте квартиру к консервации (закройте окна, балконы; перекройте подачу газа, воды, электроэнергии, погасите огонь в печах; приготовьте второй экземпляр ключей для сдачи в РЭП; возьмите необходимую одежду и средства индивидуальной защиты);
- окажите помощь престарелым и больным, проживающим по соседству.

При угрозе землетрясения. В этом случае необходимо действовать следующим образом.

1. Отключить газ, воду, электроэнергию, погасить огонь в печах, закрыть окна, балконы.

2. Оповестить соседей об опасности, взять с собой необходимые вещи, документы, деньги, воду, продукты и, закрыв квартиру на ключ, выйти на улицу; детей держать за руку или на руках. Обратить внимание на поведение животных: перед землетрясением собаки воют, кошки выносят потомство наружу, и даже мыши бегут из домов.

3. Выбрать место вдали от зданий и линий электропередачи и находиться там, слушая информацию по переносному радиоприемнику. Если находитесь в машине, остановитесь, не загоразивая дороги, избегая мостов, тоннелей и многоэтажных зданий. Не возвращаться домой до объявления об отсутствии угрозы землетрясения. Записать телефон сейсмической станции. Реагировать немедленно на внешние признаки землетрясения: колебание почвы или здания,

дребезжание стекол, раскачивание люстр, тонкие трещины в штукатурке. Нужно помнить, что наибольшая опасность происходит от падающих предметов, частей потолка, стен, балконов и т.п.

При внезапном землетрясении. В этом случае, когда опасность слишком близка и землетрясение угрожает вашей жизни, необходимо выполнить следующие действия.

1. При первом толчке постараться немедленно покинуть здание в течение 15 – 20 с по лестнице или через окна первого этажа (лифтом пользоваться опасно). Спускаясь вниз, на ходу стучите в двери соседних квартир, громко оповещая соседей о необходимости покинуть здание. Если вы остались в квартире, встаньте в дверной проем или в углу комнаты (у капитальной стены), подальше от окон, светильников, шкафов, навесных полок и зеркал. Берегитесь обрушивания на вас кусков штукатурки, стекол, кирпичей и т.п., спрячьтесь под стол или кровать, отвернитесь от окна и прикройте голову руками, избегайте выходить на балкон.

2. Как только стихнут толчки, немедленно покиньте здание по лестнице, прижимаясь спиной к стене. Попытайтесь выключить газ, воду, электроэнергию, захватите с собой дежурную аптечку, необходимые вещи, закройте дверь на ключ. Не допускайте своими действиями возникновения паники.

3. При наличии в соседних квартирах детей и престарелых взломайте двери и помогите им выбраться на улицу, окажите первую помощь раненым, вызовите по телефону-автомату «скорую помощь» или отправьте посыльного в ближайшую больницу за врачом.

4. Если землетрясение застало вас за рулем, немедленно остановитесь (желательно на открытом месте) и выходите из машины до окончания толчков. В общественном транспорте оставайтесь на своих местах, попросив водителя открыть двери; после толчков спокойно без давки покиньте салон.

5. Вместе с соседями примите посильное участие в разборке завалов и извлечении пострадавших из-под обломков зданий, используя для извлечения личный автотранспорт, ломы, лопаты, автомобильные домкраты и другие подручные средства.

6. При невозможности самим извлечь людей из-под обломков немедленно сообщите об этом в штаб по ликвидации последствий землетрясения (ближайшую пожарную часть, отделение милиции, воинскую часть и т.п.) для оказания помощи. Разбирайте завалы до

тех пор, пока не убедитесь, что под ними нет людей. Для обнаружения пострадавших используйте все возможные способы, определяйте местонахождения людей по голосу и стуку. После спасения людей и оказания первой медицинской помощи немедленно отправляйте их на попутных машинах в больницу.

7. Соблюдайте сами спокойствие и порядок, требуйте этого от других. Вместе с соседями пресекайте распространение панических слухов, все случаи грабежа, мародерства, других нарушений законности, слушайте сообщения по местному радио. При разрушении вашего дома следуйте на сборный пункт для получения медицинской и материальной помощи по середине улиц, обходя здания, столбы и линии электропередачи.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение чрезвычайно опасным ситуациям.
2. Приведите классификацию ЧС.
3. Дайте определение АХОВ.
4. Перечислите АХОВ общеядовитого действия и расскажите о симптомах поражения ими человека.
5. Перечислите АХОВ удушающего действия и расскажите о симптомах поражения ими человека.
6. Перечислите АХОВ нервно-паралитического действия и расскажите о симптомах поражения ими человека.
7. Перечислите ВВ кожно-нарывного действия и расскажите о симптомах поражения ими человека.
8. Перечислите ВВ психотропного действия и расскажите о симптомах поражения ими человека.
9. Перечислите ВВ раздражающего действия и расскажите о симптомах поражения ими человека.
10. Какие количественные характеристики токсичности АХОВ вы знаете?
11. Приведите классификацию токсичности АХОВ.
12. Что такое наводнение? Какие виды наводнения существуют?
13. Расскажите о механизмах образования метеорологически чрезвычайно опасных происшествий.
14. Как определяется поражающая способность землетрясений?
15. Дайте определения магнитуде и интенсивности землетрясений.

Глава 6

ОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ВОЙНЫ

6.1. Возможность войн в современную эпоху и современные средства борьбы

Война – общественно-политическое явление, главным признаком которого является использование государствами и их политическими элитами вооруженных сил для достижения политических и экономических целей [31]. Опасности, возникающие в условиях войны, имеют специфический характер, а их трагические последствия возрастают в сравнении с условиями мирного времени. Современные войны, как правило, характеризуются решительностью, истребительностью, разрушительностью военных действий на огромных территориях. Мишенями порождаемых ими опасностей становятся не только человек с ружьем, но и любой гражданин воюющей страны. Каждому ныне живущему необходимо знать, насколько вероятны войны в современном мире и какими могут быть их сценарии, прежде всего поражающие возможности современных средств вооруженной борьбы.

Минувшее столетие было периодом необычайно интенсивной гонки вооружений. В это столетие мир пережил две мировых войны (Россия была их участницей) и большое количество локальных войн. К тому же, находясь в состоянии мира, государства проявляли взаимное недоверие, ускоряли гонку вооружений. На военные цели тратились и продолжают тратиться огромные ресурсы. Характерно, что большинство выдающихся научных достижений прошлого периода, в первую очередь, реализовывались в образцах военной техники. Феноменальным, исторически значимым событием явилось, к примеру, создание ядерного оружия, ныне олицетворяющего джина, выпущенного из бутылки.

В 50-е – 60-е годы минувшего столетия мир пережил пик напряженности межгосударственных взаимоотношений. По существу, тогда он подошел к рубежу, за которым вполне реально могла возникнуть третья мировая война с невиданным до сих пор применением огромных накопленных арсеналов оружия массового поражения (ОМП). Человечество могло быть отброшено в первобытное состояние. Видение пропасти, в которую пришлось тогда заглянуть человечеству, вызвало благоразумие. Государства встали на путь поиска компромисса; начался процесс сокращения вооружений государств – лидеров этой гонки (прежде всего, США и СССР – в части ОМП).

Социально-политическая обстановка в мире постоянно изменяется. Добрососедские отношения между народами часто трансформируются в конфронтационные. Хронический недуг враждебности продолжает преследовать человечество. Возникают очаги межгосударственной, межэтнической и иной напряженности, перерастающие в очаги войн. Мир хрупок. Возможность войны, к сожалению, не исключается. Этот тезис относится и к России, возможно даже больше, чем к другим государствам.

Согласно постулатам отечественной военной науки в современную эпоху возможны войны, различающиеся по основным характерным признакам. По масштабу войны могут быть мировыми, региональными или локальными. По составу участников – двухсторонними или коалиционными. По основному виду средств борьбы – ядерной или неядерной (обычной); а по зарубежной классификации еще и химической, биологической, бактериальной, геофизической, информационной. Предельно трагическим испытанием для народов государств, вовлеченных в борьбу, может стать гипотетически возможная ядерная война, не важно мировая или региональная. Не следует игнорировать опасность возникновения и других, более умеренных по режиму ведения войн, называемых «обычными». Современные средства вооруженной борьбы, относимые к разряду обычных, ныне имеют такие технические характеристики и накоплены в таких количествах, что их полномасштабное применение может вызвать разрушения и потери населения, не меньшие, чем при ядерных ударах.

Приведем краткий обзор средств вооруженной борьбы, которые ныне состоят на вооружении армий и, следовательно, могут быть применены в условиях войны.

Общее представление о поражающей способности и разновидностях этих средств можно составить, обратившись к приводимому классификационному перечню (рис. 6.1).



Рис. 6.1

Дополним приведенную таблицу краткими комментариями. Средства доставки боеприпасов характеризуются тремя основными показателями: дальностью доставки, точностью доставки и полетным временем. Ракетные и авиационные средства имеют широкий предел дальностей, вплоть до межконтинентальных. На предельной дальности точность доставки составляет десятки – сотни метров.

Время полета ракеты на межконтинентальной дальности около 20 мин. Скорость полета стратегического (межконтинентального) бомбардировщика более тысячи километров в час.

Теперь приведем краткие сведения о боеприпасах. Боеприпасы являются основными поражающими элементами систем вооружения. Их, как видим, принято делить на «обычные» и ОМП. Название «обычные» не должно вводить в заблуждение; в этих боеприпасах сконцентрировано столько ноу-хау, что их логичнее было бы назвать необычными.

Пулевые боеприпасы представляют собой монолитные металлические снаряды или пули, которые поражают цель за счет большой скорости встречи с нею. Пули стрелкового оружия предназначаются, главным образом, для поражения людей (на военном языке – живой силы противника), хотя нетрудно представить и иные цели поражения. Монолитные артиллерийские снаряды используются для разрушения высокопрочных сооружений.

Поражающее действие осколочных боеприпасов (снарядов, бомб, гранат, мин и т.п.) формируется за счет осколков, образующихся при их взрыве. За счет энергии взрыва осколки приобретают большие скорости и тем самым как бы образуют целый рой разлетающихся пуль. Ноу-хау осколочных боеприпасов представляют так называемые шариковые бомбы. Это изделие размером до футбольного мяча, состоящее из нескольких сотен шариков радиусом 5 – 6 мм и заряда взрывчатого вещества. Такие бомбы собираются в кассеты по несколько десятков штук. При срабатывании у цели бомбы кассеты разлетаются на определенные удаления и взрываются. В результате формируется облако разлетающихся шариков с площадью поражения людей в радиусе нескольких сотен метров. По поражающей способности такая кассета шариковых бомб сравнима с ядерным боеприпасом небольшой мощности.

Поражающее действие фугасных боеприпасов основано на воздушной ударной волне (см. разд. 6.3). Параметры ударной волны зависят от количества взрывчатого вещества в боеприпасах. В авиационной бомбе это количество может достигать нескольких тонн. В качестве взрывчатого вещества чаще всего используется тротил. Заметим, что удельная энергия взрыва тротила составляет $4,2 \cdot 10^6$ Дж/кг (к этой характеристике вернемся позже, сравнивая ядерные боеприпасы с обычными). И в конструкциях фугасных

боеприпасов используются свои ноу-хау, например так называемые боеприпасы объемного взрыва. В них заряд представляет углеводородную смесь, которая при срабатывании боеприпаса у цели распыляется в воздухе и взрывается. Параметры образуемой при таком взрыве ударной волны в несколько раз выше, чем при монолитном взрыве равного количества углеводородной смеси. В результате в соответствующее число раз повышается поражающая способность объемного взрыва.

Поражение зажигательных боеприпасов достигается за счет высокотемпературного ($\approx 3000\text{ }^{\circ}\text{C}$) горения разбрызгиваемых в момент его взрыва смесей нефтепродуктов и металлов. Такие смеси, как правило, являются самовоспламеняющимися. Частным вариантом зажигательных боеприпасов являются напалмовые боеприпасы, зажигательная смесь в которых представляет собой нефтепродукты, активизированные загустителем. Попадая на тело человека (на поверхность объекта), такая смесь как бы спекается с его тканями (материалом) и не поддается тушению или сбрасыванию с поражаемого участка.

В последние годы в средствах массовой информации появились сообщения о разработке «экзотических» образцов обычного оружия. В частности, появилось несмертельное оружие, способное несмертельно и временно поражать человека (звуком, светом, излучениями) или оружие, обладающее избирательностью поражения людей – так называемое «этническое оружие» и др. Однако фактов применения таких видов оружия пока не установлено.

Оружием массового поражения (ОМП) называют средства вооруженной борьбы, обладающие огромной массовостью и специфическими механизмами поражения людей и объектов. В ныне сложившихся условиях основным видом ОМП является ядерное оружие. Оно имеет статус не запрещенного международным правом оружия, и его потенциальная поражающая способность превосходит все другие виды оружия. Россия является одним из государств, обладающих ядерным оружием. Это, с одной стороны, обеспечивает ее безопасность, но, с другой стороны, увеличивает риск вовлечения в международный конфликт с его применением. Имея в виду эти обстоятельства, далее более подробно рассмотрим специфические опасности, создаваемые взрывами ядерных боеприпасов, другие виды упомянем кратко.

Химическое оружие основано на использовании *токсичных* боевых *отравляющих* веществ (см. разд. 5.2.2). Химическими боеприпасами могут быть снаряды, бомбы, гранаты, различные распылительные и разливные устройства. Ноу-хау в области химического оружия – бинарные химические боеприпасы, снаряжаемые двумя нетоксичными компонентами, образующими при взрывном смешивании боевое отравляющее вещество. Безопасность хранения и применения таких боеприпасов существенно повышается.

Бактериологическое (биологическое) ОМП основано на использовании различных организмов, микроорганизмов или токсичных биологических продуктов, способных вызывать гибель или болезни людей, животных, растений, как правило, инфекционные. В качестве возбудителей и переносчиков инфекционных болезней могут использоваться насекомые, паразиты, вирусы, бактерии, грибки, простейшие. Они могут обладать избирательным действием, например по расовому признаку. Их применение может быть скрытым, закамуфлированным под естественные очаги заболеваний.

По химическому и бактериологическому ОМП в настоящее время заключены международные соглашения о его запрещении. С 29 августа 1998 г. вступила в силу конвенция «О запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и о его уничтожении». Конвенция подписана 130-ю государствами мира.

С 26 марта 1975 г. вступила в силу конвенция «О запрещении разработки, производства, накопления запасов бактериологического (биологического) и токсического оружия и об их уничтожении». Участниками этой конвенции ныне являются более 100 государств.

Обе конвенции – бессрочные. Россия является их участницей.

Важно отметить факт бурного развития во второй половине XX в. не только боеприпасов, но и средств их доставки к целям. На свет появились такие монстры, как ракетные, авиационные, подводные.

6.2. Ядерное оружие

Начальными импульсами, приведшими человечество к созданию ядерного оружия, можно признать два открытия, сделанные физиками на рубеже XIX и XX вв. *Первое*: в 1986 г. А. Беккерель

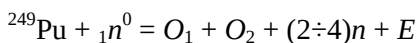
открыл естественную радиоактивность некоторых химических элементов, по существу процесс самопроизвольного превращения атомов одного элемента в атомы другого. *Второе:* в 1905 г. А. Эйнштейн в поисках ответа на вопрос, зависит ли инертность тела от содержания в нем энергии, установил знаменитую зависимость энергии E , массы тела m и скорости света c : $E = mc^2$. Физики поняли и скоро экспериментально доказали, что энергию можно получать путем ядерных реакций, т.е. реакций, в ходе которых преобразуются ядра взаимодействующих атомов.

Разразившийся в 30-е годы общемировой кризис во взаимоотношениях государств, спровоцировал нацеливание исследований по этой проблеме на военные нужды. Первые старты такие физические исследования в военных целях были сделаны в Германии. Однако неизбежные в подобной работе неудачи «арийских» физиков в условиях военного времени и ослабленной войной экономики не позволили достичь конечной цели до момента поражения Германии.

Государством, где были созданы первые образцы ядерных боеприпасов, были США. Уже в 1945 г. на атомном полигоне США был испытан первый ядерный заряд. «Ярче тысячи солнц» – так резюмировал свое впечатление от увиденного взрыва один из очевидцев. В том же 1945 г. две ядерные бомбы были сброшены американцами на японские города Хиросима и Нагасаки.

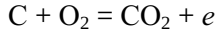
В 1949 г. был произведен испытательный ядерный взрыв в СССР. Далее началась гонка ядерных вооружений.

В целях последующего рассмотрения поражающих факторов ядерного взрыва и возможной защиты от них ознакомимся с устройством ядерного боеприпаса и принципом его срабатывания. В типичном ядерном боеприпасе энергия получается в процессе взрывного (быстро протекающего) деления ядер плутония под воздействием нейтронов. Эту реакцию можно записать в виде



Здесь O_1 и O_2 – осколки ядра плутония; E – энергия, освобождаемая при делении ядра.

Понять смысл этой реакции легко, обратившись к уравнению, описывающему процесс горения, скажем, углерода (угля) в кислородной среде:



Здесь e – энергия, выделяемая при окислении атома углерода.

Сравнивая две приведенные записи реакций, видим, что каждая из них сопровождается выделением энергии. Но принципиальное отличие реакций состоит в величинах E и e . При химических превращениях атомов e может достичь нескольких десятков электрон-вольт, в то время как при одном акте деления ядра плутония выделяется примерно 200 млн эВ, т.е. в десятки миллионов раз больше.

Теперь обратимся к схеме устройства ядерного боеприпаса. Если горение угля в топке котла организовать и поддерживать ныне может каждый, то осуществить ядерную реакцию оказывается делом технически очень сложным.

Ядерный боеприпас схематически можно представить, как показано на рис. 6.2.

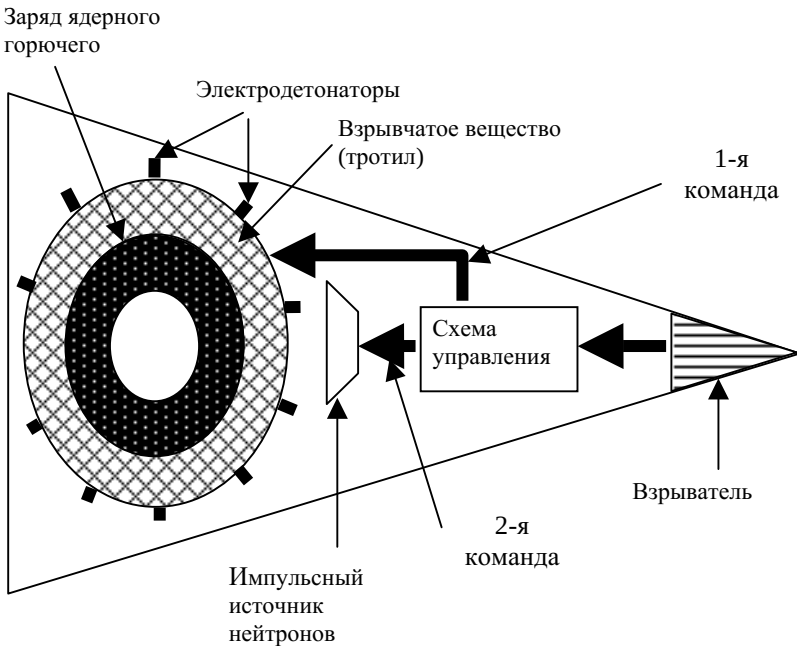
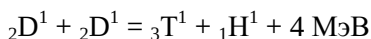
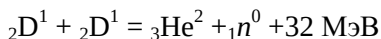
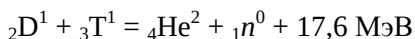


Рис. 6.2

При подлете боеприпаса к цели от удара или по командному радиосигналу срабатывает взрыватель, запускается устройство управления. Это устройство вырабатывает две команды. Первая команда – на одновременное срабатывание электродетонаторов. Взрыв тротилового заряда формирует сферически сходящуюся детонационную волну, которой ядерный заряд сжимается в шар, и за счет этого создаются условия для лавинообразного развития ядерного взрыва. Момент начала этого взрыва задается второй командой на нейтронный источник. Этот источник генерирует импульс нейтронов, который инициирует начало цепной реакции ядерных превращений (делений) плутония. Длительность всех этих процедур срабатывания ядерного боеприпаса около одной микросекунды. За это время должна успеть прореагировать как можно большая часть ядерного заряда.

Мощность (строго говоря, энергию) ядерного взрыва (или ядерного боеприпаса) принято выражать тротиловым эквивалентом, т.е. массой тротила, при взрыве которого выделяется столько же энергии, сколько и при взрыве данного боеприпаса. Несложно показать, что полное деление ядер одного килограмма плутония эквивалентно примерно 20 т тротила.

Ядерные боеприпасы описанной схемы называются *однофазными*, а еще – *атомными*. Мощность ядерного боеприпаса можно существенно повысить, скомпоновав в нем дополнительный элемент – термоядерный заряд. Он может состоять из изотопов водорода, лития. В нем при температуре в миллионы градусов (а именно до таких температур термоядерное горючее разогревается за счет взрыва ядерного заряда, уже описанного ранее) развивается реакция термоядерного синтеза по таким возможным вариантам:



Энергия, выделяемая при термоядерных превращениях единицы массы заряда, в несколько раз превышает аналогичный показатель реакций деления ядер тяжелых элементов. Боеприпасы, устроенные

по такой схеме, называются *термоядерными*. Возможны и более «экзотические» конструктивные схемы ядерных боеприпасов.

Современные ядерные боеприпасы характеризуются широким диапазоном тротильных эквивалентов – от тысячи до десяти миллионов тонн. Максимальное значение этого показателя, достигнутое при испытательных взрывах, составляет примерно 50 млн т.

В середине прошлого века в условиях гонки вооружений в мире образовался клуб ядерных государств – США, СССР, Великобритания, Франция, КНР. Именно в такой последовательности они вошли в эту пятерку государств. Характерным показателем активности этих государств по созданию ядерного оружия является количество испытательных ядерных взрывов, осуществленных ими в атмосфере, под водой, под землей (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Государство	В атмосфере	Под водой	Под землей	Всего
США	200	5	894	1099
СССР	212	3	500	750
Великобритания	22	–	21	43
Франция	45	–	143	188
Китай	22	–	15	37

На сегодняшний день к этой группе следует причислить несколько государств, осуществивших испытательные ядерные взрывы и создавших относительно небольшое количество ядерных боеприпасов. К ним относятся Индия, Пакистан; близко к ним находятся Израиль, Северная Корея; стремится к ним Иран.

Всего всеми государствами было произведено около 125 тыс. боеприпасов.

Многие государства современного мира обладают возможностью обзавестись собственным ядерным оружием. Сдерживается процесс распространения ядерного оружия политическими и экономическими соображениями руководств этих государств.

Основной запас ядерного оружия находится в арсеналах армий США и РФ. Главная доля этих запасов приходится на так называемую стратегическую триаду их вооруженных сил: межконтинен-

тальные баллистические ракеты (МБР), атомные подводные лодки (АПЛ) и стратегические бомбардировщики (СБ).

Дополнительно к этим триадам ядерные боеприпасы имеются в составе средств средней дальности и тактических средств (оружие поля боя).

Наибольшее количество ядерного оружия в мире приходится на период 70-х годов. Затем наступил период сдерживания и сокращения ядерных вооружений. В настоящее время общий запас ядерного оружия США составляет около 11000 ед., из них около 3000 установлено на готовых к запуску МБР и АПЛ. Кроме того, имеется много тысяч компонентов ядерных боеприпасов, которые могут быть оперативно превращены в полноценные боеприпасы. Примерно таким же арсеналом ядерных средств обладает и Россия, хотя по техническому состоянию этих средств она отстает от США.

С ужасами гипотетически возможного полномасштабного применения ядерного оружия в войне ничто другое сравниться не может. Мировая общественность осознала это не сразу, а, осознав, начала пятиться от роковой черты, переход за которую с большой вероятностью ведет к гибели цивилизации. Не доверяя друг другу, государства отходят от опасной черты поэтапно. Главный признак этого движения к ядерной безопасности – достижение договоренностей и заключение договоров.

К числу ныне действующих международных договоров в части обуздания ядерной опасности можно отнести следующие.

1. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний от 1996 г. Запрещается проведение испытательных взрывов в любых средах. Подписан 165 государствами, ратифицирован 91 государством. Договор пока не вступил в силу, так как до сих пор не достигнуто условия – его должны ратифицировать 44 государства. Из стран «ядерного клуба» не ратифицировали договор США и Великобритания. Еще даже не подписали договор Индия, Пакистан, Северная Корея. За соблюдением положений договора создана международная система мониторинга (МСМ) – 337 лабораторий по всему миру, в том числе на территории России 32 лаборатории.

2. Договор о нераспространении ядерного оружия 1970 г. Договор запрещает государствам-участникам приобретать или передавать неядерным государствам ядерное оружие или оказывать помощь в его производстве. Ядерные технологии мирного направле-

ния не запрещаются, но они должны осуществляться под контролем МАГАТЭ.

3. Договор между СССР и США о сокращении и ограничении наступательных вооружений (СНВ-1) 1991 г. Позже обязательства по этому договору приняла на себя Россия. Этот договор, как объявили Россия и США, выполнен полностью.

Согласно данному договору каждая из договаривающихся сторон обязана иметь в составе своей «триады» не более 1900 средств доставки с суммарным количеством боезарядов на них не более 7950, в том числе для МБР и АПЛ – не более 6750 боезарядов.

4. Договор между СССР и США о ликвидации ракет средней и малой дальности (от 500 до 5000 км) 1987 г. По этому договору было уничтожено 2700 средств доставки ядерных боеприпасов.

5. Договор между Россией и США о сокращении стратегических наступательных потенциалов (СНП) 2004 г. По данному договору США обязались к концу 2012 г. иметь на вооружении не более 2200 боезарядов на своих средствах доставки. Этим гарантируется сохранение ядерного паритета России и США.

6.3. Поражающие факторы ядерного взрыва

В итоге ядерных превращений в объеме взрыва, длящегося несколько микросекунд, выделяется огромное количество энергии, в нем вещество приобретает состояние плазмы. Последующие процессы, порождаемые областью взрыва, формируют в окружающей среде поражающие факторы [32 – 33].

Перечень порождаемых ядерным взрывом поражающих факторов, их параметры, определяющие поражающую способность, в сильной степени зависят от окружающей среды. Далее, рассматривая поражающие факторы, будем ориентироваться на приземные ядерные взрывы, осуществляемые на высоте от нуля до нескольких километров, когда параметры атмосферы можно считать постоянными. При рассмотрении поражающих факторов ядерных взрывов будем иметь в виду и то обстоятельство, что фактически любой из них может иметь место при катастрофах другой природы (аварии на АЭС, взрывы на промышленных объектах и т.п.).

6.3.1. Ударная волна

Ударная волна представляет собой область сжатого воздуха, движущуюся от точки взрыва во все стороны со сверхзвуковой скоростью. На ударную волну приземных ядерных взрывов приходится около 50 % энергии взрыва. С увеличением высоты эта доля уменьшается и на высоте более 30 км ударная волна не возникает.

Ударная волна порождается давлением продуктов взрыва. К моменту завершения ядерных превращений в области взрыва давление продуктов достигает значения 1011 кПа. В результате ударного воздействия продуктов области взрыва на воздух, последний перемещается и сжимается. В некоторый момент времени слой сжатого воздуха отрывается от находящейся внутри его светящейся области и в дальнейшем движется самостоятельно, не подпитываясь от него энергией.

Картину ударной волны целесообразно изобразить в координатах давление-расстояние. В некоторый произвольный момент времени t , отсчитываемого от момента взрыва, картина ударной волны будет такой, как показано на рис. 6.3.

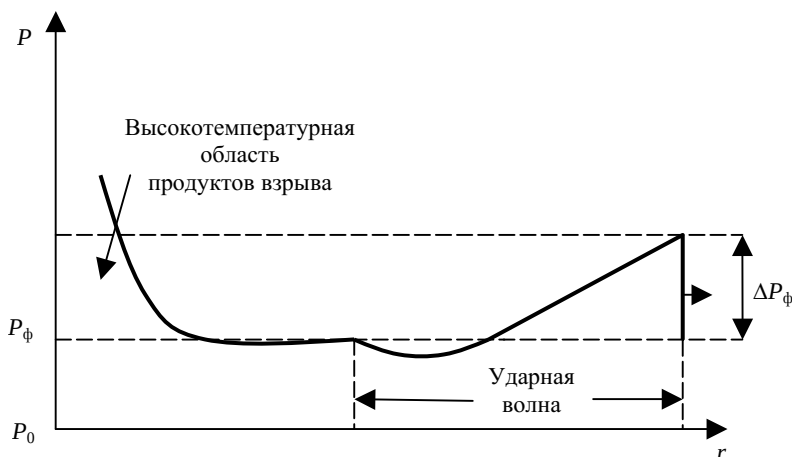


Рис. 6.3

В пространстве, куда еще не пришла ударная волна, воздух имеет нормальные параметры: P_0 — давление, T_0 — температура, ρ_0 —

плотность, U_0 – скорость движения воздуха. На границе ударной волны эти параметры скачкообразно изменяются:

$$P_\phi > P_0, \quad T_\phi > T_0, \quad \rho_\phi > \rho_0, \quad U > 0.$$

Фронт ударной волны движется в воздушной среде со скоростью $D > C_0$ (C_0 – скорость звука в невозмущенном воздухе). За фронтом ударная волна имеет две фазы: сжатия (где $P > P_0$) и разряжения (где $P < P_0$). В фазе сжатия воздух движется от центра взрыва со скоростью $U > 0$ (во фронте $0 < U_\phi < D$), а в фазе разряжения – к центру, $U < 0$.

Если теперь проследить во времени картину ударной волны на некотором расстоянии от взрыва, то она представится в виде, показанном на рис. 6.4.

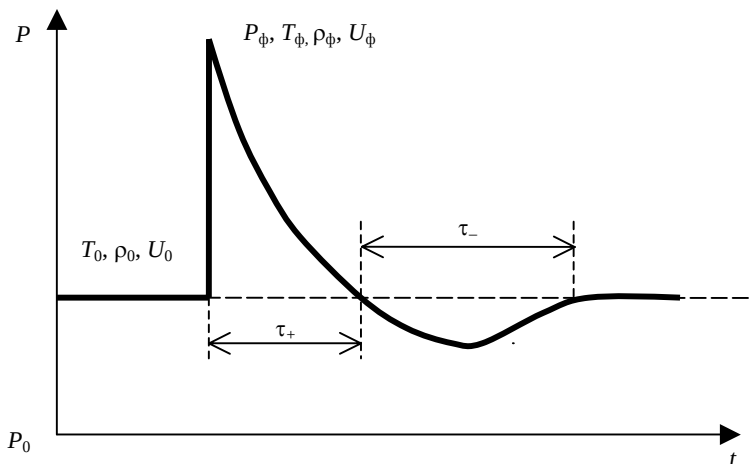


Рис. 6.4

От момента взрыва до момента прихода ударной волны в точку наблюдения воздух будет сохранять параметры невозмущенной среды. В момент $t_{\text{пр}}$ давление скачкообразно возрастет до величины P_ϕ и будет плавно снижаться, уменьшаясь до некоторой величины $P_{\text{min}} < P_0$, а затем восстановится до величины P_0 . Подобный процесс будет наблюдаться и с параметрами T_0, ρ_0 , хотя, строго говоря, конечные значения этих параметров не достигнут начальных. В течение

ние времени τ_+ будет иметь место сильный порыв ветра от центра взрыва, а в течение τ_- – к центру. Продолжительность фазы сжатия (τ_+) пропорциональна корню кубическому из энергии взрыва и может составлять от десятых долей секунды до нескольких секунд. Продолжительность фазы разряжения несколько больше, чем τ_+ .

Любой из приведенных параметров ударной волны зависит, в основном, от расстояния между точкой наблюдения и точкой взрыва (R) и тротилового эквивалента (q). Имеет место, конечно, менее существенная зависимость от высоты взрыва, погодных условий, времени года (снежного покрова) и т.п. Пренебрегая этим для приземного взрыва можно привести следующую полуэмпирическую зависимость избыточного давления во фронте ударной волны ($\Delta P_\phi = P_\phi - P_0$):

$$\Delta P_\phi = 105X + 410X^2 + 1370X^3, \text{ кПа}, \quad (6.1)$$

где $X = \sqrt[3]{q}/R$; q – тротиловый эквивалент, кг; R – расстояние между точкой наблюдения и точкой взрыва, м.

В большинстве практически решаемых вопросов необходимо знать именно параметр ΔP_ϕ . Поэтому ударную волну взрыва обычно характеризуют значением ΔP_ϕ . Любой другой параметр ударной волны или какой-либо эффект ее воздействия на объекты может быть выражен через ΔP_ϕ .

Механизм поражающего воздействия ударной волны на объекты и людей представить несложно. С приходом ударной волны на протяжении фазы сжатия объект будет испытывать всестороннее обжимающее давление. Давление будет «затекать» во все внутренние полости объекта, если они сообщаются с атмосферой. В результате могут деформироваться элементы объекта (вдавлена крыша здания, стены, выдавлены окна, двери и т.п.) или объект может быть полностью разрушен.

Воздействуя на человека, ударная волна резко вдавливают органы живота в грудную клетку, соответствующим ударом может поразить сердце (вызвать разрыв) или другой жизненно важный внутренний орган. Затекая в легкие и уши, может вызвать разрыв легочных тканей и барабанных перепонок, удушье из-за кровоизлияния в легкие. Возможно кровоизлияние в мозг. Поражение челове-

ка ударной волной со смертельным исходом происходит при избыточном давлении во фронте ударной волны в 100 кПа.

Для ударных волн ядерных взрывов имеет место второй механизм поражения – метательный или опрокидывающий. Дело в том, что при одном и том же избыточном давлении во фронте продолжительность фазы сжатия ударной волны ядерного взрыва значительно больше (2 – 3 с), чем при химическом взрыве (1 – 2 мс). Движущийся за фронтом ударной волны ядерного взрыва воздух при встрече с преградой останавливается, обтекает ее, при этом создается дополнительное давление скоростного напора на воспринимающую поверхность выступающей над поверхностью земли части объекта. Величину этого давления можно выразить через избыточное давление во фронте ΔP_ϕ и давление окружающего воздуха в нормальном состоянии P_0 :

$$\Delta P_{\text{ск}} = \frac{2,5\Delta P_\phi^2}{\Delta P_\phi + 7P_0}. \quad (6.2)$$

Произведение этого давления на величину воспринимающей поверхности дает сдвигающую силу скоростного напора. Силой скоростного напора объект может быть опрокинут или отброшен; вырываются детали сооружений (например, крыши домов), деревья с корнями, опрокидываются автомашины и другие подобные объекты.

Человек может быть повален или отброшен, получив при этом ушибы, травмы и даже смертельный удар. Вот почему рекомендуется при виде вспышки ядерного взрыва упасть на землю так, чтобы воспринимающая скоростной напор поверхность тела оказалась минимальной.

Если человек будет подхвачен потоком скоростного напора и ему будет сообщена скорость более 3 м/с, то при ударе о жесткую преграду он может получить повреждения (ушибы, переломы, кровоизлияния). Летальный исход возможен при скорости 5,5 м/с (удар головой) и при 16,5 м/с (удар телом).

Помимо описанных механизмов поражения человек может быть поражен ударной волной косвенно: падающими и летящими предметами, поднятой пылью с концентрацией, вызывающей удушье, действием агрессивных веществ, разбрасываемых из производственных емкостей и т.п.

Следует отметить, что среди всех пострадавших, но оставшихся в живых жителей Хиросимы и Нагасаки, 75 % имели механические повреждения, полученные в результате прямого или косвенного воздействия ударной волны.

6.3.2. Световое излучение

Световым излучением взрыва называют электромагнитное излучение области взрыва в видимом, ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах. При ядерном взрыве световое излучение формируется следующим образом.

Выделившаяся при ядерных реакциях энергия разогревает продукты зоны взрыва до температуры примерно 30 млн °С. Соответствующий огненный шар в дальнейшем увеличивается в размерах, остывает, излучая в пространство световую энергию. Существуют приближенные эмпирические зависимости:

для времени существования (наблюдения) светящейся области

$$t_{c.o} = 0,1 \sqrt[3]{q}, \text{ с}; \quad (6.3)$$

для максимального радиуса светящейся области

$$r_{c.o} = 8,8 \sqrt[3]{q}, \text{ м}; \quad (6.4)$$

где q – тротиловый эквивалент взрыва, т. При $q = 1$ млн т получим $t_{c.o} = 10$ с и $r_{c.o} = 880$ м.

На световое излучение приземного ядерного взрыва приходится около 35 % полной энергии взрыва. Исходя из этого, можно записать выражение для вычисления основного параметра светового излучения, а именно – светового импульса

$$U = \frac{0,35q \cdot 4,2 \cdot 10^6}{4\pi R^2} e^{-kR}, \quad (6.5)$$

где U – световой импульс, Дж/м²; q – тротиловый эквивалент, кг; R – расстояние между точкой наблюдения и точкой взрыва, м; k – коэффициент поглощения светового излучения в воздухе, м⁻¹.

Теперь рассмотрим последнее, но важное – механизм формирования светового излучения при ядерном взрыве. Вещество при

столь высокой температуре, какую имеет область взрыва, излучает энергию в основном в рентгеновском диапазоне электромагнитных волн. Если бы вокруг области взрыва не было воздуха, то зрительно мы не обнаружили бы светящуюся область. При взрыве в приземной атмосфере рентгеновское излучение поглощается в тонком прилегающем слое воздуха, вызывая его разогрев. Наблюдатель в этом случае регистрирует кажущуюся температуру светящейся области, температуру ее внешнего слоя, которая значительно ниже истинной температуры продуктов, находящихся внутри светящейся области. Вследствие этого в разряженных слоях атмосферы и в космическом пространстве картина светового излучения будет существенно иной.

Световое излучение может поражать человека либо непосредственно, т.е. в результате поглощения излучаемой энергии кожными покровами (световой ожог), либо косвенно, т.е. воздействием пламени возникших пожаров (ожог пламенем). Второй механизм поражения имеет место и при обычных пожарах.

В Хиросиме и Нагасаки погибшие от действия светового излучения составили 50 %, т.е. относительно большая часть. Среди пострадавших 65 % имели поражения, вызванные световым излучением. Этому способствовала ясная погода в летний день. Наблюдались ожоги разной степени – от покраснения до обугливания кожи.

Световой ожог может произойти не только при действии на открытые участки тела, но и на скрытые под легкой одеждой, особенно плотно прилегающей к телу. Одежда белого цвета обладает большей отражающей способностью и лучше защищает от светового излучения.

Световой ожог при величине светового импульса $\approx 200 \text{ кДж/м}^2$ вызывает поражение, делающее человека беспомощным, а смертельный исход может наступить при световом импульсе в 400 кДж/м^2 . Поражение человека световым излучением может быть вызвано действием на сетчатку глаза. Если человек в момент взрыва обращен в сторону взрыва, то излучение фокусируется на сетчатке глаза и может вызвать его ожог. Человек временно становится незрячим, возникает болезнь в форме помутнения хрусталика, отслоения сетчатки.

Высокое поражающее действие светового излучения ядерного взрыва на объекты достигается за счет поглощенной энергии: мате-

рия разогревается, давление его паров у поверхности повышается. Когда давление паров и их температура превысят порог воспламеняемости, происходит воспламенение материала, на объекте возникает пожар. Он также может возникнуть из-за разлития легковоспламеняющихся жидкостей, разрушения емкостей с газом и т.п. В Хиросиме и Нагасаки воспламенение бумаги, сухого дерева имело место в радиусе около 1 км, зона сплошных пожаров захватывала круг радиусом 1,6 км. В Хиросиме, кроме того, через 20 мин после взрыва возник огненный шторм, продолжавшийся 3 ч, скорость ветра достигала 65 км/ч.

6.3.3. Проникающая радиация

Заметим, прежде всего, что термин «проникающая радиация», введенный в употребление в процессе испытаний ядерного оружия, эквивалентен современному понятию «ионизирующее излучение».

Проникающей радиацией называется поток гамма-лучей и нейтронов, обладающих высокой проникающей способностью и, следовательно, оказывающих поражающее действие на значительном удалении от места взрыва.

Источники проникающей радиации при ядерном взрыве:

- ядра исходных продуктов ядерного заряда в момент их ядерных превращений;
- непрореагировавшие продукты заряда делящихся веществ;
- осколки деления ядер делящегося вещества;
- ядра атомов окружающей среды, ставшие радиоактивными в результате захвата первичных ионизирующих излучений в области ядерного взрыва (продукты активации).

Продолжительность импульса проникающей радиации при ядерном взрыве в приземных слоях составляет всего 10 – 15 с. Это определяется временем подъема высокотемпературной области взрыва вместе с радиоактивными продуктами на высоту в несколько километров, откуда нейтроны и гамма-кванты вследствие поглощения в воздухе не достигают земной поверхности.

Хотя на долю проникающей радиации приходится всего 3 % энергии взрыва, специфика ее воздействия вызывает массовое поражение людей и животных.

Основная величина, определяющая степень воздействия проникающей радиации, – *поглощенная доза*. Она определяется как отношение энергии, переданной излучением элементарному объему вещества, к массе вещества в этом объеме и в системе СИ измеряется в греях (Гр): $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$.

Доза, создаваемая проникающей радиацией, сложным образом зависит от параметров q и R , высоты взрыва и рельефа местности. Упрощенное выражение для значения экспозиционной дозы γ -излучения имеет вид

$$D = \frac{2,8 \cdot 10^9 q}{R^2} e^{-R/320}, \quad (6.6)$$

где D – экспозиционная доза, рад; q – тротиловый эквивалент взрыва, тыс. т; R – расстояние между точкой наблюдения и точкой взрыва, м.

Следующий пример может служить иллюстрацией ориентировочных размеров зоны поражения проникающей радиации. При $q = 1$ тыс. т доза в 100 рад (вызывающая начальные признаки лучевой болезни у людей) создается на расстоянии около 1 км, а при $q = 1$ млн т – на расстоянии около 2,5 км.

За счет специально принятых конструктивных мер в ядерном боеприпасе можно значительно увеличить выход нейтронов на единицу мощности ядерного взрыва. Эта идея реализована, в частности, в так называемых нейтронных ядерных боеприпасах, применение которых на поле боя позволяет значительно повысить поражение живой силы противника нейтронной радиацией. Поражающее действие проникающей радиации было подробно рассмотрено в гл. 2, поэтому здесь только коснемся этой темы. Проникающая радиация обуславливает лишь внешнее облучение организма нейтронами и γ -квантами. При дозе излучения от 100 до 200 бэр, как правило, появляются признаки лучевой болезни: тошнота, слабость, – проходящие через несколько недель. При дозе от 200 до 1000 бэр после скрытого периода в несколько часов возникает рвота, головокружение, потеря памяти. Излечение при этом возможно, но остаточные признаки поражения сохраняются (по составу крови, выпадение волос, деторождаемость и др.). Смертельный исход

возможен при дозе 600 бэр, а практически 100 % смертность наступает при дозе в 1000 бэр примерно через две недели.

Заметим, что в Хиросиме и Нагасаки доля погибших от проникающей радиации была 15 %, среди пораженных, но оставшихся в живых, эта доля составила 30 %.

6.3.4. Радиоактивное заражение (загрязнение) местности

По своей природе и механизму образования радиоактивное заражение местности при ядерном взрыве одинаково с тем, что может иметь место при крупных авариях на АЭС. Отличие, по сути, состоит в численных характеристиках заражения.

При ядерном взрыве на одну килотонну энергии взрыва образуется 37 г радиоактивных продуктов, начальная активность которых составляет примерно 30 тыс. Бк. Если взрыв осуществлен вблизи земли (когда светящаяся область хотя бы касается ее поверхности), то значительная часть грунта плавится, испаряется, восходящим потоком втягивается в область взрыва, где перемешивается с радиоактивными продуктами.

Так при наземном взрыве с тротиловым эквивалентом 1 млн т в облако вовлекается 20 тыс. т грунта. Имея высокую температуру, облако взрыва расширяется в размерах, поднимается и примерно через 1 мин, достигает предельную высоту в несколько километров. Одновременно идет остывание продуктов, находящихся в облаке: они конденсируются, образуя пылинки. Эти радиоактивные пылинки оседают на поверхность земли в процессе движения облака со скоростью ветра на его высоте. В результате местность оказывается зараженной радиоактивными продуктами (рис. 6.5).

Степень радиоактивного заражения местности принято характеризовать значением уровня радиации – мощности экспозиционной дозы, традиционно выраженной в рад/ч или в производных от этой единицы. Если построить границу зоны заражения с некоторым значением уровня радиации P , то на некоторый момент времени t после взрыва теоретически эта зона будет представлять часть эллипса, со временем – полный эллипс. Чем меньше значение P , тем больше размеры эллипса. Все эллипсы начинаются в эпицентре взрыва. Вокруг эпицентра, кроме того, будет иметь место область в форме круга, где заражение местности обусловлено наведенной

нейтронами в момент взрыва активности в веществе грунта (рис. 6.6).

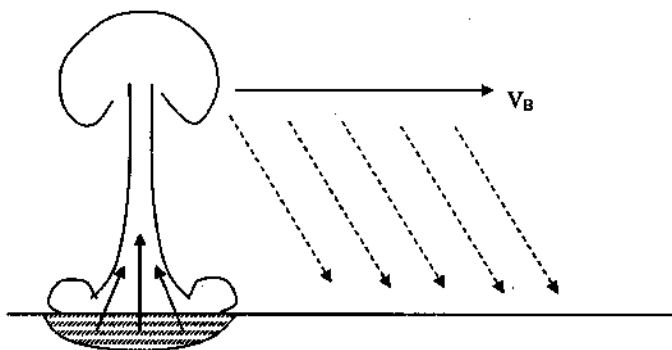


Рис. 6.5

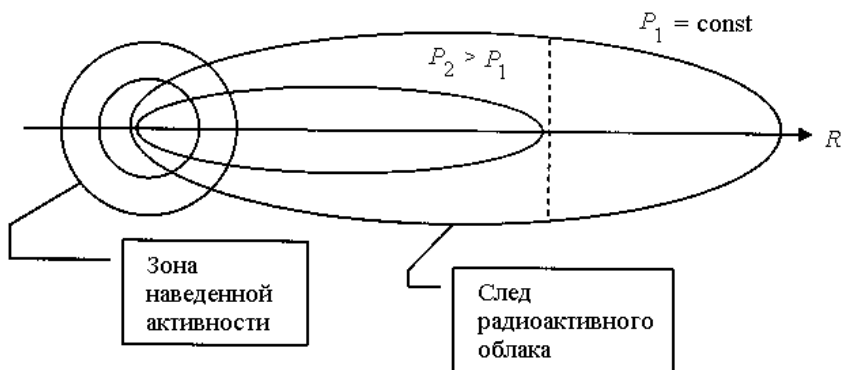


Рис. 6.6

На практике зоны радиоактивного заражения могут иметь более сложную конфигурацию. В военной практике зоны радиоактивных заражений принято выявлять для следующих четырех значений уровня радиации на момент завершения выпадения продуктов: 8, 80, 240 и 800 Р/ч. Чтобы представить себе возможные масштабы радиоактивного заражения местности при ядерном взрыве, приведем следующий пример. При $q = 1$ млн т и скорости ветра 24 км/ч

прогнозируемые зоны заражения будут иметь размеры, которые даны в табл. 6.2.

Таблица 6.2

P , рад/ч	800	240	80	8	1
Длина зоны, км	20	30	60	120	300
Ширина зоны, км	15	20	25	30	50
Время после взрыва, ч	1	2	3	5	12

Радиоактивные продукты, осевшие на следе радиоактивного облака, непрерывно распадаются. Установлена следующая зависимость обусловленного этим снижения уровня радиации со временем t :

$$P(t) = P_0(t/t_0)^{-1,2}, \quad (6.7)$$

где P_0 – значение уровня радиации на момент ее образования (t_0) в данной точке. Времена t и t_0 отсчитываются от момента взрыва.

Очевидно, что предельная доза, которая может быть получена человеком, оказавшимся на местности с начальным уровнем заражения P_0 и пробывшим там до момента t_k , когда уровень уменьшился до P_k , будет равна:

$$D = 5(P_0 t_0 - P_k t_k). \quad (6.8)$$

При $t \rightarrow \infty$ произведение $P_k t_k \rightarrow 0$, поэтому предельная доза

$$D_{\text{пр}} = 5P_0 t_0. \quad (6.9)$$

Заметим, что значение показателя степени 1,2 в выражении (6.7) справедливо на протяжении нескольких месяцев после взрыва. Для больших времен его значение должно быть увеличено, в пределе до 1,5.

Завершая рассмотрение поражающих факторов ядерного оружия, отметим, что были изложены лишь самые существенные моменты этой проблемы, да и то в упрощенном представлении. Мы не касались таких поражающих факторов, как электромагнитный импульс, сейсмические волны в грунте (подобие землетрясений), эффектов при взрыве над морем, в море и в космосе. Эти явления малозначительны с позиций безопасности населения.

История распорядилась так, что использование внутриядерной энергии с момента открытия способов ее освобождения было подчинено военным целям. Огромные научные коллективы были мо-

билизованы на разрешение многочисленных проблем этой супер-проблемы. Ее хронология полна трагическими моментами, а на сегодня трагизм состоит в том, что ядерные арсеналы сохраняются, и у человечества пока нет даже проекта идеи, на основе которой оно могло бы освободиться от этого «дамоклова меча».

Механизм поражающего воздействия излучений, обусловленных радиоактивным заражением местности, тот же, что и для проникающей радиации. Однако в этом случае возможно как внешнее, так и внутреннее облучение из-за попаданий радиоактивных продуктов, которыми заражена местность, внутрь организма.

6.3.5. Глобальные эффекты ядерных взрывов

Сравнивая поражающие факторы различных катастроф по губительному воздействию на людей и объекты, следует сделать вывод: трагические последствия возможных ядерных взрывов, а тем более ядерной войны, значительно превосходят последствия остальных известных и мыслимых катастроф. Картина возможных последствий применения ядерного оружия может быть спрогнозирована по результатам бомбардировок Хиросимы и Нагасаки, а также испытаний ядерного оружия на полигонах. Каждый из нас должен иметь представление о масштабах этих последствий при комплексном проявлении всех их поражающих факторов. Это необходимо не столько для того, чтобы, отложив все, готовиться действовать в условиях, создаваемых ядерными взрывами, к счастью, опасность ядерной войны заметно отодвинута. Это необходимо, прежде всего, чтобы каждый знал, что ядерная война является безумием и, по возможности, влиял на то, чтобы процессы ядерного противостояния не повторились, а само ядерное оружие было бы запрещено и уничтожено.

Рассмотрим гипотетическую ситуацию: по городу с населением 1 млн чел. (таких городов в мире более 200) нанесен ядерный удар с тротильовым эквивалентом 1 млн т (таких зарядов в мире несколько тысяч). Совместное воздействие поражающих факторов приведет к следующему: примерно 1/3 городских построек будет полностью разрушена, столько же повреждено до состояния непригодности, остальные сохранятся, но в них будут разрушены крыши, окна и т.п. На территории города возникнут многочисленные пожары, эпицен-

тральная область радиусом примерно в 5 км окажется в зоне сплошных пожаров. Если погода сухая, то возникнет огневой шторм. Если взрыв приземный (на малой высоте или контактный), то примерно 1/3 территории города окажется радиоактивно зараженной, одно- – двухсуточное пребывание на ней обусловит смертельную дозу для человека. Число немедленно погибших от ударной волны и светового излучения (в том числе пожаров) составит около четверти населения (днем больше, чем ночью). Около 100 тыс. пораженных не будут иметь возможность спастись или получить помощь. Среди спасшихся и спасенных в последующие сутки будет высокая смертность с пиками примерно на пятые сутки (в основном от ожогов и ранений) и через три недели (от лучевой болезни). В итоге останется в живых примерно 50 % населения, в большей части с эффектами поражения, психически надломленного.

Картина последствий гипотетической массовой бомбардировки городов воюющей страны будут значительно больше суммы описанных последствий взрывов в отдельных населенных пунктах. В пылу гонки ядерных вооружений лидеры государств, да и ученые не сразу увидели феномен «ядерной зимней ночи». При массовых ядерных взрывах помимо пожаров в городах возникнут многочисленные ландшафтные пожары. В атмосферу будет выброшено сотни миллионов тонн дыма, сажи, мелкодисперсных продуктов горения. К этому добавится пыль, поднятая непосредственно взрывами. Эти продукты будут рассеяны в атмосфере до высоты в несколько десятков километров. В результате атмосфера потеряет прозрачность, наступят сумерки (ядерная ночь).

Солнечные лучи не смогут проникать через запыленную атмосферу, парниковый эффект (повышенная температура поверхности Земли) исчезнет. Наступит похолодание на несколько десятков градусов, придет «ядерная зимняя ночь», которая может продлиться многие месяцы.

Изменится режим циркуляции в атмосфере и гидросфере. Осадки прекратятся. Плодородие земель снизится. Погибнут многие представители биосферы. Поверхность Земли будет радиоактивно зараженной. Среди оставшихся в живых людей помимо лишений, связанных с описанной картиной, будут иметь место массовые соматические и генетические заболевания. Прекратится рождаемость

детей. Цивилизация погибнет, по крайней мере, в современном представлении.

Основные эффекты «ядерной зимней ночи» будут проявляться в земном полушарии применения ядерного оружия и не пощадят территории невоюющих государств. Значительная часть аэрозолей, поднятых на высоту более 10 км, будет перенесена атмосферными течениями и в другое полушарие, где эффекты «ядерной зимней ночи» проявятся менее значительно.

Контрольные вопросы

1. Приведите классификационный перечень средств вооруженной борьбы.
2. Какие современные средства доставки боеприпасов к цели вы знаете?
3. Перечислите основные поражающие элементы систем вооружения.
4. Какие виды «оружия массового поражения» вы знаете?
5. Расскажите об устройстве ядерного боеприпаса.
6. Перечислите поражающие факторы ядерного взрыва.
7. Что такое эффект «ядерная зима»?

Глава 7

ГРАЖДАНСКАЯ ЗАЩИТА

7.1. Предыстория становления

Возрастающая масштабность опасностей, учащение случаев их реализации в современных условиях мобилизуют человечество на принятие адекватных способов защиты от них. В XX в. в развитых странах соответствующие меры защиты обособились в специальные государственные системы. В России такая защита от чрезвычайных опасностей ныне обозначается термином «гражданская защита». Функциональное предназначение этой системы состоит в защите населения и материальных ценностей от чрезвычайно опасных происшествий (по-иному от катастроф) [33, 34, 36].

Истоками формирования гражданской защиты в России можно считать создание в 1932 г. (тогда в СССР) местной противовоздушной обороны (МПВО) для защиты гражданского населения в условиях военных действий, главным образом, для защиты от действий авиации противника. В условиях Великой Отечественной войны МПВО эффективно решала задачу защиты населения и народного хозяйства от нападения с воздуха.

Следующим кардинальным шагом в развитии системы защиты населения явилось преобразование в 1961 г. МПВО в гражданскую оборону (ГО) СССР. Этот шаг был обусловлен возрастанием военных угроз в связи с появлением ракетно-ядерного оружия и обострением международных отношений. Кстати, подобные системы созданы были в большинстве стран, втянутых в те годы в состояние «холодной войны». ГО СССР являлась сдерживающим фактором на пути возможной ядерной войны. Она в большей части была военизированной структурой и входила в состав Министерства обороны.

ГО была ориентирована на решение задач военного времени: защиту населения и обеспечения функционирования объектов эко-

номики в условиях войны. В 80-е годы в СССР, да и в других странах, стали значимо проявляться проблемы, обусловленные природными и техногенными катастрофами. Достаточно упомянуть события тех лет: Спитакское землетрясение (1983 г.), Чернобыльская катастрофа (1986 г.), Ашхабадское (1948 г.) и Ташкентское (1966 г.) землетрясения, химическая авария в Бхопале (Индия, 1984 г.), цунами на побережье Индийского океана (2004 г.) и многие другие. Число человеческих жертв в одном таком событии составляло десятки и сотни тысяч, число пострадавших – в несколько раз больше. К этому следует присовокупить огромный материальный ущерб.

Под натиском чрезвычайно опасных происшествий в 1989 г. Правительством РСФСР был создан специальный постоянно действующий орган – Государственная комиссия по чрезвычайным ситуациям. В 1991 г., когда государственные структуры СССР стали неэффективны, в РСФСР был образован Государственный комитет РСФСР по чрезвычайным ситуациям (ГКЧС РСФСР). Полномочия ГКЧС состояли в защите населения и территорий от чрезвычайно опасных техногенных и природных происшествий. Законодательная база исполнения этих полномочий вскоре была создана принятием Федерального закона № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

Схожесть полномочий ГО и ГКЧС сделало целесообразным их слияние в единую структуру. В 1994 г. Указом Президента «О структуре федеральных органов власти» образовано Министерство РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий; его краткое название – МЧС РФ.

Под патронажем МЧС РФ в 1995 г. была создана Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (она часто обозначается аббревиатурой РСЧС – Российская система по чрезвычайным ситуациям), в которой организационно задействованы не только уже упомянутые структуры – ГО и ГКЧС, но и проблемно нацеленные на защиту от катастроф подразделения многих других государственных структур, подверженных чрезвычайным опасностям или участвующие в борьбе с ними. На момент образования РСЧС среди всех объединенных в ней государственных

структур наибольшим потенциалом обладала ГО РФ, ее организационный облик во многом сохраняется и в структуре РСЧС.

В 2002 г. на МЧС была возложена проблематика пожарной безопасности, которая до того находилась в структуре Министерства внутренних дел РФ.

Теперь эта многофункциональная структура, стоящая заслоном на пути всевозможных социально значимых бедствий, курируется МЧС РФ. Совокупность защитных мер, исполняемых ею, ныне принято называть гражданской защитой.

7.2. РСЧС – инструмент МЧС РФ

Главные задачи, возлагаемые на МЧС, сводятся к следующему [24, 34].

1. Проведение государственной политики в области защиты населения и объектов от чрезвычайных опасностей природного и техногенного характера, а также от опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий.

2. Проведение всевозможных мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций в стране.

3. Всестороннее обеспечение функционирования РСЧС.

4. Проведение спасательных работ в очагах бедствий.

5. Ликвидация последствий чрезвычайно опасных происшествий.

6. Поддержание готовности ГО. Статус этой задачи усиливается тем, что начальником ГО РФ является председатель Правительства – лицо более высокой инстанции, чем министр МЧС; ГО подчинена министру как заместителю начальника ГО.

Обратим внимание на п. 3 приведенного перечня задач, возложенных на МЧС. РСЧС включает в себя не только силы и средства МЧС, но и подразделения еще 16-ти других федеральных органов исполнительной власти. Эти подразделения, таким образом, входят в состав РСЧС. Она подобно нервной системе живого организма пронизывает все хозяйство страны и ее территорию. Структурное построение РСЧС можно представить в виде совокупности подсистем, которые логически подразделяются на две разновидности: функциональные и территориальные (рис. 7.1).

РСЧС была создана Постановлением Правительства РФ от 18 апреля 1992 г. Сложившаяся на сегодня структура РСЧС являет-

ся результатом неизбежной ее эволюции после создания. Важно отметить, что впервые в отечественной истории проблематика защиты от чрезвычайных опасностей поднята на высокий, государственно-значимый уровень и была регламентирована законодательными актами.

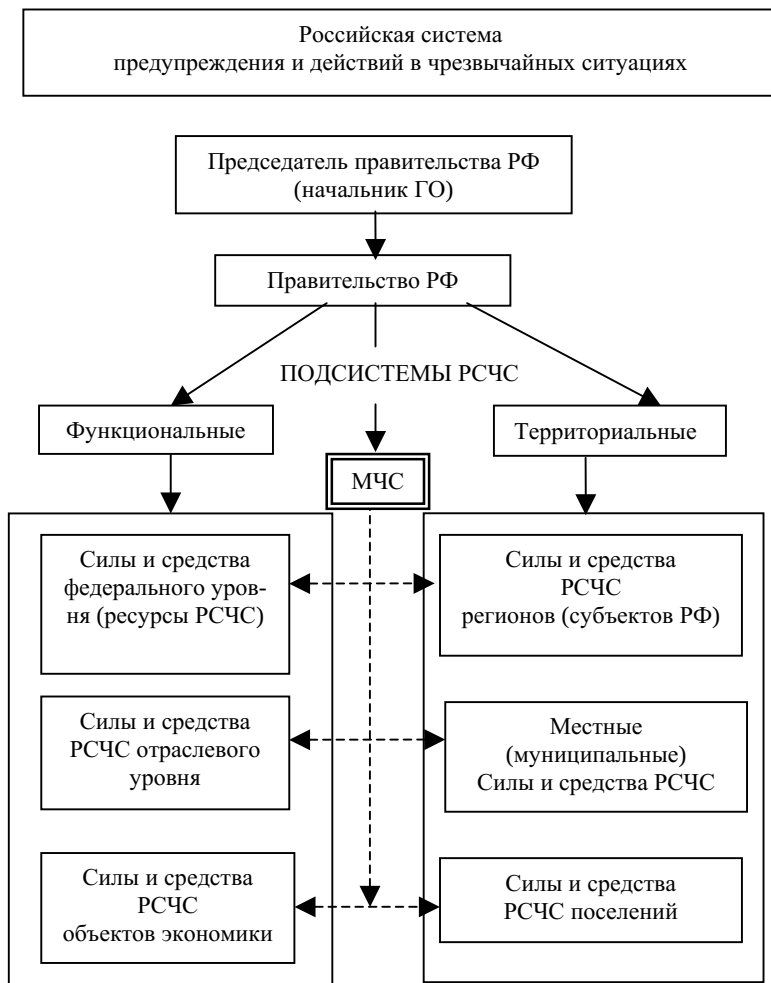


Рис. 7.1

Конечно, и до создания РСЧС в системе хозяйствования предусматривались институты обеспечения безопасности, но они не были организационно связаны, подчинялись разным ветвям администрирования. С созданием РСЧС ресурсы противостояния чрезвычайным опасностям объединены, фронт борьбы с ними стал организационно единым.

В структуре РСЧС ее подсистемы, помимо деления на функциональные и территориальные, образуют три уровня (три эшелона) защиты от чрезвычайных опасностей:

- 1) федерально-региональный;
- 2) отраслевой – муниципальный;
- 3) объектов производства – объектов поселений.

Функциональные подсистемы РСЧС создаются под патронажем органов исполнительной власти и органов руководства объектами экономики. Их задачей является защита населения и объектов в сфере их деятельности, с учетом вида профессиональной деятельности.

Территориальные подсистемы РСЧС создаются в границах административно-территориальных единиц РФ.

Каждая подсистема и каждое звено, входящее в нее, возглавляется руководителем соответствующей отрасли экономики или административной единицы. Они являются персонально ответственными за состояние и функционирование подопечных подсистем РСЧС.

На каждом уровне подсистем созданы постоянно действующие органы управления (отделы, секторы, службы и т.п.); руководитель такого органа по штатной должности является заместителем главы администрации территориальной или ведомственной единицы.

Координация взаимодействия всех звеньев РСЧС осуществляется комиссиями по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности.

Оперативное руководство силами и средствами подсистем РСЧС осуществляется пунктами управления. Они ведут непрерывный контроль и наблюдение с позиций возможных чрезвычайных опасностей на подопечных территориях и объектах (дежурные смены пунктов) или находятся в резерве с готовностью передислокации в очаг опасного события.

Для работы в очагах чрезвычайно опасных происшествий в составе подсистем РСЧС укомплектованы штатные военизированные и невоенизированные подразделения (аварийно спасательные фор-

мирования), а также нештатные формирования подсистем низкого уровня. Все звенья РСЧС обеспечены единой автоматизированной системой связи, управления и оповещения населения о чрезвычайной опасности.

С целью повышения эффективности управления РСЧС ее территориальные подсистемы субъектов РФ объединены в шесть региональных групп в соответствии с военно-административным делением территории РФ на военные округа; центры управления региональных подсистем расположены в крупных областных городах:

- Северо-западный (Санкт-Петербург);
- Центральный (Москва);
- Южный (Ростов-на-Дону);
- Приволжско-Уральский (Екатеринбург);
- Сибирский (Красноярск);
- Дальневосточный (Хабаровск).

По сути, аналогичный статус имеет Московская городская территориальная подсистема предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Каждому региональному центру управления подопечна территория более десятка субъектов РФ, в каждом из которых функционирует своя территориальная подсистема в роли составляющей региональной подсистемы. Такая иерархия построения РСЧС делает ее высокоорганизованной, управляемой, а следовательно, эффективной.

В зависимости от ситуации на подопечных территории или объекте подсистемы РСЧС могут переводиться в один из трех возможных режимов функционирования:

- режим повседневной деятельности (в отсутствии признаков возможной чрезвычайной опасности);
- режим повышенной готовности (в условиях прогноза о возможности чрезвычайно опасного события);
- режим чрезвычайной ситуации (в условиях происходящего события или ликвидации его последствий).

Действия подразделений РСЧС в каждом режиме функционирования заранее планируются. Алгоритм действий подчинен трем главным задачам:

- во-первых, спасение жизни и сохранение здоровья людей;

- во-вторых, минимизация материальных потерь и экологического ущерба;
- в-третьих, поддержание и восстановление режима жизнедеятельности в регионе и на объектах, подвергшихся «атаке» чрезвычайно опасного события.

По существующим нормативам первый эшелон сил подсистем РСЧС должен прибывать через 30 мин после получения информации о ней. Последующие эшелоны укрощения опасности имеют резерв времени до трех часов.

РСЧС является единой универсальной системой с широкими полномочиями, обеспеченной достаточными ресурсами, способной оперативно маневрировать. За время ее функционирования с ее помощью предотвращены или своевременно укрощены многие чрезвычайные ситуации, спасены многие тысячи людей, существенно сокращен ущерб от чрезвычайно опасных событий.

Силы РСЧС РФ сотрудничают со службами спасения и гуманитарной помощи зарубежных стран.

7.3. Гражданская оборона

Гражданская оборона (ГО) представляет собой составную часть общегосударственной системы оборонных мероприятий, осуществляемых в мирное и военное время в целях защиты населения хозяйства страны от оружия массового поражения и других средств поражения противника, а также для проведения спасательных и неотложных восстановительных работ в очагах поражения.

В Федеральном законе «О гражданской обороне» 1998 г. она определена как *система мероприятий по подготовке к защите и по защите населения, материальных и культурных ценностей от опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий*.

В настоящее время ГО находится под патронажем МЧС РФ, а следовательно, является составной частью РСЧС.

В СССР ГО была создана в 1961 г., в условиях острых международных отношениях и с учетом технического развития и гонки ядерных вооружений. Она входила в состав Министерства обороны. Кстати, наше государство не было оригинально в этом отношении; системы ГО тогда были созданы и поныне существуют во

многих странах мира, в первую очередь в странах военно-коалиционной ориентации.

С началом 90-х годов ушедшего столетия военно-политическая напряженность в мире значительно снизилась, арсеналы оружия массового поражения стали сокращаться. С другой стороны, масштабные техногенные и природные катастрофы, принесшие огромные человеческие жертвы и материальный ущерб, вынудили корректировать функциональную роль ГО. В итоге ГО в январе 1998 г. выводится из состава Министерства обороны России и объединяется с созданной в 1991 г. Государственной комиссией по чрезвычайным ситуациям. Помимо прежних функций ГО РФ стала нацеленной на решение задач по защите населения и территорий от чрезвычайных опасностей природного и техногенного характера.

В настоящее время ГО сохраняет облик относительно обособленной структуры, ориентированной на защиту населения и объектов экономики в условиях военных действий и обладающей соответствующими ресурсами для выполнения этой функции.

Актуальность этой функции ГО в современных условиях сохраняется. Главные причины этого состоят в следующем.

1. В арсеналах вооруженных сил многих государств современного мира находятся огромные запасы ОМП, прежде всего ядерного оружия. Его количество в последние десятилетия *сокращалось*, но, с другой стороны, *повышается* его качество (поражающая способность).

2. Круг стран-обладателей ядерного оружия постепенно расширяется и *эта тенденция не устраняется*.

3. Качество обычных средств вооруженной борьбы стремительно повышается, по поражающим возможностям они приближаются к ОМП.

4. Мир ныне столкнулся с новой угрозой – экстремизмом. Силы, исповедующие терроризм, способны на непредсказуемые, дикие *акции с применением современных средств вооруженной борьбы*.

5. Человечество, видимо, никогда не освободиться от генетического недуга – противоречивости отношений между людьми. Борьба за экономические и политические интересы, возглавляемая, как правило, элитами разных стран, постоянно то обостряется, то приглушается. *Этот процесс* никогда не прекратится, и он *является одним из главных побудителей* вооруженной борьбы.

6. Усложнение военной техники, создание автоматизированных систем вооруженной борьбы может инициировать войну в силу случайного совпадения непредвиденных обстоятельств или *путем провокаций*.

Государства современного мира в конце XX в. пришли к выводу о недопустимости глобальной ядерной войны. Однако гипотетически, она может быть развязана. Исключить ее может только полное уничтожение ядерного оружия. В этой связи показательным является содержание «Новой ядерной стратегии США», объявленной в 2002 г. Согласно этой стратегии США будут модернизировать свои ядерные силы, сократив их примерно до 2000 единиц к 2012 г. Речь идет только об их триаде: межконтинентальные ракеты и бомбардировщики и атомные подводные лодки. Ядерные боеприпасы в количестве 8 тыс., снимаемые с сокращаемых носителей, не уничтожаются, а отправляются в резерв, который, в свою очередь, может быть активным (постоянной готовности) и пассивным (в разобранном состоянии). США, как видим, «порох держат сухим».

Организационная структура ГО РФ фактически совпадает с описанной ранее структурой РСЧС. Практически на каждом уровне каждой подсистемы РСЧС имеются соответствующие составляющие ГО, точнее, эти составляющие ГО в большинстве своем при формировании РСЧС явились базой для создания ее функциональных подразделений. Таким образом, она построена по территориально-производственному принципу.

Руководителями (начальниками) ГО в федеральных органах исполнительной власти, на территориях административных единиц, в организациях и на объектах производства являются их руководители. При них созданы органы повседневного управления – штабы и службы ГО, формирования войск ГО и невоенизированных подразделений. Конечно, такие органы, системы связи, управления, оповещения, мониторинга являются одновременно и элементами РСЧС, но всякая работа в них по тематике ГО обособлена.

Основные задачи, решаемые ГО, можно свести к следующему перечню.

1. Планирование мероприятий по защите населения и объектов экономики на случаи возможных военных действий.

2. Строительство и сохранение защитных сооружений в готовности к использованию.

3. Накопление индивидуальных средств защиты и иных технических средств, необходимых при проведении спасательных работ в очагах поражения.

4. Подготовка и проведение в угрожаемый период эвакуационных мероприятий для категоризованных населенных пунктов.

5. Создание группировок сил и средств ГО в угрожаемый (войной) период.

6. Обучение населения способам защиты и спасательным работам в очагах поражения.

7. Организация и ведение спасательных работ и неотложных восстановительных работ в очагах поражения.

8. Обеспечение устойчивости работы производственных объектов в условиях войны.

7.4. Особые меры защиты от опасностей при ведении военных действий в условиях войны

Государственная политика РФ в области ГО строится на основе следующих основных принципов:

- заблаговременность планирования мер защиты и ресурсов для ее проведения;
- адекватности мер защиты по отношению к степени угрозы;
- комплексности мер защиты, т.е. учет разнообразия ситуаций в возможных очагах поражения.

Выборы мер защиты, реализуемых ГО, основываются на решении военно-политического руководства государства. Такие решения предполагают проведение анализа и прогноза, определение военных угроз государству. В частности, прогнозируются сценарии возможных войн в предстоящий период, их масштабность, виды применяемых в них средств вооруженной борьбы. ГО должна быть способной выполнять свои защитные функции в условиях любого возможного сценария, в том числе в условиях войны с применением ОМП со стороны потенциального противника. Для сценариев войны с применением ОМП (прежде всего, ядерного оружия) ГО предусматриваются специфические ресурсозатратные мероприятия по защите населения и объектов экономики. Кратко рассмотрим содержание таких специфических мер защиты.

Категорирование объектов защиты. Концепцией ГО учитывается тот факт, что в условиях войны с применением ОМП удары вероятного противника будут наноситься по объектам, поражение которых подрывает экономику, военный потенциал; нарушает транспорт, связь и, следовательно, управление государством и т.п. Анализируя ситуацию с позиций вероятного противника, специалисты-аналитики определяют объекты страны, которые, по их мнению, вероятный противник выберет для поражения ядерными средствами. Защитные меры ГО должны «сгущаться» вокруг именно таких объектов. Определяемые таким образом объекты поражения прежде было принято называть категорированными по перечню ГО. Периодически, с учетом изменений международной обстановки, список категорированных объектов уточняется.

Категорированными могут быть насыщенные промышленным производством города, экономически важные объекты, узловые объекты инфраструктуры страны и т.п. В 1998 – 2001 гг. Правительством РФ были утверждены нормативные документы, определяющие *порядок отнесения объектов к группам по гражданской обороне*:

- Положение о порядке отнесения территорий к группам по гражданской обороне;
- Положение о порядке отнесения организаций к группам по гражданской обороне.

Конечно, список категорированных объектов является государственной тайной.

На территории объектов, отнесенных к группе по ГО, хозяйственная, производственная деятельность в обычных условиях мирного времени согласуется с нормами ГО. Ведется строительство защитных сооружений или накапливаются ресурсы для их быстрого возведения в угрожаемый период, создается запас индивидуальных средств защиты людей от поражающих факторов средств вооруженной борьбы, прогнозируются маршруты быстрой эвакуации населения, предусматриваются меры повышения устойчивости работы объектов экономики в военных условиях и т.д.

Защитные сооружения ГО. Для защиты населения от поражающих факторов современных средств вооруженной борьбы в системе ГО предусматривается заблаговременное или *быстро возводимое строительство* защитных сооружений различных по конструкции, защитным средствам и срокам строительства. Различают

три типа защитных сооружений ГО: убежища, противорадиационные укрытия и простейшие укрытия. Кроме того, в интересах защиты населения подземное пространство категорированных городов и объектов целенаправленно приспособляется под задачи защиты населения. К числу сооружений двойного назначения относятся подвальные помещения зданий, метрополитены, горные выработки и т.п.

Убежища ГО. Специально возводимые убежища ГО представляют собой высокопрочные подземные сооружения, рассчитанные на защиту укрываемых в них людей от всех поражающих факторов современных средств вооруженной борьбы. Каждое такое убежище рассчитывается на укрытие от нескольких сотен до нескольких тысяч человек.

Системы жизнеобеспечения убежища должны обеспечивать автономное непрерывное пребывание в них укрываемых в течение двух суток. Убежища оборудованы системами жизнеобеспечения: воздухообеспечения, связи, водоснабжения, канализации и отопления.

Воздухообеспечение убежищ производится через фильтровентиляционные установки, осуществляющие при необходимости очистку воздуха от пыли, токсичных веществ и радиоактивных продуктов. Воздухообеспечение ведется в режиме подпора воздуха в убежище в целях исключения попадания неочищенного воздуха внутрь убежища. Основные элементы системы воздухообеспечения задублированы.

Электрообеспечение убежищ предусматривается задублированным. Помимо подключения убежищ к штатным электрическим сетям предусматривается автономное электрообеспечение от дизельной установки, для которой строится изолированное от других помещений. В критических ситуациях предусмотрено освещение от аккумуляторных батарей.

Для обеспечения питьевой водой предусмотрены емкости, заполняемые водой в угрожаемый период. Для тушения очагов возможных возгораний создается автономный трубопровод с подпором воды.

В системах связи предусмотрено использование телефона, радиосредств, а также внутренней громкоговорящей связи.

В условиях мирного времени убежища ГО, как правило, используются в хозяйственных целях: в них размещаются склады, спортзалы, учебные классы и т.п. По нормам ГО перевод помещений в режим убежищ должен быть осуществлен за 12 ч.

Для размещения людей в убежище оборудуются отсеки с многоярусными нарами. Пребывание людей в убежище и режиме укрытия требует строгого порядка поведения. Для поддержания порядка, обеспечения людей необходимыми предметами, для оказания помощи, информирования в убежище создается группа руководства, которая заблаговременно обучается, инструктируется.

Описываемые убежища ГО рассчитываются на воздействие ударной волны в избыточном давлении в несколько сотен килопаскаль (жилые строения разрушаются ударной волной с избыточным давлением около 50 кПа). Типичная схема убежища ГО приведена на рис. 7.2, где 1 – помещение для укрываемых; 2 – пункт управления ГО; 3 – фильтровентиляционная камера; 4 – помещение ДЭС (дизельная электростанция); 5, 6 – санитарные узлы; 7 – медицинский пункт; 8 – помещение для хранения продуктов; 9 – вход № 1; 10, 11 – тамбур-шлюз; 12 – электрощитовая; 13 – склад топливных материалов; 14 – вход № 2; 15 – аварийный выход; 16 – расширительные камеры.

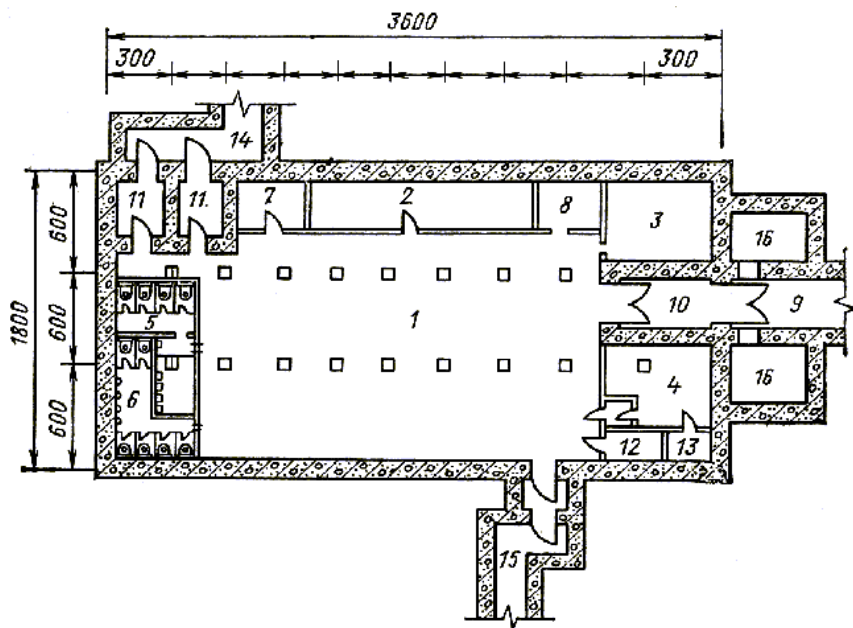


Рис. 7.2

Противорадиационные укрытия ГО. Они предназначены для защиты людей от ионизирующих излучений при радиоактивном загрязнении местности. Укрытия могут создаваться как специально, так и в порядке приспособления хозяйственных помещений. Главное требование к противорадиационным укрытиям – герметичность и возможность оборудования их фильтрационными средствами.

Простейшие укрытия ГО. К простейшим укрытиям относятся сооружения, которые обеспечивают частичную защиту укрываемых от ударной волны, светового излучения, ионизирующих излучений, а также от обломков разрушаемых сооружений. Такими укрытиями могут быть траншеи, подвалы и подполья, землянки, цокольные помещения зданий. Простейшие укрытия предполагается создавать в условиях *внезапной нарастающей* угрозы нападения.

Эвакуационные мероприятия ГО в военное время. *Эвакуация* – организованный вывоз (вывод) населения из зон чрезвычайной опасности. В условиях неполной обеспеченности защитными сооружениями населения городов, отнесенных к группе по ГО, проведение эвакуационных мероприятий является основным способом защиты от современных средств поражения.

Право принятия решения на проведении эвакуации в условиях возникшей угрозы принадлежит руководителям органов исполнительной власти субъектов РФ и органов местного самоуправления. Общее руководство эвакуацией населения осуществляется начальниками и штабами ГО соответствующих административных единиц.

Эвакуация населения города – чрезвычайно сложная процедура, тем более что она должна проводиться в сжатые сроки, измеряемые часами. Цель эвакуации:

- снижение возможных потерь населения категоризованных городов и сохранение квалифицированных специалистов;
- обеспечение устойчивого функционирования объектов экономики;
- создание группировок сил и средств ГО в загородной зоне для ведения спасательных работ в очагах поражения.

Эвакуация осуществляется в загородные зоны, свободные от объектов возможных ударов противника. Эвакуации подлежат не

только население, но и техника, оборудование объектов, которые в условиях войны должны продолжать производство.

Разновидностью эвакуации является рассредоточение, когда из категорированных городов рабочие и служащие объектов экономики, продолжающих производственную деятельность в условиях войны, выводятся в ближайшую загородную зону и посменно трудятся на этих объектах.

Эвакуация может быть общей (всего населения категорированного города) и частичной (для населения, не занятого производственной деятельностью). Эвакуация должна осуществляться в режиме максимального использования имеющихся средств и по заранее разработанным графикам. При этом в первую очередь с помощью транспортных средств эвакуируются:

- медицинские учреждения;
- население, не способное самостоятельно передвигаться;
- рабочие и служащие отдыхающих смен объектов производства, продолжающих свою деятельность;
- сотрудники органов государственного управления.

Остальное население должно эвакуироваться из города пешком. В целях исключения беспорядков все движение по всем маршрутам должно жестко регламентироваться силами правопорядка.

Под руководством создаваемых эвакуационных комиссий организуются сборные эвакуационные пункты для вывозимой части населения или для формирования пеших колонн. Организуются медицинское обслуживание, связь, силы обеспечения безопасности дорожного движения и поддержания общественного порядка.

Изложенные здесь сведения об эвакуационных мероприятиях – лишь схема сложнейшей социальной операции. Фактическое ее содержание изобилует бесчисленными сложными нюансами, которые должны решаться оперативно, с учетом динамично изменяющейся ситуации и резко возбужденного состояния населения.

Проведение спасательных и неотложных восстановительных работ в очагах массового поражения. Успех проведения спасательных работ в очагах массового поражения людей и массовых разрушений возможен при следующих условиях:

- заблаговременности подготовки сил и средств, обучения участников работ;

- оперативности реагирования на возникшую ситуацию, незамедлительности действий спасательных сил;
- обоснованности решения по порядку действий спасательных сил;
- непрерывности ведения работ с использованием доступных технологий;
- *разумности каждого шага* спасательной операции и т.п.

При образовании очага массового поражения вследствие применения противником ОМП или иных средств начальник ГО, под чьим руководством находится объект поражения, немедленно дает распоряжение командирам формирований ГО на выход к очагу поражения. Первыми выдвигаются подразделения разведки, за ними – подразделения обеспечения движения. По маршруту движения этих подразделений ведется контроль радиационной, химической, пожарной обстановки, проходимости завалов, разрушений.

Вслед за этими подразделениями выдвигаются отряды медицинской помощи, а за ними отряды спасения и техника.

Последовательность выполнения спасательных работ в очаге, способы действий формирований ГО, практические приемы определяются с учетом характера разрушений, вторичных явлений – как-то: пожары, загазованность, затопления и т.п. В первую очередь выполняются те работы, от которых зависит спасение людей, ведется тушение пожаров, перекрываются трубопроводы, через которые идет утечка веществ, создающих опасность для спасаемых или спасателей, ведется разборка завалов, оказание первой медицинской помощи. Пострадавшие доставляются на организованный поблизости пункт медицинской помощи, а далее, если необходимо, – в медицинские учреждения.

Для работ в очаге могут привлекаться непораженные люди с прилегающей к очагу территории.

Неотложные восстановительные работы, проводимые силами ГО, сводятся, по существу, к прекращению процессов, создающих опасность: заделки разрывов труб, перекрытию разрушенных участков, прекращению утечек воды, газа и других веществ, сточных вод канализационных магистралей и т.п. Отключаются сети газо-, тепло -, водо-, электроснабжения.

При наличии радиоактивного загрязнения местности выявляются маршруты безопасного передвижения, их дезактивация.

Успех спасательных работ в большой степени определяется умелым использованием технических и инженерных средств.

При наличии радиоактивного или химического заражения очага поражения работы ведутся с использованием индивидуальных средств защиты.

Оказание первой медицинской помощи и индивидуальные средства защиты. Содержание этих мер будет понятным из рассмотрения рисунков в прил. 2.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об истории становления Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС).
2. Расскажите о целях и задачах РСЧС.
3. Нарисуйте и поясните структуру РСЧС.
4. Каковы силы и средства РСЧС?
5. Назовите режимы функционирования РСЧС.
6. Что такое гражданская оборона?
7. Какие задачи возлагаются на гражданскую оборону?
8. Какие типы защитных сооружений вы знаете?
9. Перечислите цели и задачи, решаемые при эвакуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н.* Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. – М.: Деловой экспресс, 2004.
2. *Измалков В.И., Измалков А.В.* Безопасность и риск при техногенных воздействиях. – МЧС, 1994.
3. *Полтев М.К.* Охрана труда в машиностроении. – М.: Высшая школа, 1980.
4. *Шойгу С.К.* Чрезвычайная служба России. – М.: Московская типография № 2, 2005.
5. *Вентцель Е.С.* Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972.
6. *Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д.* Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965.
7. *Богданов Дик., Козин Ф.* Вероятностные модели накопления повреждений: пер. с англ. – М.: Мир, 1989.
8. *Хенли Э. Дж., Куamoto Х.* Надежность технических систем и оценка риска. – М.: Машиностроение, 1984.
9. *Денисенко К.Ф.* Охрана труда. – М.: Высшая школа, 1985.
10. *Киммель Л.Р., Машкович В.П.* Защита от ионизирующих излучений: справочник. – М.: Атомиздат, 1972.
11. *Машкович В.П.* Защита от ионизирующих излучений: справочник. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
12. *Машкович В.П., Панченко А.М.* Основы радиационной безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
13. *Нормы радиационной безопасности НРБ-99.* – М.: Энергоатомиздат, 1999.
14. *Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99).* – Минздрав РФ, 2000.
15. *Радиационные характеристики облученного топлива: справочник / В.М. Колобашкин, В.Г. Алексанкин, П.М. Рубцов, П.А. Ружанский.* – М.: Энергоатомиздат, 1983.
16. *Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий.* – ГОСТ Р 22.0.2-94.
17. *Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.* – ГОСТ Р 22.0.05-94.

18. *Израэль Ю.А.* Руководство по организации контроля состояния окружающей среды. – М.: Гидрометеоиздат, 1984.
19. *Долин П.А.* Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Электроатомиздат, 1984.
20. *Протасевич Е.Т.* Электромагнитное загрязнение окружающей среды. – Томск: ТПУ, 1996.
21. *Сынзысныс Б.И., Ильин А.В.* Биологическая опасность и нормирование электромагнитных излучений персональных компьютеров. – Русполиграф, 1997.
22. *Баратов А.Н., Пчелинцев В.А.* Пожарная безопасность. – М., 1997.
23. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения. – ГОСТ Р 22.0.01-94.
24. *Шойгу С.К., Воробьев Ю.Л., Владимиров В.А.* Катастрофы и государство. – М.: Энергоатомиздат, 1997.
25. *Маршалл В.* Основные опасности химических производств / пер. с англ.; под ред. А.Н. Черноплекова. – М.: Мир, 1989.
26. *Бесчастнов М.В.* Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. – М.: Химия, 1998.
27. Методика прогнозирования масштабов загрязнения СДЯВ при авариях на химических объектах и транспорте. – РД 52.04.255-90.
28. *Кочетков К.Е.* Аварии и катастрофы. – М., 1996.
29. *Алексеев Н.А.* Стихийные явления в природе. – М.: Мысль, 1988.
30. *Белов С.В.* Безопасность жизнедеятельности. – М.: Высшая школа, 1999.
31. *Рогозин Д.О.* Война и мир в терминах и определениях. – М., 2004.
32. Действие ядерного оружия: пер. с англ. – М.: Военное издательство МО СССР, 1963.
33. *Атаманюк В.Г., Ширишев Л.Г., Акимов Н.И.* Гражданская оборона. – М.: Высшая школа, 1987.
34. *Фалеев М.И.* Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. – Калуга: ГУП «Облиздат», 2001.
35. *Онищенко Г.Г.* Обеспечение биологической, химической и радиационной безопасности при террористических актах. – М., 2005.
36. *Демиденко Г.П.* Защита объектов хозяйства от оружия массового поражения. – Киев, 1987.

Активирование несчастных случаев

**Постановление Минтруда РФ от 24 октября 2002 г. № 73
«Об утверждении форм документов, необходимых для расследования и учета несчастных случаев на производстве, и Положения об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях»**

В соответствии со ст. 229 Трудового кодекса Российской Федерации (Собрание законодательства Российской Федерации, 2002, № 1 (ч. I), ст. 3) и Постановлением Правительства Российской Федерации от 31 августа 2002 г. № 653 «О формах документов, необходимых для расследования и учета несчастных случаев на производстве, и особенностях расследования несчастных случаев на производстве» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2002, № 36, ст. 3497) Министерство труда и социального развития Российской Федерации постановляет:

1. Утвердить:

формы документов (**формы 1 – 9**), необходимых для расследования и учета несчастных случаев на производстве, согласно **приложению № 1**;

Положение об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях согласно **приложению № 2**.

2. Ввести в действие настоящее постановление с 1 января 2003 г.

Министр труда
и социального развития
Российской Федерации

А.П. Починок

Зарегистрировано в Минюсте РФ 5 декабря 2002 г.

Регистрационный № 3999

Приложение № 1
к постановлению Минтруда РФ
от 24 октября 2002 г. № 73

**Формы
документов, необходимых для расследования
и учета несчастных
случаев на производстве (формы 1 – 9)**

Форма 3

Форма Н-1ПС

Один экземпляр направляется
пострадавшему или его
доверенному лицу

Утверждаю

(подпись, фамилия, инициалы работодателя
(его представителя))

" _____ " _____ 200_ г.

Печать

Акт N ____
о несчастном случае на производстве

1. Дата и время несчастного случая

(число, месяц, год и время происшествия несчастного случая)

2. Профессиональная спортивная организация, работником которой является (являлся) пострадавший

(наименование, место нахождения, юридический адрес)

3. Организация, направившая работника

(наименование, место нахождения, юридический адрес)

4. Лица, проводившие расследование несчастного случая:

(фамилии, инициалы, должности и место работы)

5. Сведения о пострадавшем:

фамилия, имя, отчество

пол (мужской, женский)

дата рождения

профессиональный статус

профессия (должность)

стаж профессионального занятия видом спорта, при проведении которого произошел несчастный случай

(число полных лет и месяцев)

6. Краткая характеристика места (спортивного объекта), где произошел несчастный случай

(наименование и адрес организации, где проводился тренировочный процесс

или спортивные соревнования, описание места происшествия с указанием

опасных факторов, типа используемого спортивного оборудования, его основных параметров, года изготовления и т.д.)

7. Описание обстоятельств несчастного случая

(краткое изложение обстоятельств, предшествовавших несчастному случаю,

описание событий и действий пострадавшего и других лиц, связанных с несчастным случаем, и другие сведения, установленные в ходе расследования)

7.1. Нахождение пострадавшего в состоянии алкогольного или наркотического опьянения

(нет, да - указать состояние и степень опьянения в соответствии с заключением по результатам освидетельствования, проведенного в установленном порядке)

7.2. Характер полученных повреждений и орган, подвергшийся повреждению, медицинское заключение о тяжести повреждения здоровья _____

7.3. Очевидцы несчастного случая

(фамилия, инициалы, постоянное место жительства,
домашний телефон)

8. Причины несчастного случая

(указать основную и сопутствующие причины несчастного
случая с указанием нарушенных требований нормативных
правовых актов, локальных нормативных актов)

9. Лица, допустившие нарушение установленных нормативных требований:

(фамилии, инициалы, должности (профессии) с указанием
требований законодательных, иных нормативных, правовых
и локальных нормативных актов, предусматривающих их
ответственность за нарушения, явившиеся причинами
несчастного случая, указанными в п.8 настоящего акта,
при установлении факта грубой неосторожности пострадавшего
указать степень его вины в процентах)

Организация (работодатель), работниками которой являются данные лица

(наименование, адрес)

10. Мероприятия по устранению причин несчастного случая, сроки

Подписи лиц, проводивших расследование несчастного случая

(фамилии, инициалы, дата)

Оказание помощи пострадавшим

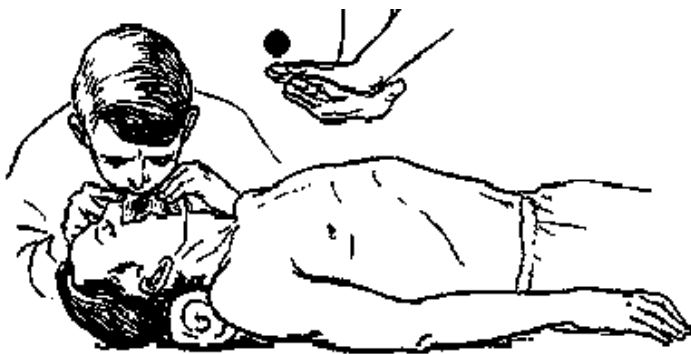


Рис. П.2.1. Искусственная вентиляция легких и непрямой массаж сердца (вдох)



Рис. П.2.2. Прибинтовывание языка вместе с нижней челюстью к шее, чтобы предупредить его западение



а



б

Рис. П.2.3. Искусственное дыхание методом «изо рта в рот»: *а* – подготовка пострадавшего; *б* – проведение искусственного дыхания

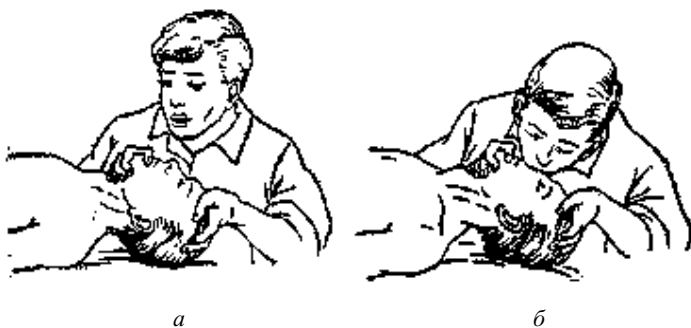


Рис. П.2.4. Искусственное дыхание методом «изо рта в нос»:
а – выдох пострадавшего; *б* – вдувание воздуха

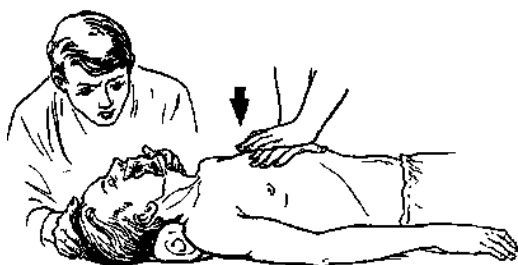


Рис. П.2.5. Искусственная вентиляция легких и непрямой массаж сердца (выдох)

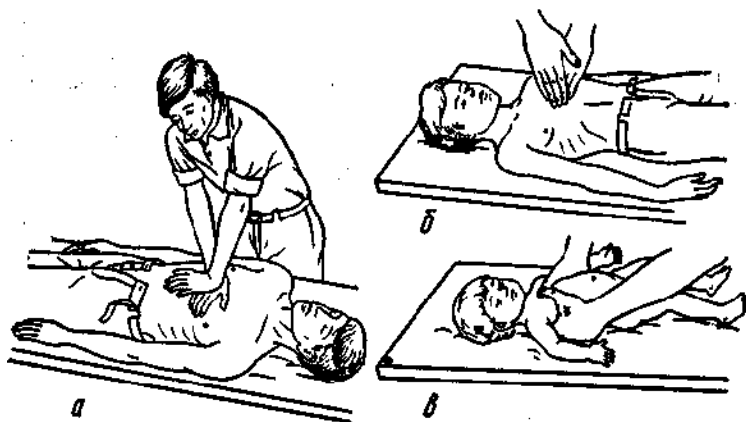


Рис. П.2.6. Закрытый массаж сердца:
а – у взрослого; *б* – у подростка; *в* – у ребенка



Рис. П.2.7. Положение пальцев при прощупывании пульса

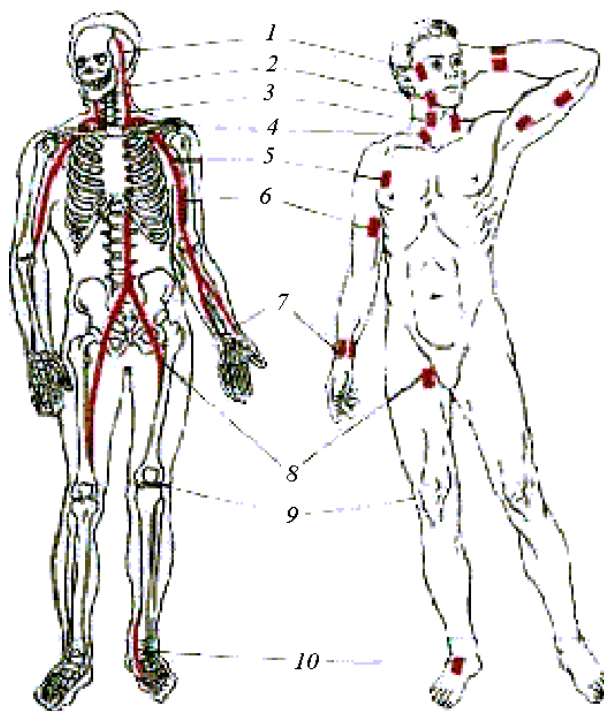


Рис. П.2.8. Схема артериальной сети человека и точки пальцевого прижатия артерий для остановки кровотечений

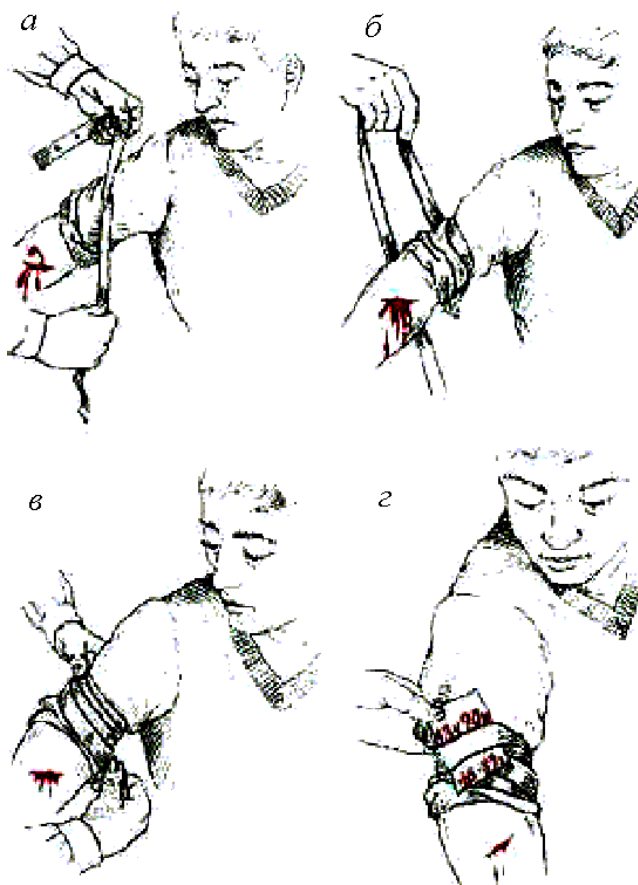


Рис. П.2.9. Техника наложения резинового жгута:
а – растягивание жгута;
б – наложение жгута с постоянным его растяжением;
в – витки жгута ложатся один к другому;
г – записка с указанием времени наложения

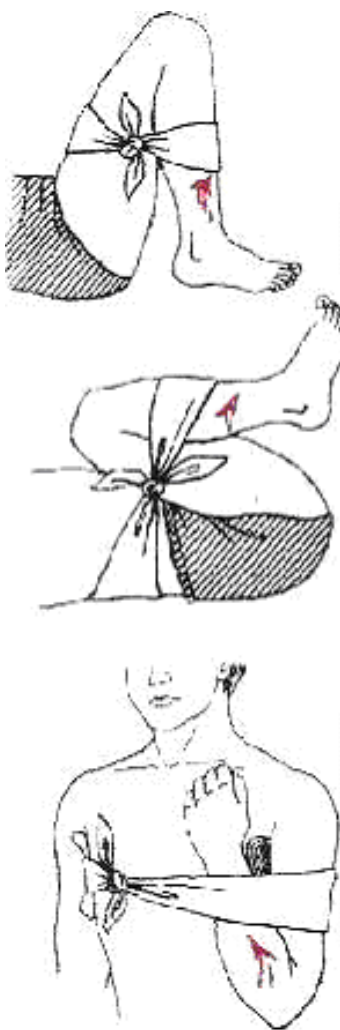


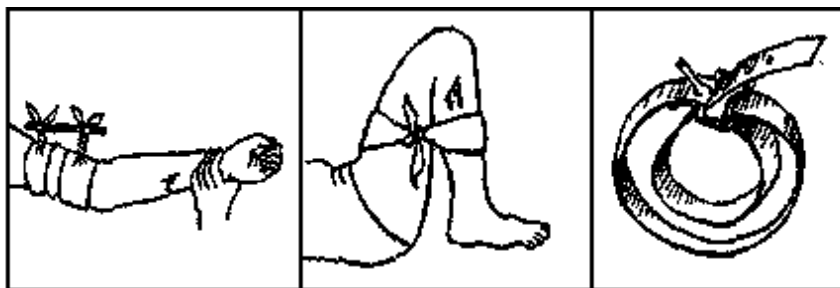
Рис. П.2.10. Приемы остановки кровотечения сгибанием конечностей



a

б

в



г

д

е

Рис. П.2.11. Способы остановки артериального кровотечения:
a – ленточный кровоостанавливающий жгут; *б* – круглый
 кровоостанавливающий жгут; *в* – наложение кровоостанавливающего жгута;
г – наложение закрутки; *д* – максимальное сгибание конечности;
е – двойная петля брючного ремня

Средства защиты органов дыхания



Рис. П.3.1. Противогаз ПМК-2 (маска МБ-1-80)



Рис. П.3.2. Противогаз ГП-7, ГП-7В (с флягой для приема питьевой воды), ГП-7ВМ (с флягой для приема питьевой воды и очковым узлом, обеспечивающим лучшую обзорность). Фляга для приема питьевой воды в комплект поставки не входит

Виды ядерных взрывов и их последствия



Рис. П.4.1. Кратер от взрыва 104-килотонного заряда



Рис. П.4.2. Разрушения в Хиросиме в результате атомной бомбардировки



Рис. П.4.3. Жертва ядерной бомбардировки Хиросимы

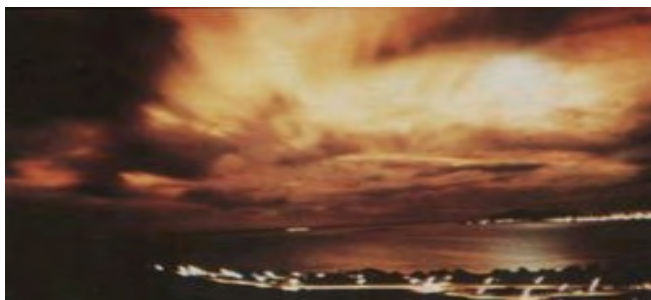


Рис. П.4.4. Зарево, возникшее в результате высотного ядерного взрыва

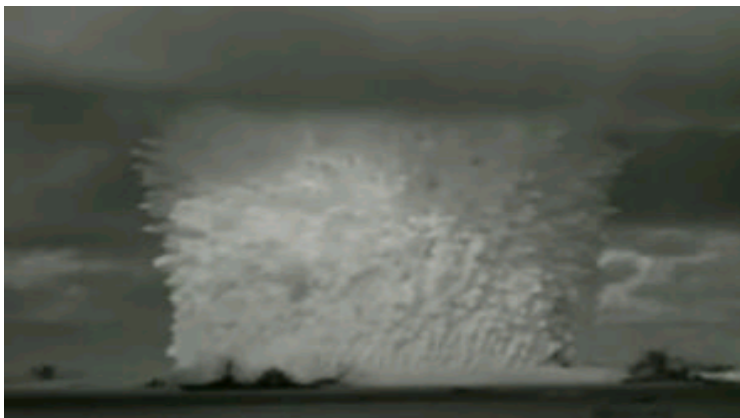


Рис. П.4.5. Подводный ядерный взрыв



Рис. П.4.6. Ядерный гриб в Нагасаки 9 августа 1945 г.



Рис. П.4.7. Нагасаки до и после ядерного взрыва



Рис. П.4.8. Макет бомбы Little boy, сброшенной на Хиросиму



Рис. П.4.9. Руины Нагасаки через 6 недель после бомбардировки, 24 сентября 1945 г.



Рис. П.4.10. Японский мальчик, верхняя часть тела которого не была закрыта во время взрыва



Рис. П.4.11. Точная копия первой советской атомной бомбы РДС-1 мощностью 22 кт выставлена в Музее ядерного оружия в Сарове



Рис. П.4.12. Так выглядела 37-метровая металлическая башня в центре испытательного поля Семипалатинского полигона перед испытанием атомной бомбы РДС-1

Рис. П.4.13. Испытание первой в СССР атомной бомбы РДС-1 на Семипалатинском полигоне 29 августа 1949 г.



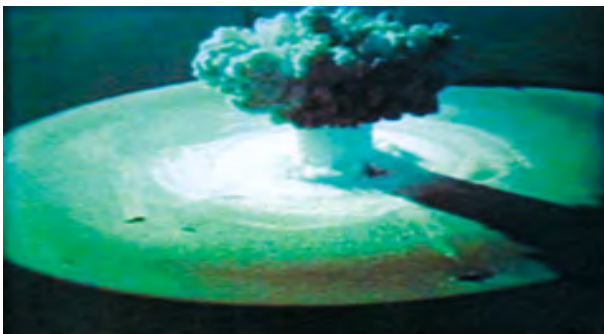


Рис. П.4.14. Первый подводный ядерный взрыв в бухте Черная.
Новая Земля, 21 сентября 1955 г.



Рис. П.4.15. Взрыв 50-мегатонной термоядерной бомбы на Новой Земле.
30 октября 1961 г.

Методика оценки химической обстановки при выбросе аварийно химически опасных веществ

При изучении курса БЖД студенты осваивают данную методику на примере прогнозирования модельных ситуаций с ЧС, обусловленными выбросом аварийно химически опасных веществ (АХОВ).

Проведение такой оценки химической обстановки при решении задач по повышению устойчивости работы объектов. Оценивание химического заражения проводится заблаговременно методом прогнозирования на объектах, имеющих АХОВ, и соседних с ними объектах.

При аварии (разрушении) емкостей с АХОВ прогноз масштабов заражения проводится по конкретно сложившейся обстановке, т.е. берутся реальные количества выброшенного (вылившегося) ядовитого вещества и реальные метеоусловия.

В качестве исходных данных принимают: за величину выброса G_0 – его содержание в максимальной по объему единичной емкости; неблагоприятные метеорологические условия (наличие инверсии, скорость ветра – 1 м/с).

Методика позволяет решать следующие задачи:

- определять размеры зоны возможного химического заражения;
- определять время подхода облака зараженного воздуха к местам пребывания людей от места выброса АХОВ;
- определять продолжительность зараженности среды;
- ориентировочно оценивать количество пораженных людей, оказавшихся в очаге химического заражения.

ЧС, обусловленные выбросом АХОВ, могут возникнуть либо при авариях на химически опасных объектах, где элементом производства служат такие вещества, как хлор, азотная и серная кислоты, фтористый водород, аммиак, либо при пожарах на производствах или складах, где возможно образование таких токсичных продуктов, как окись углерода, окись азота, хлористый водород, сернистый газ и т.п. При транспортировке АХОВ также возможно возникновение ЧС, обусловленной разрушением или повреждением

ем емкостей с АХОВ или еще хуже трубопроводов. Результатом этих ЧС является заражение местности АХОВ и образование очагов химического поражения.

Зона химического заражения включает место непосредственного разлива ядовитых веществ и территорию, над которой распространились пары АХОВ в поражающих концентрациях. В зависимости от количества вылившегося АХОВ может быть один или несколько очагов химического поражения людей и животных. Зона химического заражения характеризуется глубиной распространения облака, содержащего АХОВ с поражающими концентрациями G , его шириной $Ш$ и площадью S .

Основной характеристикой зоны химического заражения является глубина распространения облака зараженного воздуха. Эта глубина пропорционально концентрации АХОВ и скорости ветра. Повышение температуры почвы и воздуха ускоряет испарение АХОВ, а следовательно, увеличивает концентрацию их над зараженной местностью. На глубину распространения АХОВ и их концентрацию в воздухе значительно влияют вертикальные потоки воздуха. Их направление характеризуется степенью вертикальной устойчивости атмосферы. Различают три степени состояния атмосферы: инверсию, конвекцию и изотермию.

Инверсия – повышение температуры воздуха с увеличением высоты. Инверсия в приземном слое воздуха чаще всего образуется в безветренные ночи в результате интенсивного излучения тепла земной поверхностью, что приводит к охлаждению как самой поверхности, так и прилегающего слоя воздуха. Инверсионный слой является задерживающим в атмосфере, препятствующим движению воздуха по вертикали. Поэтому под ним накапливаются водяной пар и пыль, а это способствует рассеиванию воздуха и создает наиболее благоприятные условия для сохранения высоких концентраций АХОВ.

Конвекция – вертикальное перемещение воздуха с одних высот на другие. Воздух более теплый перемещается вверх, а более холодный и более плотный – вниз. При конвекции наблюдаются восходящие потоки воздуха, рассеивающие зараженное облако. Чаще всего конвекция возникает в ясные летние дни.

Изотермия характеризуется стабильным равновесием воздуха. Она наиболее типична для пасмурной погоды, но может возник-

нута и в утренние, и в вечерние часы. Изотермия, так же как инверсия, способствует длительному застою паров АХОВ на местности, в лесу, в жилых кварталах городов и населенных пунктов. Размеры зон химического заражения зависят от количества АХОВ на объекте, физических и токсических свойств, условий хранения, метеоусловий и рельефа местности.

Оценка химической обстановки. Под оценкой химической обстановки понимают определение масштаба и характера заражения АХОВ, анализ их влияния на деятельность объектов, сил МЧС и населения; выбор наиболее целесообразных вариантов действий, обеспечивающих выполнение задач при наименьших потерях.

В результате оценки химической обстановки устанавливаются следующие данные:

- вид АХОВ;
- глубина и площадь зоны химического заражения;
- предельное время пребывания людей в зоне заражения;
- время подхода зараженного воздуха к определенному рубежу (объекту);
- возможные потери обслуживающего персонала (населения) в очаге поражения;
- стойкость химического заражения местности;
- возможные пути миграции загрязняющих веществ.

Исходными данными для оценочных расчетов являются:

- общее количество химических веществ на объекте и данные по размещению их запасов в емкостях и технологических трубопроводах, вид используемых предприятием химических веществ;
- количество химических веществ, выброшенных в атмосферу, характер их разлива на подстилающей поверхности (свободно, в поддон), данные о рельефе близлежащей местности;
- высота поддонов;
- метеоусловия (температура воздуха, скорость ветра на высоте 10 м, степень вертикальной устойчивости атмосферы, характеризующейся наличием инверсии, конвекции, изотермии);
- степень защищенности людей.

Основные теоретические положения. Для упрощения расчетов прогнозирования, согласно [21], вводятся следующие допущения:

- все содержимое разрушающейся емкости поступает в окружающую среду;

- толщина слоя свободно разливающейся жидкости постоянна и составляет 0,05 м;

- толщина слоя жидкости, поступившей в общий поддон, $h = H - 0,2$ м, где H – высота поддона, м;

- толщина слоя жидкости, поступившей в общий поддон от нескольких источников (емкостей, трубопроводов, аппаратов и т.п.), $h = G_0/F\rho$, где G_0 – общее количество разлившегося (выброшенного) при аварии вещества; F – реальная площадь разлива в поддоне, м² (обычно площадь поддона); ρ – плотность разлившегося вещества, г/м³.

При авариях на газо- и продуктопроводах выброс АХОВ принимается равным максимальному количеству АХОВ, содержащемуся в трубопроводе между автоматическими отсекающими, например для аммиакопроводов выброс принимается равным 275 – 500 т.

Внешние границы зоны заражения рассчитываются по средней пороговой токсодозе, вызывающей начальные симптомы поражения АХОВ у 50 % пораженных.

Формы зоны заражения принимаются в виде:

- окружности с центром в точке пролива, если скорость меньше 0,5 м/с;

- полуокружности при скорости ветра 0,6 – 1,0 м/с;

- сектора при скорости ветра более 1 м/с, с углом сектора 90° при скорости ветра 1,2 – 2,0 м/с и 45° при скорости ветра более 2,0 м/с.

Процесс заражения объекта имеет в условиях аварии две стадии образования: первичного и вторичного облаков.

Первичным называется облако загрязняющего вещества, образующееся в результате мгновенного (1 – 3 мин) перехода в атмосферу части содержимого емкости при ее разрушении.

Вторичным называется облако загрязняющего вещества, образующегося в результате испарения разлившегося вещества в подстилающейся поверхности.

Для расчетов масштабов загрязнения определяют количественные характеристики загрязняющего вещества по их эквивалентным значениям по хлору.

Эквивалентное количество вещества по первичному облаку рассчитывается по формуле:

$$G_{31} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot G_0,$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от условий хранения АХОВ (сжатые или сжиженные газы); K_3 – коэффициент, равный отношению пороговой токсодозы хлора к пороговой токсодозе выброшенного вещества; K_5 – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости воздуха, принимающий следующие значения: для инверсии – 1, для изотермии – 0,23, для конвекции – 0,08; K_7 – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха; G_0 – количество вылитого при аварии вещества, которое определяется по объемам поврежденных емкости или секции трубопровода, находящейся между автоматическими задвижками.

Для емкостей $G_0 = \rho V_0$, для секции трубопроводов $G_0 = n \cdot \rho \cdot V_0/100$, где V_0 – объем секции газопровода (или емкости), м³; n – содержание ядовитого химического вещества в природном газе; ρ – плотность вещества, г/м³.

Эквивалентное количество вещества по вторичному облаку рассчитывается по формуле:

$$G_{32} = (1 - K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot G_0/n \cdot \rho,$$

где K_2 – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств АХОВ; K_4 – коэффициент, учитывающий скорость ветра; K_6 – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после начала аварии.

Расчет глубины зоны заражения первичным (вторичным) облаком АХОВ при авариях в техногенных емкостях, хранилищах и на транспорте ведется с использованием табл. П.5.1 – П.5.6. В них приведены максимальные значения глубины заражения первичным (Γ_1) или вторичным (Γ_2) облаком АХОВ, определяемые от эквивалентного количества вещества и скорости ветра.

Полная глубина зоны заражения Γ (км), обусловленная воздействием первичного и вторичного облака АХОВ, определяется формулой:

$$\Gamma = \Gamma^1 + 0,5\Gamma^2, \quad (\text{П.5.1})$$

где Γ^1 – наибольший, Γ^2 – наименьший из размеров Γ_1 и Γ_2 соответственно.

Полученные значения сравниваются с предельно возможной глубиной переноса воздушных масс, определяемой по формуле:

$$\Gamma^2 = \tau \cdot v,$$

где v – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при данной скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха, км/ч, находится по таблице; τ – время, прошедшее после начала аварии, ч. За окончательную расчетную глубину зоны заражения принимается меньшее из двух сравниваемых между собой выражений.

Площадь зоны фактического заражения (км^2) определяется:

$$S_{\phi} = K_8 \cdot \Gamma \cdot \tau^{0,2},$$

где K_8 – коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха, равный для инверсии – 0,081, для изотермии – 0,133, для конвекции – 0,235.

Для оперативного определения глубины распространения АХОВ, времени подхода зараженного воздуха к объекту, времени поражающего действия АХОВ, потерь людей в очаге заражения используют типовую инструкцию (ДНШ-14/628.9.1988).

Определение размеров зон химического заражения. Форма зоны заражения принимается в виде сектора, причем угол сектора 45° (для неустойчивого ветра и закрытой местности в пределах городской застройки), при устойчивом ветре и открытой местности угол равен 12° . Ось следа облака является биссектрисой этих углов. Полученные правая и левая границы зоны показываются на схеме линиями соответствующего цвета. Глубина зоны заражения зависит от количества АХОВ на объекте, их физических и токсических свойств, условий хранения, метеоусловий и рельефа местности.

По табл. П.5.2 определяется глубина зоны заражения парами АХОВ на закрытой местности для разных значений скорости ветра и различных концентраций. Эти размеры переносятся на схему в ее масштабе циркулем (карандашом соответствующего цвета). Внутренняя поверхность зон затушевывается цветным карандашом.

Пример. На объекте разрушилась емкость, содержащая 10 т хлора. Время – ночное, ясно, местность – закрытая, ветер – неустойчивый, скорость – 3 м/с. Определить размеры зоны химического заражения.

Решение.

1. Определяем степень вертикальной устойчивости воздуха. Для этого по табл. П.5.1 находим, что при указанных метеоусловиях степень вертикальной устойчивости воздуха – инверсия.

2. По табл. П.5.2 для хлора определяем глубину распространения зараженного воздуха для первичного облака Γ_1 и вторичного Γ_2 облака при скорости ветра 3 м/с. $\Gamma_1 = 2,98$ км; $\Gamma_2 = 8,53$ км. Далее по формуле (П.5.1) определяем глубину облака $\Gamma = 10,2$ км

Таким образом, глубина распространения облака зараженного воздуха будет 10,2 км.

Определение времени подхода зараженного воздуха к объекту. Для определения времени t подхода облака зараженного воздуха к определенному объекту Т необходимо определить v – скорость перемещения переднего фронта зараженного облака (км/ч) по табл. П.5.3. Затем, зная расстояние до объекта, можно определить время подхода переднего края зараженного облака.

Пример. В результате аварии на объекте, расположенном на расстоянии 8 км от населенного пункта, разрушены емкости со сжиженным аммиаком, скорость ветра – 3 м/с. Время – ночное, ясно, местность – закрытая. Определить время подхода облака зараженного воздуха к населенному пункту.

Решение.

1. Определяем степень вертикальной устойчивости воздуха. Для этого по табл. П.5.1 находим, что при указанных метеоусловиях степень вертикальной устойчивости воздуха – инверсия.

2. По табл. П.5.3 для скорости ветра 3 м/с и степени вертикальной устойчивости воздуха – инверсии – определяем скорость перемещения переднего фронта зараженного облака. Для нашего примера $v = 16$ км/ч.

3. Для расстояния 8 км время подхода $t = 8/16$ ч, т.е. 30 мин.

Определение времени поражающего действия АХОВ. Время поражающего действия АХОВ в очаге химического поражения определяется временем испарения АХОВ с поверхности его выброса. Время испарения жидкости определяется как частное от деления массы жидкости в резервуаре на скорость испарения.

Для определения условий можно рассчитывать ориентировочное время испарения некоторых АХОВ по табл. П.5.4. Время испарения используется для определения ориентировочного времени поражающего действия АХОВ в очаге химического поражения.

Пример. На объекте разрушена емкость с хлором (разлив в поддон). Скорость ветра – 3 м/с. Определить время поражающего действия разлившегося хлора.

Решение.

По табл. П.5.4 находим, что время поражающего действия хлора (время испарения) при скорости ветра 3 м/с равно 10,8 ч.

Определение возможных потерь людей в очаге химического поражения. Потери рабочих, служащих и проживающего вблизи от объектов населения, а также личного состава формирований ГО будут зависеть от численности людей, оказавшихся на площади очага поражения, степени их защищенности и своевременного использования средств индивидуальной защиты (противогазов).

Количество рабочих и служащих, оказавшихся в очаге поражения, подсчитывается по их наличию на территории объекта в зданиях, цехах, на площадках; количество населения – по жилым кварталам в городе (населенном пункте). Возможные потери людей в очаге поражения определяются по табл. П.5.5.

Пример. На химическом заводе в результате аварии разрушена емкость, содержащая 18 т хлора. Рабочие и служащие завода обеспечены противогазами. Определить возможные потери рабочих и служащих на заводе, считая время пребывания их 30 мин.

Решение.

1. Наносим на план завода зону химического заражения и определяем, что в очаге поражения находятся три цеха с числом рабочих и служащих 600 чел.

2. По табл. П.5.5 определяем потери:

$$P = 600 \cdot (1 - 0,8) = 120 \text{ чел.}$$

Результаты расчетов по конкретно сложившейся обстановке после разрушения объекта, имеющего АХОВ, можно использовать для анализа и практического использования при проведении мероприятий по защите населения и ликвидации последствий заражения.

На основании анализа результатов оценки химической обстановки определяется вид мероприятий по защите рабочих и служащих: эвакуация, использование средств индивидуальной защиты, использование коллективных средств защиты. Определяются способы обеззараживания территории объекта, а также проведения санитарной обработки людей.

Основная таблица к методике определяет степень вертикальной устойчивости воздуха (см. табл. П.5.1).

Таблица П.5.1

Скорость ветра по прогнозу, м/с	Ночь		Утро		День		Вечер	
	ясно, пере- менная облачность	сплош- ная об- лач- ность	ясно, пе- ременная облач- ность	сплошная облачность	ясно, перемен- ная облачность	сплош- ная об- лачность	ясно, пере- менная об- лачность	сплошная облач- ность
< 2	ин	из	из (ин)	из	к (из)	из	ин	из
2 – 4	ин	из	из (ин)	из	к (из)	из	из (ин)	из
> 4	из	из	из	из	из	из	из	из

Примечание:

инверсия (ин) – состояние приземного воздуха, при котором температура нижнего его слоя меньше температуры верхнего слоя;

изотермия (из) – равенство вышеупомянутых температур;

конвекция (к) – противоположность инверсии.

Глубина (в верхней строке), км, и площадь зоны заражения (в нижней строке), км², при аварийном выбросе (выливе) хлора (свободный разлив) в заданном количестве тонн: в числителе – от первичного облака, в знаменателе – от вторичного облака определяются по табл. П.5.2.

Таблица П.5.2

Скорость ветра по про- гнозу, м/с	Глубина (км)/площадь заражения (км ²) первичным (в числителе) и вторичным (в знаменателе) облаком при аварийных выбросах, т									
	0,1	0,3	0,5	1,0	5,0	10	30	50	100	500
<i>Инверсия</i>										
1	0,50/0,01 1,30/0,14	0,88/0,045 2,40/5	1,17/0,084 3,2/0,9	1,74/0,2 4,8/2,1	4,44/1,56 12,5/13,6	6,71/3,87 19,17/31,8	13,0/16,8 20,0/42,8	17,5/33,5 20,0/42,7	20,0/42,7 20,0/42,7	20,0/42,7 20,0/42,7
2	0,35/0,005 0,916/0,07	0,61/0,017 1,58/0,21	0,79/0,03 2,06/0,35	1,12/0,66 3,02/0,75	2,60/0,44 7,53/4,69	3,9/1,05 11,3/10,5	7,5/4,3 21,7/39,0	10,1/8,3 29,6/72,5	15,3/20,8 40,0/171,0	40,0/171,0 40,0/171,0
3	0,28/0,003 0,76/0,046	0,50/0,01 1,32/0,14	0,65/0,018 1,70/0,23	0,92/0,04 2,41/0,46	2,05/0,22 5,75/2,64	2,98/0,51 8,53/5,80	5,52/2,0 16,1/20,8	7,4/3,8 21,8/38,1	11,1/9,4 33,0/87,3	29,2/78,068 64,0/437,9
4	0,25/0,002 0,67/0,035	0,43/0,01 1,16/0,10	0,56/0,012 1,5/0,17	0,79/0,026 2,12/0,35	1,77/0,15 4,84/1,81	2,51/0,33 7,10/3,90	4,5/1,2 13,2/13,6	6,0/2,3 17,8/24,6	9,0/5,56 26,8/55,7	23,1/44,4 70,7/540,3
<i>Конвекция</i>										
1	0,14/0,002 0,36/0,03	0,25/0,007 0,62/0,1	0,32/0,01 0,80/0,16	0,45/0,038 1,16/0,34	1,04/0,17 2,85/2,05	1,55/0,41 4,26/4,57	2,91/1,67 8,15/16,7	3,39/3,23 11,0/30,8	5,9/8,0 16,86/71,4	15,7/68,5 28,0/243,1
2	1,01/0,01 0,26/0,02	0,17/0,003 0,45/0,05	0,22/0,005 0,58/0,08	0,32/0,01 0,82/0,16	0,71/0,07 1,84/0,81	1,01/0,14 2,69/1,74	1,78/0,49 4,97/5,93	2,37/0,92 6,7/10,7	3,51/2,2 10,0/23,9	8,9/17,3 26,1/171,3
3	0,086/0,0 0,212/0,01	0,14/0,002 0,37/0,03	0,18/0,003 0,48/0,05	0,26/0,006 0,68/0,10	0,58/0,04 1,53/0,54	0,82/0,08 2,17/1,09	1,43/0,28 3,86/3,45	1,8/0,5 5,12/6,08	2,6/1,1 7,57/13,2	6,61/8,1 19,3/86,3
4	0,71/0,00 0,1/0,00	0,12/0,001 0,33/0,02	0,16/0,002 0,42/0,04	0,223/0,00 0,6/0,08	0,50/0,03 1,35/0,40	0,71/0,06 1,9/0,81	1,24/0,19 3,30/2,45	1,6/0,34 4,3/4,2	2,2/0,76 6,3/9,0	5,3/4,8 15,8/56,1
<i>Изотермия</i>										
1	0,24/0,00 0,60/0,04	0,41/0,01 1,06/0,12	0,53/0,018 1,40/0,217	0,76/0,04 2,06/0,47	1,89/0,29 5,3/3,00	2,81/0,70 7,87/6,82	5,37/2,91 15,3/25,6	7,29/5,70 20,8/52,88	11,1/14,3 24,0/78,34	24,0/78,3 24,0/78,3
3	0,14/0,00 0,36/0,01	0,24/0,002 0,63/0,04	0,31/0,004 0,81/0,07	0,43/0,01 1,15/0,13	0,98/0,05 2,59/0,67	1,38/0,11 3,74/1,42	2,42/0,40 6,89/4,81	3,22/0,75 9,22/8,65	4,77/1,79 13,8/19,3	12,1/13,9 35,9/95,5
5	0,10/0,00 0,29/0,01	0,18/0,001 0,50/0,024	0,24/0,002 0,65/0,04	0,34/0,005 0,91/0,08	0,76/0,03 2,02/0,40	1,07/0,06 2,90/0,81	1,86/0,20 5,08/2,46	2,40/0,36 6,71/4,32	3,40/0,77 9,86/9,3	8,3/5,5 24,9/59,5

Окончание табл. П.5.2

Скорость ветра по прогнозу, м/с	Глубина (км)/площадь заражения (км ²) первичным (в числителе) и вторичным (в знаменателе) облаком при аварийных выбросах, т									
	0,1	0,3	0,5	1,0	5,0	10	30	50	100	500
7	0,09/0,00	0,15/0,001	0,20/0,001	0,28/0,003	0,64/0,02	0,90/0,04	1,57/0,13	2,03/0,23	2,87/0,50	6,5/3,08
	0,25/0,00	0,45/0,017	0,56/0,029	0,79/0,058	1,77/0,29	2,50/0,58	4,34/1,74	5,60/2,90	8,08/6,0	19,8/36,45
9	0,08/0,00	0,14/0,001	0,17/0,001	0,25/0,002	0,56/0,01	0,80/0,03	1,38/0,09	1,79/0,16	2,56/0,36	5,6/2,12
	0,22/0,00	0,39/0,013	0,50/0,02	0,71/0,045	1,59/0,22	2,24/0,45	3,89/1,35	5,02/2,25	7,11/4,5	17,0/25,8
11	0,07/0,00	0,12/0,001	0,16/0,001	0,22/0,002	0,51/0,01	0,72/0,02	1,25/0,07	1,62/0,12	2,29/0,27	5,1/1,36
	0,20/0,00	0,35/0,01	0,46/0,02	0,65/0,037	1,45/0,18	2,06/0,37	3,57/1,10	4,61/1,84	6,52/3,69	15,1/19,85
13	0,06/0,00	0,11/0,00	0,15/0,001	0,21/0,001	0,47/0,01	0,66/0,02	1,15/0,05	1,49/0,10	2,11/0,22	4,7/1,31
	0,19/0,00	0,33/0,001	0,43/0,016	0,60/0,031	1,35/0,15	1,91/0,31	3,32/0,93	4,29/1,56	6,07/3,13	13,7/16,0
15	0,06/0,00	0,1/0,00	0,14/0,001	0,19/0,001	0,43/0,007	0,62/0,01	1,07/0,04	1,38/0,08	1,96/0,18	4,3/1,09
	0,1/0,002	0,3/0,01	0,040/0,01	0,57/0,027	1,27/0,13	1,80/0,27	3,13/0,81	4,03/1,35	5,71/2,7	12,7/13,5

Время подхода облака к месту расположения людей на заданном удалении рассчитывается по скорости перемещения переднего фронта зараженного облака (км/ч), см. табл. П.5.3.

Таблица П.5.3

Состояние приземного слоя воздуха	Скорость ветра по данным прогноза, м/с									
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	15
Инверсия	5	10	16	21	—	—	—	—	—	—
Изотермия	6	12	18	24	29	35	47	59	71	89
Конвекция	7	14	21	28	—	—	—	—	—	—

Продолжительность существования облака хлора принимается равной продолжительности испарения сжиженного хлора (в часах) с площади разлива при температуре выше $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$. Она зависит от скорости ветра и определяется по табл. П.5.4.

Таблица П.5.4

Скорость ветра по прогнозу, м/с	Характер разлива	
	свободный разлив, $h = 0,05\text{ м}$	разлив в поддон (обваловку), $h = 0,6\text{ м}$
1	1,5	18,0
2	1,13	13,5
3	0,9	10,8
4	0,75	9,0
5	0,65	7,7
8	0,45	5,4
10	0,375	4,5
12	0,33	4,0
15	0,27	3,25

Общее количество пораженных людей (П) оценивается по соотношению:

$$П = М \cdot (1 - K_3), \quad (П.5.2)$$

где М – количество людей, оказавшихся в зоне химического заражения; K_3 – коэффициент защищенности производственного персонала (населения) от хлора (АХОВ) при использовании различных укрытий, средств индивидуальной защиты и защитных сооружений (табл. П.5.5).

Таблица П.5.5

Место пребывания или применяемые средства защиты	Время пребывания, ч					
	0,25	0,5	1	2	3 – 4	
	0	0	0	0	0	0
Открыто на местности						
В производственных помещениях с коэффициентом кратности воздухообмена:						
0,5	0,97	0,87	0,68	0,38		0,09
1,0	0,67	0,52	0,30	0,13		0
2,0	0,18	0,08	0,04	0		0
В убежищах:						
с режимом регенерации воздуха	1	1	1	1	1	1
без режима регенерации воздуха	1	1	1	1	1	0
В средствах индивидуальной защиты органов дыхания (промышленных противогазах)	0,95	0,8	0,5	0	0	0

Для прогнозирования параметров очагов химического заражения образованных другими ОХВ (не хлором) используется изложенная методика. Количество фактического ОХВ (G), попавшего в окружающую среду, приводится к эквивалентному количеству хлора ($G_{\text{экв}}$) по соотношению:

$$G_{\text{экв}} = G \cdot K_{\text{экв}} \quad (\text{П.5.3})$$

Здесь $K_{\text{экв}}$ – коэффициент эквивалентности фактического ОХВ, он находится по табл. П.5.6. Кроме того, по этой же таблице определяются поправочные температурные коэффициенты к глубине (K_t) и к площади (K_n) зоны химического заражения. Окончательные значения глубины и площади очага заражения находятся путем умножения на эти температурные коэффициенты значений глубины и площади, найденных по величине $G_{\text{экв}}$ (см. табл. П.5.6).

Таблица П.5.6

№ п/п	Наименование АХОВ	Коэффициент эквивалентности, ($K_{\text{эв}}$) при +20 °С	Поправочные коэффициенты к глубине и площади зоны заражения (K_1/K_2) при температуре воздуха		
			-20 °С	0 °С	+40 °С
1	Хлор	$\frac{1}{1}$	$\frac{0,5/0,25}{1}$	$\frac{0,8/0,64}{1}$	$\frac{1,2/1,4}{1}$
2	Азотная кислота (конц.)	$\frac{0}{21}$	$\frac{0}{0,3/0,09}$	$\frac{0}{0,5/0,26}$	$\frac{0}{1,7/2,9}$
3	Аммиак	$\frac{25}{25}$	$\frac{0,5/0,25}{1}$	$\frac{0,8/0,64}{1}$	$\frac{1,2/1,4}{1}$
4	Ацетонитрил	$\frac{0}{150}$	$\frac{0}{0,3/0,09}$	$\frac{0}{0,6/0,36}$	$\frac{0}{1,6/2,5}$
5	Ацетонциангидрин	$\frac{0}{250}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{1}$
6	Водород хлористый	$\frac{1,65}{3,7}$	$\frac{0,9/0,8}{1}$	$\frac{0,8/0,64}{1}$	$\frac{1,1/1,2}{1}$
7	Водород фтористый	$\frac{500}{600}$	$\frac{0}{0,4/0,16}$	$\frac{0}{0,7/0,5}$	$\frac{0}{1}$
8	Водород цианистый	$\frac{0}{1,5}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0,6/0,36}$	$\frac{0}{1,1/1,2}$
9	Диметиламин	$\frac{40}{7,1}$	$\frac{0}{0,5/0,25}$	$\frac{0}{0,9/0,8}$	$\frac{1,6/2,6}{1}$
10	Метиламин	$\frac{25}{7,8}$	$\frac{0}{0,7/0,05}$	$\frac{0,5/0,25}{1}$	$\frac{1,3/1,7}{1}$
11	Метил бромистый	$\frac{800}{165}$	$\frac{0}{0,6/0,38}$	$\frac{0}{0,9/0,8}$	$\frac{1,5/2,3}{1}$

№ п/п	Наименование АХОВ	Коэффициент эквивалентности, ($K_{\text{экв}}$) при +20 °С	Поправочные коэффициенты к глубине и площади зоны заражения (K_1/K_2) при температуре воздуха		
			-20 °С	0 °С	+40 °С
12	Метил хлористый	$\frac{165}{165}$	$\frac{0,3/0,09}{1}$	$\frac{0,7/0,5}{1}$	$\frac{1,2/1,4}{1}$
13	Нитрил акриловой кислоты	$\frac{0}{3,7}$	$\frac{0}{0,3/0,09}$	$\frac{0}{0,6/0,36}$	$\frac{0}{0,6/2,6}$
14	Окись этилена	$\frac{370}{70}$	$\frac{0}{0,5/0,25}$	$\frac{0}{0,8/0,64}$	$\frac{1,8/3,2}{1}$
15	Сернистый ангидрид	$\frac{50}{35}$	$\frac{0}{0,8/0,64}$	$\frac{0,6/0,36}{1}$	$\frac{1,3/1,7}{1}$
16	Сероводород	$\frac{20}{28}$	$\frac{0,7/0,5}{1}$	$\frac{0,9/0,8}{1}$	$\frac{1,2/1,4}{1}$
17	Сероуглерод	$\frac{0}{350}$	$\frac{0}{0,4/0,16}$	$\frac{0}{0,6/0,36}$	$\frac{0}{1,4/2,0}$
18	Соляная кислота	$\frac{0}{7,0}$	$\frac{0}{0,3/0,09}$	$\frac{0}{0,6/0,36}$	$\frac{0}{1,7/2,9}$
19	Формальдегид	$\frac{1,2}{1}$	$\frac{0}{1}$		$\frac{1,2/1,4}{1}$
20	Фосген	$\frac{3,6}{1}$	$\frac{0}{0,5/0,25}$	$\frac{0}{0,9/0,8}$	$\frac{1,6/2,6}{1}$
21	Хлорширин	$\frac{0}{0,52}$	$\frac{0}{0,3/0,09}$	$\frac{0}{0,6/0,36}$	$\frac{0}{1,7/2,9}$

ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Учебное пособие

Под общей ред. И.К. Леденева

Редактор М.В. Макарова

Подписано в печать 15.11.2007. Формат 60х84 1/16
Печ.л. 20,5. Уч.-изд.л. 20,5. Тираж 500 экз.
Изд. № 4/93 Заказ № 0-640

*Московский инженерно-физический институт
(государственный университет).
115409, Москва, Каширское ш., 31*

*Типография издательства «Тривант».
г. Троицк Московской обл.*