

Министерство образования Российской Федерации

**Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет**

Факультет Безопасности ИВТОБ

В.И.Васильев

Устойчивость объектов экономики в ЧС

Рекомендовано УМО по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 220100 – «Системный анализ и управление» и 280100 – «Безопасность жизнедеятельности»

**Санкт-Петербург
2006**

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Список используемых сокращений	9
1. ПОНЯТИЯ И ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ	10
О ПРОБЛЕМЕ УСТОЙЧИВОСТИ	10
СЛОЖНЫХ СИСТЕМ	10
2. ПРОТИВОАВАРИЙНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ	16
ПОТЕНЦИАЛЬНО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ	16
ЭКОНОМИКИ (ПООЭ)	16
2.1. ПООЭ, принципы и критерии их	16
противоаварийной устойчивости	16
2.1.1. ПООЭ и их краткая характеристика	16
2.1.2. Принципы и критерии противоаварийной	21
устойчивости ПООЭ	21
2.2. Предотвращение аварий	22
2.2.1. Общие положения	22
2.2.2. Предупреждение аварийных ситуаций	23
2.2.3. Диагностика и контроль повреждений	26
2.2.3.1. Контроль износов	26
2.2.3.2. Контроль нагрузок	33
2.2.3.3. Контроль параметров движения	37
2.2.3.4. Контроль прочности	41
2.2.3.5. Контроль температур	45
2.2.3.6. Контроль состава и концентрации веществ	47
2.2.4. Противоаварийные системы. Обеспечение и анализ их	50
надёжности	50
2.2.4.1. Обеспечение надёжности противоаварийных систем	51
2.2.4.2. Анализ надёжности противоаварийных систем	55
2.3. Устойчивость к ошибкам производственного персонала	71
2.3.1. "Взаимоотношения" производственного персонала с	71
технологическими установками	71
2.3.2. Ошибки производственного персонала	73
2.3.3. Управляющие воздействия в аварийных ситуациях	75
2.4. Анализ устойчивости ПООЭ к авариям	76
3. УСТОЙЧИВОСТЬ ОБЪЕКТОВ ЭКОНОМИКИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ	
СИТУАЦИЯХ	81
3.1. Понятие об устойчивости объектов экономики в ЧС	81
3.1.1. Принципы и критерии устойчивости ОЭ в ЧС	81
3.1.2. Организация исследования устойчивости ОЭ в ЧС	83
3.1.3. Факторы, влияющие на устойчивость ОЭ в условиях ЧС	86
3.2. Методика детерминированной оценки устойчивости ОЭ к действию	
поражающих факторов	87
3.2.1. Общие положения и алгоритм оценки	87
3.2.2. Оценка защиты производственного персонала	88
3.2.3. Оценка устойчивости ОЭ к действию механических поражающих	
факторов	94
3.2.4. Оценка устойчивости ОЭ к потерям	114
3.2.4.1. Оценка устойчивости ОЭ к возникновению пожаров	114

3.2.4.2. Оценка устойчивости ОЭ при пожаре	142
3.2.5. Оценка устойчивости ОЭ в условиях химического и бактериологического заражения	153
3.2.6. Оценка устойчивости ОЭ в условиях радиоактивного заражения	164
3.2.7. Оценка устойчивости ОЭ при действии вторичных поражающих факторов	169
3.2.8. Оценка устойчивости энергообеспечения ОЭ	170
3.2.9. Оценка устойчивости материально-технического обеспечения производства и сбыта готовой продукции	170
3.2.10. Оценка устойчивости системы управления производством	171
3.2.11. Оценка готовности ОЭ к восстановлению в случае получения повреждений	172
3.3. Вероятностная оценка устойчивости ОЭ	173
3.3.1. Общий подход к вероятностной оценке устойчивости ОЭ	174
3.3.2. Вероятностная оценка опасного явления	181
3.3.3. Вероятностная оценка защиты производственного персонала ОЭ	194
4. ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОЭ В ЧС	199
4.1. Правовые основы деятельности по обеспечению устойчивости ОЭ	199
4.1.1. Декларация безопасности промышленного объекта РФ	200
4.1.1.1. Структура и основные требования, предъявляемые к декларации	200
4.1.1.2. Правила составления декларации и лицензирование деятельности промышленного объекта	205
4.1.2. Строительные нормы и правила СНиП II. 0151-90	206
4.1.2.1. Назначение, содержание и применение норм проектирования инженерно-технических мероприятий гражданской обороны	206
4.1.2.2. Зонирование территорий	207
4.1.2.3. Требования НП ИТМ ГО к размещению объектов и планировке городов	208
4.1.2.4. Требования НП ИТМ к зданиям, сооружениям и внешним инженерным сетям	211
4.1.2.5. Требования НП ИТМ ГО к электроснабжению, гидротехническим и транспортным сооружениям, связи	213
4.2. Основные принципы повышения устойчивости ОЭ	214
4.3. Пути, способы и мероприятия по повышению устойчивости ОЭ	215
4.3.1. Общие положения	215
4.3.2. Обеспечение защиты производственного персонала	219
4.3.3. Повышение устойчивости инженерно-технического комплекса	221
4.3.4. Подготовка к безаварийной остановке производства	231
4.3.5. Повышение устойчивости материально-технического снабжения	233
4.3.6. Мероприятия по подготовке к быстрому восстановлению производства	235
4.3.7. Повышение устойчивости системы управления объектом	238
4.3.8. Мероприятия, завершающие подготовку ОЭ к работе в условиях ЧС	240

4.4. Обоснование выбора рациональной структуры системы мероприятий по обеспечению устойчивости ОЭ в ЧС	241
4.4.1. Симплексный метод выбора оптимальных решений	242
4.4.2. Метод анализа иерархических структур	250
5. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОЭ в ЧС	261
5.1. Оценка ущерба	261
5.1.1. Оценка прямого ущерба	262
5.1.2. Оценка косвенного ущерба	264
5.1.2.1. Затраты на восстановление производства	265
5.1.2.2. Утраченная величина прибыли за время восстановления производства	266
5.1.2.3. Величина штрафов за невыполнение договорных обязательств	267
5.1.2.4. Компенсации пострадавшим при ЧС и семьям погибших	267
5.1.2.5. Средства необходимые для ликвидации ЧС	268
5.1.2.6. Ущерб, связанный с ликвидацией последствий ЧС	275
5.1.2.7. Затраты, связанные с возмещением ущерба, причинённого физическим и юридическим лицам	285
5.1.2.8. Затраты, связанные с возмещением ущерба, причинённого окружающей среде	285
5.2. Оценка достоверности ущерба	286
5.3. Прогнозирование ущерба	288
Решение.	291
5.4. Определение величины страхового фонда	292
6. НЕКОТОРЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРОБЛЕМЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОЭ В ВОЙНАХ БУДУЩЕГО	294
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	300
Приложение 1.	302
Приложение 2.	305
Приложение 3.	308
Приложение 4.	311
Приложение 5.	313
Литература.	315

ВВЕДЕНИЕ

Проблема обеспечения устойчивости объектов экономики (ОЭ) в чрезвычайных ситуациях (ЧС) является одной из основных проблем национальной безопасности любой страны. Без решения этой проблемы невозможно обеспечить ни военную, ни экономическую, ни любую другую безопасность.

Военная, экономическая, социальная и другие виды национальной безопасности непосредственно связаны с устойчивой, стабильной работой ОЭ в любых условиях, в том числе в условиях ЧС. При этом в условиях ЧС обеспечение устойчивости ОЭ особенно важно.

Проблема устойчивости промышленных предприятий, предприятий сельского хозяйства и социальной сферы, объединенных в настоящее время термином объекты экономики, не является новой. Она возникла вместе с ними. Нестабильная, неустойчивая работа ОЭ неизбежно связана с наступлением негативных экономических, социальных и других последствий, в которых нет заинтересованных лиц. Поэтому на всех этапах развития экономики эта проблема в той или иной мере решалась. Всегда на всех этапах развития человеческого общества ведению войн предшествовала подготовка экономики, играющая решающую роль в вооруженной борьбе. Без устойчивой экономики невозможно обеспечение вооруженных сил средствами ведения войны и жизнедеятельности населения.

Всплески энтузиазма в решении проблемы всегда отмечались после войн и масштабных чрезвычайных ситуаций мирного времени, когда становилось совершенно очевидным, что последствия этих событий были бы значительно меньшими при принятии превентивных адекватных мер по обеспечению устойчивости ОЭ. Таким образом, до определенных моментов времени проблема четко не осознавалась, решалась на уровне подсознания и эпизодически. Коренной перелом в подходе к решению проблемы наступил лишь с расширением масштабов войн и усугублением тяжести их последствий. Началом осознанного отношения к проблеме, по-видимому, следует считать 2-ю мировую войну, когда в воюющих странах начали осуществляться специальные мероприятия по подготовке экономики к войне и обеспечению ее устойчивости во время войны. Известно, что устойчивость работы экономики Советского Союза частично обеспечивалась эвакуацией наиболее важных промышленных предприятий из районов военных действий в отдаленные тыловые районы, строительством в них новых и реконструкцией существовавших предприятий. В фашисткой Германии устойчивость некоторых предприятий обеспечивалась их размещением в горных выработках.

Особую остроту проблема приобрела с появлением оружия массового поражения, которое создало угрозу поражения не только отдельных ОЭ в пределах территории стран, но и целых промышленных районов с нанесением неприемлемого ущерба уже в самом начале военных действий. В ходе ведения войн с применением оружия массового поражения возрастает потребность вооруженных сил во всех видах обеспечения, которые могут быть гарантированы только устойчиво функционирующей экономикой. Ослабление военного противостояния не сняло остроты проблемы. Рост организационной сложности и технической оснащенности ОЭ, их энергонасыщенности, все более широкое применение опасных веществ в больших количествах и опасных технологий, нарушение хода естественных природных процессов, ухудшение социальной обстановки в ряде стран мира и другие причины приводят объективному росту числа аварий, катастроф и стихийных бедствий, последствия которых становятся не только соизмеримыми с последствиями войн, но и в ряде случаев их превосходят. Чернобыльская катастрофа, катастрофа на химическом предприятии Юнион Карбайт в индийском городе Бхопал, катастрофические землетрясения, наводнения и ураганы последних лет наглядное тому подтверждение. Экономические, социальные и политические последствия природных и техногенных опасных явлений, как показывает этот опыт, могут быть очень тяжелыми, если объекты экономики не способны противостоять действию поражающих факторов, т.е. не обладают свойством, которое носит название устойчивости. Примером такого рода являются последствия двух одинаковых по силе землетрясений, произошедших в 1986 году в Армении и в 1987 году в Лос-Анжелесе. В первом случае, когда устойчивость не была обеспечена, имели место массовые разрушения и гибель более 25 тысяч человек, во втором случае – произошло обрушение только недостаточно устойчивого путепровода с гибелью менее 200 человек. Для объектов экономики, представляющих опасность для жизнедеятельности людей и окружающей природной среды, важно также обеспечить их устойчивость к возникновению аварий, при которых они сами становятся источниками поражающих факторов.

Современные ОЭ до предела оснащены технологическим оборудованием, представляющим собой сложные технические системы. Отказ любого из элементов этих систем может привести к аварии или катастрофе. Стремление избежать отказов вызвало появление теории надежности технических систем, предметом интересов которой стало выявление причин отказов и их закономерностей, разработка методов и способов предупреждения отказов. С увеличением вероятности внешних воздействий объектом исследования теории надежности стала работа технических систем не только в нормальных, но и в экстремальных условиях при действии на них поражающих факторов. Вне интересов

теории надежности остается производственный персонал и другие факторы, оказывающие не меньшее влияние на безотказную работу ОЭ в любых условиях и особенно в условиях ЧС. Изучение влияния всех факторов в их органическом единстве на безотказную работу ОЭ в условиях ЧС, разработка методов и способов ее обеспечения составляют предмет интересов научного направления «Устойчивость ОЭ в ЧС». Теоретическими основами «Устойчивость ОЭ в ЧС» является широкий диапазон фундаментальных и прикладных дисциплин, в числе которых особое значение имеют теория надежности технических систем, являющаяся ее необходимой составной частью, теория сложных систем, организация производства и управление производственными процессами, менеджмент, маркетинг, социология, психология личности и производственных коллективов. В качестве инструмента для решения научных и прикладных задач широко используются теория вероятностей, математическая статистика, теория информации, исследование операций, теория моделирования и другие дисциплины. Решение задачи по обеспечению устойчивости ОЭ в ЧС неразрывно связано с решением двух других важнейших задач: Защитой населения и проведением аварийно-спасательных и других неотложных работ (АС и ДНР) в очагах поражения. Обеспечение устойчивости ОЭ в ЧС одновременно решает задачу защиты его производственного персонала, исключает или существенно облегчает ведение АС и ДНР.

Рост числа ЧС и их масштабов вместе с все еще существующей угрозой войн создают потребность в специальных кадрах, которые могли бы квалифицированно решать задачи по прогнозированию и предупреждению ЧС, оптимальному управлению в условиях ЧС, ликвидации их последствий. Решение этих задач невозможно без обеспечения устойчивости ОЭ. Поэтому в числе учебных дисциплин будущих специалистов в этой области должна быть дисциплина «Устойчивость ОЭ в ЧС». К сожалению, несмотря на длительный период военного противостояния двух социальных систем, многочисленные аварии и катастрофы, такая дисциплина окончательно не сформировалась. В этой связи в настоящем учебном пособии делается попытка анализа, обобщения и доступного для студентов изложения материала, связанного с решением задач по обеспечению устойчивости ОЭ в ЧС. Изложение отдельных вопросов и решение некоторых задач отличается от принятого в существующих изданиях и может быть оспорено. Глубина изложения материала неодинакова. Некоторые, как представляется, не очень существенные для будущих специалистов вопросы, излагаются поверхностно, другие – более глубоко. В целом пособие ни в коем случае не претендует на полноту освещения всех затронутых в нем вопросов. В то же время оно возможно будет полезно не только для студентов и преподавателей, являющихся специалистами в этой области, но и для

представителей других специальностей при выполнении ими работ, затрагивающих эту сферу знаний.

Список используемых сокращений

ЧС – чрезвычайная ситуация
ОЭ – объект экономики
ПООЭ – потенциально опасный объект экономики
ОТУ – опасная технологическая установка
ООП – особо опасное производство
РОО – радиационно-опасный объект
ХОО – химически опасный объект
ОЯ – опасное явление
АЭС – атомная электростанция
ПАС – противоаварийная система
ПФ – поражающий фактор
ОПФ – опасные факторы пожара
АХОВ – аварийные химически опасные вещества
РВ – радиоактивные вещества
ОВ – отравляющие вещества
РЗ – радиоактивное заражение
ЗВР – зона возможных разрушений
ЗВСлР – зона возможных слабых разрушений
ЗВСР – зона возможных сильных разрушений
ЗВОРЗ – зона возможного опасного радиоактивного заражения
ЗВСРЗ – зона возможного сильного радиоактивного заражения
ЗВОХЗ – зона возможного опасного химического заражения
ЗВКЗ – зона возможного катастрофического затопления
ЗЗ – загородная зона
ЗС – защитное сооружение
СИЗ – средства индивидуальной защиты
АС и ДНР – аварийно-спасательные и другие неотложные работы
НП – норма проектирования
ИТМ ГО – инженерно технические мероприятия гражданской обороны
ОФП – основные производственные фонды
ОС – оборотные средства
КЭС – коммунально-энергетические сети

1. ПОНЯТИЯ И ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРОБЛЕМЕ УСТОЙЧИВОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Одним из важнейших условий нормальной работы любых сложных систем является наличие у них качества, называемого устойчивостью. Системы, не обладающие этим качеством, как правило, не пригодны для практического использования. Наличие устойчивости или неустойчивости проявляется при нарушении равновесия системы, т.е. в переходных режимах. Устойчивые системы спустя некоторое время, называемое длительностью переходного процесса, приходят к новому состоянию равновесия, характеризующемуся другим постоянным значением регулируемого параметра, либо тем же, которое было до вывода системы из первоначального состояния равновесия. Вывод системы из равновесного состояния происходит под действием на неё возмущающих сил. При этом поведение системы зависит не только от ее динамических свойств, например, инерционности, но и от характера возмущающего воздействия.

При медленном воздействии неблагоприятные динамические свойства системы в меньшей степени сказываются на переходном процессе, при быстром – наоборот. Наиболее неприятным воздействием является скачкообразное воздействие. В общем смысле под устойчивостью системы понимается состояние, при котором действующие в системе силы взаимно уравновешиваются. Обеспечение устойчивости систем достигается введением в их состав дополнительных корректирующих звеньев, которые могут быть последовательными и параллельными (местными и общими обратными связями). Структурная схема технической системы с такими связями показана на рис 1.1.

Показанная на рис 1.1. схема характерна не только для технических, но и биологических систем. Роль корректирующих звеньев в биологических системах играет нейрогуморальная регуляция, за счет которой саморегулируются физиологические функции организма, то есть осуществляется автоматическое поддержание на строго постоянном уровне необходимых констант и процессов, так называемого, гомеостаза.

В социальных системах роль корректирующих звеньев играют команды и распоряжения, которые формируются на основе имеющейся у «оператора» информации о желаемом и истинном состоянии управляемого общественного объекта. Структурная схема обеспечения устойчивости социальной системы показана на рис. 1.2.

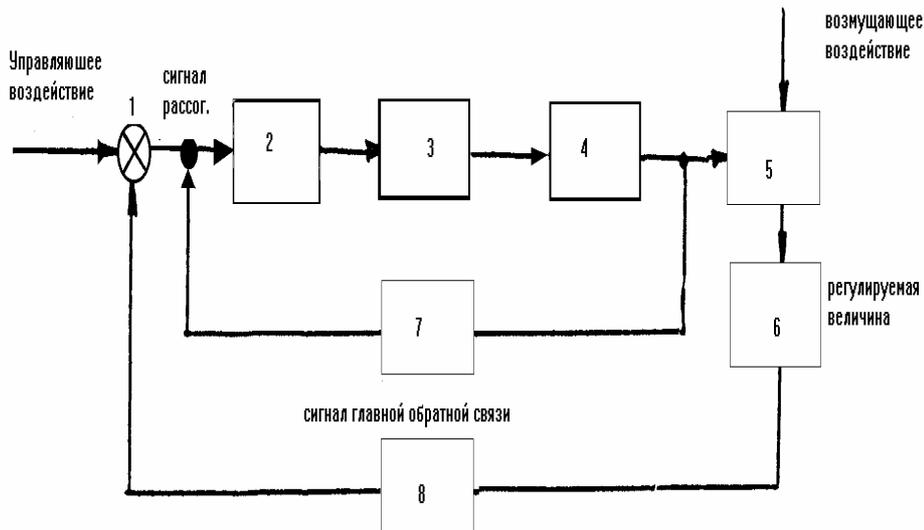
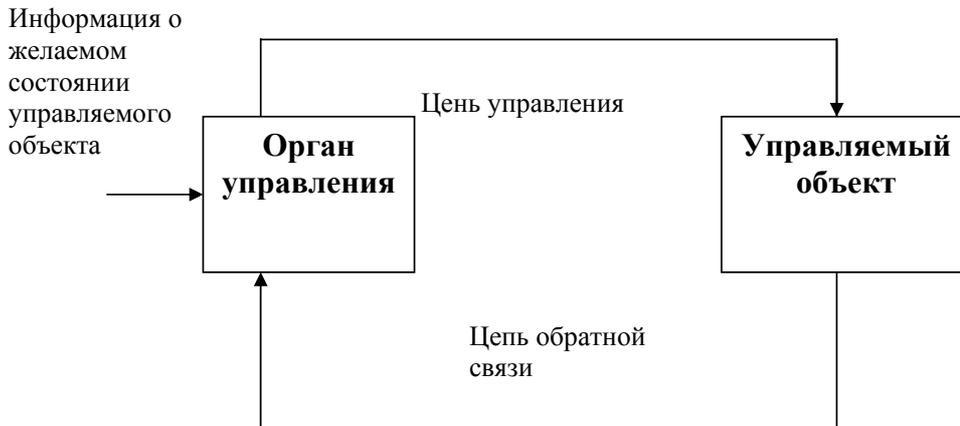


Рис 1.1. Типовая структурная технической системы.

- 1 – орган сравнения;
- 2 – орган преобразующий сигнал рассогласования;
- 4 – исполнительный орган;
- 5 – объект управления;
- 6 – орган, измеряющий регулируемую величину и преобразующий ее в сигнал той же физической природы, что и управляющее воздействие;
- 3, 7, 8 – корректирующие звенья.



(Информация об истинном состоянии управляемого объекта)

Рис 1.2. Структурная схема обеспечения устойчивости социальной системы.

В общем случае сложные системы состоят из различных физически и химически неоднородных компонентов, связанных между собой определенными отношениями, составляющими их пространственно-временную структуру. Примером одной из таких систем являются объекты экономики, представляющие собой метасистемы, состоящие из технических, биологических и социальных систем, находящихся в сложных пространственно-временных взаимоотношениях.

В целом структура системы характеризуется количеством возможных состояний и вероятностями их реализации, которые изменяются во времени, определяя динамические характеристики системы, ее реакцию на внутренние процессы и взаимодействие с другими системами.

Из предыдущего следует, что под нарушением устойчивости системы следует понимать любое изменение ее состояния, приводящее к отсутствию соответствия первоначальному назначению. Состояние неустойчивости таким образом есть свойство, внутренне присущее системе с момента начала ее существования. Поведение системы во времени случайно и не может быть описано в общем случае только на основе детерминированных подходов. Даже близость исходных состояний условно тождественных систем не означает одинаковости их поведения в будущем. Поэтому для оценки устойчивости систем используются детерминированные и вероятностные подходы. Представление о детерминированной системе означает, что она предназначена для работы в строго определенных условиях и становится непригодной при их изменении. Предельные значения параметров условий устанавливаются, как правило, на основе накопленного опыта. Каждый из критериев при этом определяет одну из сторон устойчивости без ее единой комплексной оценки и учета случайных процессов, происходящих в системе во времени.

Детерминированные подходы в оценке устойчивости предполагают использование методов экспериментальных исследований и математических моделей систем.

Последние представляют собой дифференциальные уравнения различной сложности, отражающие характер изменения выходной величины при заданной входной величине, или чаще передаточные функции, являющиеся отношением изображения выходной величины системы к изображению входной величины при нулевых начальных условиях, т.е.

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)},$$

где $Y(p)$ и $X(p)$ – соответственно изображения выходной и входной величины по Лапласу.

Если система одноконтурная и все ее звенья соединены последовательно, то передаточная функция записывается в виде

$$W(p) = W_1(p)W_2(p) \dots W_n(p),$$

При параллельном соединении звеньев $W(p) = W_1(p) + W_2(p) + \dots + W_n(p)$, где $W_1(p), W_2(p), \dots, W_n(p)$ передаточные функции звеньев.

Передаточная функция замкнутой системы, охваченной единичной обратной связью,

$$W_3(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p)}.$$

Выводы об устойчивости или неустойчивости систем делаются на основании критериев, соответствующих тем или иным применяемым методам. Критерии устойчивости и соответствующие методы излагаются в специальных курсах.

Систематизация и анализ различных сценариев поведения сложных систем возможны при использовании вероятностных подходов. Существенным недостатком этих подходов является ограниченная точность оценок из-за значительных неопределенностей в исходных данных и знании физических законов. Поэтому при создании реальных сложных систем устойчивость обеспечивается в результате оптимального сочетания детерминированного и вероятностного подходов. Сложность решения проблемы и в этой постановке, обусловленная множеством состояний системы, параметров и уравнений их характеризующих, вынуждает искать новые подходы. Один из таких подходов, основанный на термодинамических представлениях, как имеющих наибольшую общность, предлагается авторами работы [18].

В качестве основного параметра, характеризующего устойчивость системы, авторами выбрана энтропия. В устойчивом состоянии реакции системы на воздействие внешних факторов направлены на уменьшение возмущающих воздействий. Поэтому ее состояние в этой области может быть определено взаимокompенсацией энтропийного эффекта, связанного с диссипацией энергии, неэнтропийным эффектом, связанным с наличием отрицательных обратных связей.

Основные причины нарушения устойчивости систем носят универсальный характер и могут быть сведены к следующим:

- Наличие структурных дефектов, которые являются следствием изначального несовершенства системы, характерные для всех ее экземпляров (дефекты проектирования и технологии изготовления);
- Дефекты, допущенные при изготовлении системы, приводящие к снижению устойчивости некоторой ее части экземпляров;

- Дефекты, возникающие в результате действия на систему неблагоприятных факторов;

- Дефекты, связанные со старением системы, т.е. необратимыми процессами снижения прочности и др. параметров.

Для любой системы существуют некоторые критические значения, характеризующих ее параметров, совокупность которых определяется степенью сложности системы. Область критических значений определяет границы устойчивости системы, за пределами которых, невозможно прогнозировать ее дальнейшее поведение. Она может возвратиться к устойчивому состоянию или необратимо его потерять, если определяющая часть параметров, характеризующих устойчивость, превышает критические значения. В этом случае система перестает отвечать своему назначению, либо полностью прекращает существование, что по отношению к ОЭ означает наступление аварии или катастрофы.

Количественное описание процессов нарушения устойчивости сложных систем возможно, если известны функции распределения воздействий и соответствующие функции чувствительности систем к конкретному воздействию. В виду сложности получения таких функций это реально только для конкретных систем и при определенных допущениях. Если функции известны, могут быть рассчитаны и вероятностные меры устойчивости для этих систем. При этом основные сложности связаны с выбором критериев и установлением взаимосвязей, определяющих реакцию системы на воздействие, находящееся на границе области устойчивости.

В реальных условиях все воздействия и соответствующие им реакции системы могут быть подразделены на стабилизирующие и дестабилизирующие, вклады которых в основном определяются соотношением отрицательных и положительных обратных связей. Величина отношения вероятностных мер стабилизирующих и дестабилизирующих компонентов может являться показателем устойчивости системы к внешним воздействиям и внутренним изменениям.

Одним из параметров, характеризующих устойчивость системы, является время ее существования, которое с этой точки зрения может быть условно разделено на три периода. Длительность первого периода определяется скоростью изменения устойчивости, связанной с формированием адаптивных возможностей системы. В этом периоде происходит приспособление, притирание системы к условиям, в которых она вынуждена существовать, с достижением в конце периода наивысшей доступной для нее устойчивости. Второго периода (относительной устойчивости) – природой и уровнем сложности системы. Это время, в течение которого система достаточно успешно справляется с действием внутренних и внешних дестабилизирующих факторов, поддерживая

устойчивость на достигнутом в первом периоде уровне. Третьего периода – скоростью изменения устойчивости, обусловленной процессами старения. В первом и третьем периодах система наиболее подвержена потере устойчивости в результате внутренних изменений и внешних воздействий. Это периоды с пониженной устойчивостью, соответствующие началу и концу существования системы. Они отличаются повышенной вероятностью нарушения функционирования механизма обратных связей или соответственно большей чувствительностью системы к амплитуде воздействия. По этому параметру степень устойчивости тем выше, чем ближе к единице отношение продолжительности второго периода к полному времени существования системы.

Для каждого конкретного воздействия или их совокупности нарушение устойчивости может быть представлено в виде одной из формализованных моделей, которые могут быть использованы при анализе устойчивости сложных систем:

- модель мгновенной потери устойчивости;
- модель постепенной утраты устойчивости при накоплении нарушений в ее подсистемах и компонентах;
- модель скачкообразной потери устойчивости в результате накопления нарушений в подсистемах и компонентах.

← **Формат:** Список

Формальное описание переходных процессов, приводящих к нарушению устойчивости, как правило, сводится к заданию соответствующих функций распределения, а определение области устойчивости в связи с неполнотой информации и ее неопределенностью чаще всего ограничивается нахождением верхней и нижней границ, т.е. пределов, в которых происходит компенсация роста неустойчивости системы вероятностью соответствующего изменения ее состояния.

Ниже рассмотрим, основываясь на изложенных представлениях, вопросы устойчивости потенциально опасных объектов экономики в условиях внутренних изменений (противоаварийной устойчивости) и устойчивости их к внешним воздействиям поражающих факторов в условиях чрезвычайных ситуаций.

2. ПРОТИВОАВАРИЙНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПОТЕНЦИАЛЬНО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ ЭКОНОМИКИ (ПООЭ)

2.1. ПООЭ, принципы и критерии их противоаварийной устойчивости

2.1.1. ПООЭ и их краткая характеристика

Объекты экономики, аварии на которых могут привести к возникновению очагов поражения и чрезвычайных ситуаций, являются потенциально опасными. Закон [46] называет такие объекты опасными производственными объектами и относит к ним объекты, на которых получают, используют, перерабатываются, хранятся, транспортируются и уничтожаются воспламеняющиеся, окисляющие, горючие, взрывчатые, высокотоксичные и токсичные вещества; вещества, представляющие опасность для окружающей природы; используется оборудование, работающее под давлением более 0,07 мПа или при температуре нагрева воды более 115°C; используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы, эскалаторы, канатные дороги, фуникулеры; получают расплавы и сплавы металлов; ведутся горные работы и работы в подземных условиях.

Под воспламеняющимися веществами понимаются газы, которые при нормальном давлении и в смеси с воздухом становятся воспламеняющимися и температура кипения которых при нормальном давлении 20°C или ниже. Окисляющие вещества представляют собой вещества поддерживающие горение, вызывающие воспламенение и (или) способствующие воспламенению других веществ в результате окислительно-восстановительной экзотермической реакции.* Взрывчатые вещества это вещества, способные при определенных видах внешнего воздействия к очень быстрым самораспространяющимся химическим превращениям с выделением тепла и образованием газов. Токсичные вещества законом рассматриваются как вещества, способные при воздействии на живые организмы приводить их к гибели при наличии характеристик, приведенных в таблице 2.1. В этой же таблице приводятся характеристики высокотоксичных и представляющих опасность для окружающей природной среды веществ.

Характеристики токсичных веществ

Тип вещества	Токсичное	Высоко- токсичное	Опасное для окружающей среды
Характеристика вещества			
Средняя смертельная доза при введении в желудок	(15...200) мг/кг	< 15 мг/кг	—
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу	(50...400) мг/кг	<50 мг/кг	—
Средняя смертельная концентрация в воздухе	(0,5...2) мг/л	<0,5 мг/л	—
Средняя смертельная доза при ингаляционном воздействии на рыбу в течение 96 часов	—	—	<10 мг/л
Средняя концентрация яда, вызывающая определенный эффект при воздействии на дафнии в течение 48 часов	—	—	<10 мг/л
Средняя ингибирующая концентрация при воздействии на водоросли в течение 72 часов	—	—	<10 мг/л

Среди опасных производственных объектов выделяют особо опасные производства, к которым относят участки, установки, цехи, хранилища, склады, станции или другие производства, на которых одновременно используют, производят, перерабатывают, хранят или транспортируют взрывоопасные или опасные химические вещества в количестве равном или превышающем определенное законом [46] пороговое значение. Отнесение к особо опасным производствам, таким образом основывается на величине пороговых количеств потенциально опасных веществ, определяемых для конкретных веществ или их различных категорий при наличии нескольких веществ, обращающихся на

* Горючие вещества – жидкости, газы, пыли, способные самовозгораться, а также возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления.

промышленном объекте. Величины пороговых количеств конкретных веществ приведены в табл. 2.2., категорий – в табл. 2.3. При отнесении промышленного объекта к особо опасному производству в случае, если вещество, указанное в табл. 2.2., также относится к какой-либо категории, приведенной в табл. 2.3., руководствуются пороговыми количествами табл. 2.2. Промышленные объекты, имеющие в своем составе особо опасные производства, обязаны декларировать свою безопасность.

Табл. 2.2.

Конкретные опасные вещества

Вещество	Предельное количество, т
Аммиак	500
Нитрат аммония	2500
Нитрат аммония в форме удобрений	10000
Акридонитрил	200
Хлор	25
Оксид этилена	50
Цианистый водород	20
Фтористый водород	50
Сернистый водород	50
Диоксид серы	250
Триоксид серы	75
Фосген	0.75
Метилизоцианат	0.15

Нитрат аммония и удобрения на его основе должны содержать более 28% азота по весу, а водные растворы быть 90 или более процентными.

По виду, используемых в производственном процессе веществ и опасности, которую они представляют, потенциально опасные объекты экономики делят на пожаро и взрывоопасные, химически и радиационно опасные; по функциональным признакам – гидротехнические сооружения, объекты энергетики, транспортные коммуникации и другие объекты, отнесенные законом [46] к опасным производственным объектам.

К числу пожаро и взрывоопасных объектов относятся предприятия и производства, производящие, использующие, хранящие или транспортирующие вещества, способные гореть и взрываться. Типичными представителями пожароопасных объектов являются деревообрабатывающие предприятия, склады и базы горючих материалов и им подобные объекты. Взрывоопасными объектами являются предприятия по производству, хранению и транспортировке взрывчатых

веществ, угольной и древесной пыли, мукомольные, нефтеперерабатывающие и другие предприятия такого рода. Аварии на этих предприятиях представляют собой чаще всего пожары и взрывы и сопровождаются повреждением и уничтожением материальных ценностей, травмированием и гибелью людей.

Табл. 2.3.

Категории опасных веществ

Категория	Предельное количество, т
Воспламеняющиеся газы, включая сжиженные нефтяные газы, образующие воспламеняющиеся смеси с воздухом.	200
Легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки в закрытом тигле < 61°C	200
Высокотоксичные вещества	20
Токсичные вещества	200
Окисляющие вещества	200
Взрывчатые вещества	50

Химически опасные объекты (ХОО) имеют дело с токсичными химическими веществами в количествах, достаточных при выходе их в окружающую среду при аварии для массового поражения людей и животных. К химически опасным объектам относятся химические предприятия, производящие или использующие в технологических процессах аварийные химически опасные вещества, водопроводные станции и станции по обезвреживанию канализационных стоков, холодильники, продуктопроводы (аммиако, хлоропроводы) и другие объекты. В результате аварий на химически опасных объектах образуются зоны и очаги химического заражения, нахождение в которых людей, животных и растений связано с их поражением.

Радиационно опасные объекты (РОО) представляют собой предприятия, осуществляющие обращение с техногенными источниками ионизирующего излучения. К ним относятся предприятия ядерного топливного цикла, которые включают в себя шахты и рудники по добыче ядерного топлива, обогатительные фабрики, предприятия по производству тепловыделяющих элементов, атомные электростанции и теплоэлектроцентрали, суда гражданского и военного назначения с ядерными энергетическими установками, предприятия по переработке, хранению и захоронению ядерных отходов. Аварии на радиационно опасных объектах связаны с образованием зон радиоактивного заражения. В некоторых случаях при крупных авариях они охватывают обширные территории, которые могут быть полностью выведены на длительное время из народнохозяйственного оборота. Люди, животные и растения,

оказавшиеся в пределах зон радиоактивного заражения, как правило, получают радиационные поражения различной тяжести. Опыт показывает, что наиболее аварийными и опасными являются атомные электростанции, хранилища радиоактивных отходов и транспортные средства с ядерными энергетическими установками. Аварии на радиационно опасных объектах по сравнению с авариями на других ПООЭ имеют наибольшие масштабы и наиболее тяжелые последствия.

Гидротехнические сооружения предназначены для использования водных ресурсов и для борьбы с вредным действием водной стихии. К ним относятся плотины, дамбы, валы, каналы, шлюзы, трубопроводы, туннели, молы, водохранилища, хвосты и шламохранилища горнометаллургических производств и другие инженерные сооружения. Совокупность гидротехнических сооружений представляет собой гидроузел. Гидроузлы могут быть предназначены для получения электроэнергии, улучшения судоходства или лесосплава, забора воды для водоснабжения или орошения. Первые из них носят название гидроэнергетических гидроузлов, вторые – транспортных, третьи – водозаборных. К числу общих гидротехнических сооружений, входящих в состав гидроузла, относятся плотины, водосбросы, водосливы и водоспуски, леда и шугосбросы, устройства для ледозащиты и ледозадержания. Специальными сооружениями гидроузлов являются судоходные устройства (шлюзы), здания гидроэлектростанций, устройства для лесосплава и другие сооружения. Потенциально опасными являются гидротехнические сооружения, на которых возможны гидродинамические аварии, связанные с распространением с большой скоростью воды. При авариях, сопровождающихся повреждением или разрушением плотин гидроузлов, запасенная потенциальная энергия водохранилища высвобождается в виде волны прорыва, образующейся при изливе воды через проран в теле плотины. Обладая огромной энергией, волна прорыва распространяется по речной долине на сотни километров, создавая обширный очаг поражения с разрушением зданий и сооружений, инфраструктуры, нанесением ущерба окружающей природной среде, гибелью людей и животных. При нахождении в зоне действия волны прорыва радиационно и химически опасных объектов возможно образование зон, и соответственно очагов, химического и радиоактивного заражения. Возможны пожары и взрывы при разрушении пожаро- и взрывоопасных объектов, пожары в зданиях и сооружениях в результате коротких замыканий в электрических сетях.

К потенциально опасным объектам энергетики относятся тепловые электростанции, теплоэлектроцентрали, газоперекачивающие станции, котельные и другие объекты. Аварии на объектах энергетики могут представлять собой пожары, взрывы котлов и емкостей, находящихся под высоким давлением, газовоздушных смесей при выходе газа в окружающую среду. При масштабных авариях с газом возможно

образование зон химического заражения. Типичными последствиями аварий на потенциально опасных объектах энергетики являются повреждения и разрушения производственных зданий и сооружений, оборудования, травмирование и гибель людей.

Потенциальная опасность транспортных коммуникаций прежде всего связана с транспортировкой по ним потенциально опасных веществ. Аварии на транспорте явление частое. Они вызываются техническими неисправностями, плохим состоянием коммуникаций, антропогенным фактором. Наибольшее количество аварий приходится на автомобильный транспорт, однако и на других видах транспорта: железнодорожном, воздушном, водном и трубопроводном они происходят достаточно часто. Вид аварии, ее масштабы и последствия определяются видом транспорта, количеством и видом транспортируемых грузов. На транспортных коммуникациях принципиально возможны все виды аварий и последствий, которые имеют место на других ПООЭ.

2.1.2. Принципы и критерии противоаварийной устойчивости ПООЭ

Основной задачей противоаварийной устойчивости ПООЭ является недопущение аварий, а также сохранение возможности выполнять заданные функции, если аварии происходят.

Сложные технические системы, к которым относятся ПООЭ, всегда имеют определенную степень риска возникновения аварий, опасных для них и окружающей среды. «Цена» аварий возрастает с ростом сложности системы, сосредоточением на ОЭ больших энергетических мощностей и опасных веществ. Поэтому принятие мер, гарантирующих с высокой степенью надежности предотвращение аварий и снижение тяжести их последствий, жизненно необходимо.

Противоаварийная устойчивость ПООЭ в основном обеспечивается реализацией следующих мер и принципов:

1. выбором наименее опасных технологий;
2. высоким качеством и всесторонней обоснованностью проектов опасных технологических установок (ОТУ) и ПООЭ в целом;
3. высоком качестве изготовления, монтажа, профилактического обслуживания и ремонта технологических установок и оборудования ПООЭ;
4. применением надежных средств предотвращения перехода технологических установок и оборудования в критический режим работы, предшествующий аварии, и ограничения последствий аварий;
5. квалифицированной эксплуатацией ПООЭ в соответствии с нормативно-технической документацией и инструкциями;

6. принятием мер по защите технологических установок, производственных систем и оборудования от внешних воздействий и ситуаций, связанных с «человеческим фактором» (низким уровнем квалификации, безответственностью, ошибками производственного персонала, терроризмом);

7. поддержанием безотказности оборудования и систем, препятствующих возникновению и развитию аварий;

8. созданием многоэшелонной защиты от опасных последствий аварий.

Основное требование противоаварийной устойчивости – исключение катастрофических повреждений ПООЭ реализуется созданием последовательных противоаварийных барьеров.

Задачей первого из них является предотвращение аварий, т.е. эксплуатация ОЭ в пределах, исключающих возможность их возникновения. Решение этой задачи достигается отработанностью проектов, высоким качеством изготовления технологических установок и оборудования ПООЭ, их надежностью, высокой квалификацией обслуживающего персонала.

Задачей второго барьера является предотвращение развития проектных аварий на ранней стадии их возникновения, что обеспечивается противоаварийными системами.

Задача третьего барьера состоит в предотвращении и защите от маловероятных, труднопредсказуемых аварий и ограничении их последствий. Такие аварии, как правило, являются следствием многократных отказов и множественных ошибок производственного персонала ПООЭ. Решение задачи достигается приданием опасному оборудованию ПООЭ свойства самозащищенности, использованием принципов резервирования, разнообразия, физического разделения и независимости.

2.2. Предотвращение аварий

2.2.1. Общие положения

Предотвращение аварий достигается реализацией четкой программы противоаварийных мер, эффективность которых обеспечивается надежностью оборудования, определенной логикой и структурой систем безопасности, эксплуатацией, включающей меры профилактики и проверки работоспособности систем, важных для предотвращения аварий.

Для обеспечения нормальной работы опасного технологического оборудования необходимо понимание всех происходящих в нем процессов, обоснованность проектных и конструкторских решений, качественное исполнение всех элементов, соблюдение регламента

эксплуатации. Основой противоаварийных мер является высокое качество изготовления и монтажа оборудования.

Ключевыми моментами в предотвращении аварийных ситуаций являются проверка состояния, рабочих характеристик, проектного взаимодействия всех элементов и систем оборудования, проведение его пусковых испытаний, профилактика нарушений в процессе эксплуатации. Чем раньше будут обнаружены нарушения, тем менее серьезными будут их последствия.

Основная цель заключается в том, чтобы не позволить отказам в оборудовании и ошибкам в его эксплуатации перерасти в аварию. Для решения этой задачи должны быть установлены пределы безопасной эксплуатации для всех состояний опасного технологического оборудования, разработаны критерии работоспособности, методы ранней диагностики повреждений, решены вопросы обеспечения аппаратурой и приспособлениями для контроля и диагностики.

2.2.2. Предупреждение аварийных ситуаций

Надежная система контроля за работой опасных технологических установок и оборудования ПООЭ, их отдельных элементов является одним из важнейших факторов, не только обеспечивающих предупреждение об отклонениях от нормального режима работы, но и позволяющих вести технологические процессы с оптимальными с точки зрения повреждаемости показателями.

Для реализации требований по предотвращению аварий необходимо установить набор проектных пределов и пределов безаварийной эксплуатации.

Под проектными пределами понимаются количественные значения параметров и характеристик состояния оборудования, установленные для нормальной эксплуатации, для нарушений нормальной эксплуатации и для соответствующих исходных событий, учитываемых проектами.

Пределы безаварийной эксплуатации – значения параметров и характеристик, отклонение от которых может привести к аварии.

В случае достижения одним или несколькими параметрами пределов безаварийной эксплуатации и превышении их должны быть приняты меры по ограничению дальнейшего развития аварийного процесса. Технологическая установка или оборудование должны быть при этом переведены в одно из состояний нормальной эксплуатации, включая, если это необходимо, остановку.

Выбор и назначение пределов эксплуатационных параметров должны производиться с учетом ресурсных и прочностных характеристик технологической установки или оборудования. При этом достижение параметрами предельных значений не должно приводить к нарушениям

безаварийной эксплуатации, а установленные пределы должны быть достаточными для обеспечения нормального протекания переходных режимов, не должны ухудшать технические характеристики установок и оборудования, приводить к ложным автоматическим срабатываниям и включениям систем предупреждения и предотвращения аварий.

Конкретные значения пределов определяются, например, для следующих эксплуатационных параметров:

- температуры технологической установки или рабочей среды в ней;
- давления;
- мощности;
- скорости изменения тех или иных рабочих параметров;
- уровня и расхода рабочей среды;
- числа оборотов;
- вибрации;
- перегрузки;
- напряжения питания;
- уровня загрязнения окружающей среды или рабочего пространства вредными веществами, используемыми или получаемыми в процессе работы.

← --- **Формат:** Список

Важная роль в решении рассматриваемой задачи принадлежит системам предупреждения и предотвращения аварий. Их назначение – полное предотвращение аварии или предотвращение ее развития. Сигналы аварийной остановки технологических установок и оборудования выбирают, исходя из анализа возможных аварийных ситуаций, их развития и последствий. В зависимости от типа установки или оборудования, конкретных условий их эксплуатации перечень аварийных сигналов может быть различным. Это может быть, например, предварительная сигнализация, позволяющая персоналу и системам управления предотвратить неблагоприятное развитие того или иного аварийного процесса, сигналы на срабатывание противоаварийных систем и т.п.

В процессе эксплуатации безаварийная работа опасных технологических установок определяется надежностью и эффективностью систем и оборудования, качеством управления ими, поддержанием установок в приемлемом техническом состоянии. При анализе состояний технологических установок и оборудования используют понятия техническое и работоспособное состояние.

Техническое состояние определяется совокупностью признаков или условий, устанавливающих соотношения между текущими значениями параметров и характеристик состояния оборудования и систем технологической установки и проектными пределами, соблюдение которых является необходимым для безаварийной эксплуатации. Показатели технического состояния предназначены для характеристики оборудования и систем как изделий промышленно-технического

назначения, обладающих определенными техническими характеристиками. Значения показателей (параметров) служат для проведения анализа их с установленными в конструкторской документации.

Работоспособное состояние – состояние технологической установки или оборудования, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно – технической и (или) конструкторской документации.

При анализе состояния установки или оборудования могут учитываться следующие факторы:

- отсутствие механических и коррозионных повреждений;
- отсутствие посторонних шумов, стуков и вибраций при работе;
- соответствие величин контролируемых параметров и характеристик допустимым значениям (давление, температура, обороты, расход, сопротивление изоляции, износы, зазоры, глубина повреждений и т.д.);
- прочность и другие параметры, получаемые при различных видах испытаний (механических, гидравлических, пневматических и т.п.).

Контроль технического состояния и работоспособности опасных технологических установок и оборудования должен проводиться постоянно во время их эксплуатации по фактическому состоянию.

В качестве примера можно назвать следующие методы контроля:

Технологический контроль:

- техническое обслуживание;
- параметрический контроль;
- проверки на функционирование;
- теплотехнические проверки;
- регламентные проверки;
- контроль характеристик наименее надежных и наиболее важных с точки зрения предотвращения аварий видов оборудования и систем;
- гидравлические испытания;
- контроль герметичности;
- контроль характеристик рабочих сред, используемых в установках.

Диагностический контроль:

- визуальный контроль;
- виброакустический контроль;
- акустическая шумовая диагностика;
- коррозионный контроль;
- неразрушающий контроль металла:
 - рентгеновский и гамма – контроль;
 - ультразвуковой контроль;
 - акустоэмиссионный контроль;
 - цветная дефектоскопия;

← - - - - - **Формат:** Список

- опτικο-телевизионный контроль;
- сравнение с эталонами и образцами.

2.2.3. Диагностика и контроль повреждений

Целью диагностики является определение аномалий по отклонению параметров. Создание эффективной системы диагностики и контроля на всех стадиях существования диагностируемого объекта значительно увеличивает вероятность его безаварийной работы.

Основная задача системы контроля – постоянная проверка соответствия параметров заданным условиям. С целью выявления конкретных повреждений, отказов оборудования и их причин контролируются износ, нагрузки, прочность оборудования и деталей, параметры их движения, протекание технологического процесса. Контролю могут подвергаться различные параметры: линейные и угловые размеры деталей, силы, давления, крутящие моменты, деформации, напряжения, шумы, вибрации, перемещения, скорости, ускорения, концентрации рабочих сред, течи, температура. Эти параметры носят название диагностических параметров.

2.2.3.1. Контроль износов

Износ деталей сверх допустимых пределов – частая причина аварий. Поэтому его распознавание является одним из важнейших видов контроля.

Износ деталей контролируется путем проведения лабораторных испытаний с помощью специальных машин и при их службе в реальных условиях. Основными методами, которые используются, являются микрометраж, взвешивание, метод определения железа в масле, радиометрический метод, метод искусственных баз. Своевременное распознавание опасных величин износов достигается также путем непрерывного измерения размеров деталей, оценки состояния покрытий и наличия коррозии различными инструментальными методами.

Микрометраж является наиболее принятым способом прямого определения износа по разнице размеров детали до и по истечении некоторого времени работы.

Взвешивание позволяет весьма точно определить величину суммарного износа. Однако его применение ограничено весом детали. С увеличением веса детали увеличивается и погрешность в определении износа.

Метод определения железа в масле используется для оценки скорости изнашивания. Он основан на обогащении смазочного масла железом в результате износа поверхностей трения деталей. Содержание

железа в масле, а, следовательно, и степень износа, определяется периодически при помощи химического анализа проб масла.

Радиометрический метод определения скорости изнашивания основан на изменении интенсивности радиоактивного излучения проб смазочного масла, в которое по мере изнашивания деталей с введенными в них тем или иным способом радиоактивными изотопами попадают продукты износа.

При использовании метода искусственных баз производится измерение глубины, предварительно сделанного на поверхности детали углубления, не нарушающего ее служебных свойств. Глубину определяют с помощью микроскопа непосредственно на детали, либо с использованием оттисков с углубления до и после истечения некоторого времени работы детали. Для снятия оттисков чаще используют полоску листового свинца, которую прикладывают к углублению на детали и наносят по ней удар молотком.

Для непрерывного измерения угловых размеров наиболее часто применяются методы на основе реостатных, трансформаторных, электролитических датчиков и дискретные методы на основе зубчатых и кодовых дисков с контактным, фотоэлектрическим и индуктивным съемом информации.

Реостатный датчик представляет собой реостат, движок которого перемещается в соответствии со значением измеряемой величины. Входной величиной реостатных датчиков является перемещение движка, которое может быть угловым или линейным, выходной величиной – активное сопротивление, распределенное линейно или по некоторому закону по пути движка.

Устройство одного из реостатных датчиков показано на рис. 2.1.

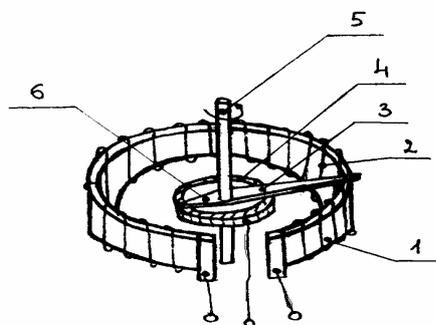


Рис. 2.1. Устройство реостатного датчика:

1. Каркас из изоляционного материала;
2. Проволока;
3. Щетка;
4. Токосъемное кольцо;
5. Приводной валик, изолированный от щеток;
6. Лобовочная щетка, скользящая по токосъемному кольцу.

Реостатные датчики изготавливаются с применением провода из манганина, константана или фехраля, а в особо ответственных случаях – из сплава платины и иридия. Провод покрывается эмалью, либо слоем окислов, изолирующих соседние витки друг от друга. Порог чувствительности реостатных датчиков находится в пределах (10...20) угловых минут.

Трансформаторные (ферродинамические) датчики (рис. 2.2) состоят из магнитопровода с воздушным зазором (1); обмотки возбуждения (2), питаемой от источника переменного тока и создающей магнитный поток в магнитопроводе; и обмотки (3), в которой индуцируется э.д.с. при изменении магнитного потока, связанного с изменением размеров воздушного зазора магнитопровода или положения обмотки в зазоре. Обмотка, в которой индуцируется э.д.с., может наматываться на неподвижной части магнитопровода или выполняться в виде рамки, способной поворачиваться в воздушном кольцевом зазоре магнитопровода. На рис.2.2 показано устройство двух типов трансформаторных датчиков, один из которых (а) реагирует на изменение длины воздушного зазора между подвижной и неподвижной частями магнитопровода, второй (б) – на поворот рамки в кольцевом зазоре магнитной цепи.

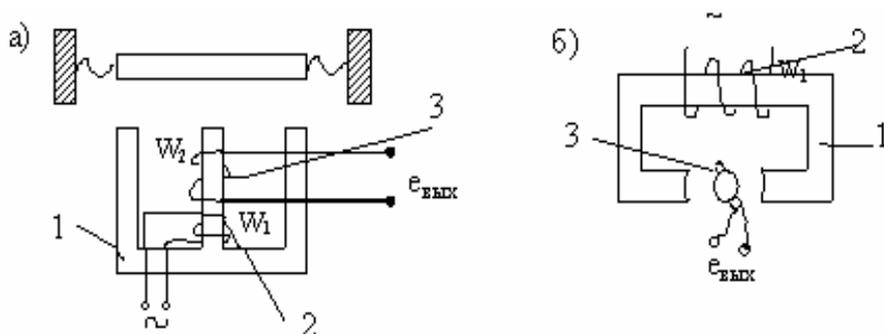


Рис. 2.2 Устройство трансформаторного датчика

Принцип действия электролитических резистивных датчиков основан на зависимости сопротивления электролитической ячейки от состава и концентрации электролита, а также от геометрических размеров ячейки. Сопротивление электролитического датчика

$$R = \frac{\rho \cdot \ell}{s} = \frac{1}{\gamma} \cdot K,$$

где $\gamma = \frac{1}{\rho}$ - удельная проводимость электролита, К- постоянная датчика зависящая от соотношения его геометрических размеров.

На рис. 2.3 показана измерительная схема электролитического датчика для измерения угла отклонения от вертикального положения. Датчик имеет четыре изолированных друг от друга цилиндрических электрода (1), установленных по окружности в крышке датчика. Герметический корпус датчика, образуемый крышкой из изоляционного материала и сферическим основанием из проводящего материала, не полностью заполнен электролитом. Часть объема занята воздушным пузырьком (2). В исходном состоянии пузырек расположен симметрично относительно электродов, и проводимости между основанием корпуса и каждым из электродов одинаковы. При наклоне датчика воздушный пузырек смещается от центра и равенство проводимостей нарушается, что приводит к появлению сигнала на выходе измерительной цепи, пропорционального углу наклона.

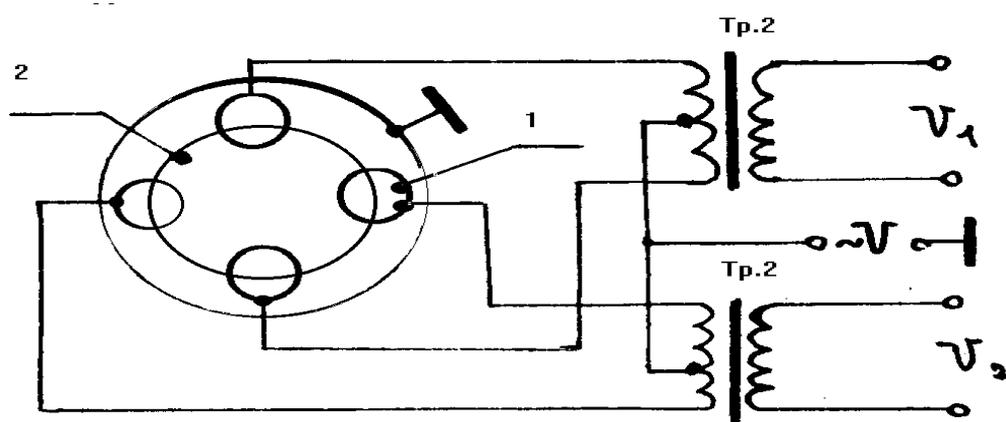


Рис. 2.3 Измерительная схема электролитического датчика

Дискретные датчики на основе кодовых дисков обычно представляют собой конструкцию, состоящую из двух дисков с шести разрядным двоичным кодом, связанных между собой через редуктор. Датчик устанавливается на оси измерительного механизма.

На рис. 2.4 показан кодовый диск с пятиразрядным двоичным кодом. На концентрических окружностях диска, число которых равно числу разрядов кода, наносится изображение кода. Неподвижное считывающее устройство в каждом положении диска фиксирует код, отвечающий углу отклонения измерительного механизма. Чаще всего кодирующие диски выполняют с контактным или фотоэлектрическим считывающим устройством.

В первом случае рисунок кода наносится на диск с помощью чередующихся проводящих и непроводящих дуг, а считывающее устройство выполняется в виде скользящих по дугам контактов. Диск с фотоэлектрическим считыванием выполняется из прозрачного материала. Рисунок кода в виде прозрачных и непрозрачных участков наносится фотографическим путем. Прозрачные участки соответствуют «единицам»

а непрозрачные – «нулям» кода. Диск просвечивается источником света, расположенным по одну сторону диска, по другую его сторону по радиусу располагаются неподвижные фоточувствительные элементы (фотосопротивления или фотодиоды), число и расстояние которых от центра соответствует разрядам рисунка кода. Таким образом, в каждом положении диска освещаются фоточувствительные элементы, отвечающие «единицам» кода.

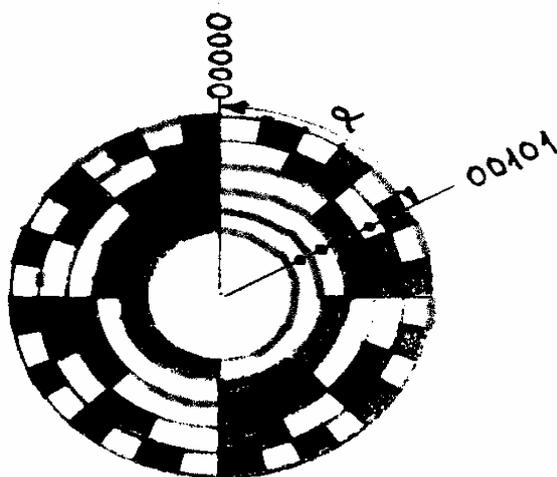


Рис.2.4. Кодовый диск с пятиразрядным двоичным кодом

В практике измерений угловых размеров находят применение и многие другие методы [26].

При диагностике линейных размеров широко применяются методы, основанные на использовании реостатных, емкостных, индуктивных, электроконтактных, тензорезистивных датчиков и кодовых линеек. Выбор метода определяется диапазоном измеряемых размеров и условиями измерения. При необходимости достижения наивысшей точности на этапах изготовления и ремонта особо ответственных деталей, контроля покрытий и коррозии используются методы, основанные на интерференции света, а также методы компарирования с помощью микроскопов и фотоэлектрических преобразователей.

Принцип устройства реостатных датчиков описан выше.

На рис.2.5 показан принцип устройства дифференциального емкостного датчика с переменным зазором, применяемого для измерения отклонения линейных размеров в диапазоне ($10^{-6} \dots 10^{-3}$)м.

Обкладка 2 датчика закреплена на пружинах и перемещается поступательно под воздействием силы **F**.

Обкладки 1 и 3 неподвижны. Емкость между обкладками 2 и 3 увеличивается, а между обкладками 1 и 2 уменьшается. Емкостные датчики подобного типа отличаются высокой чувствительностью, линейностью зависимости сопротивления от зазора

$$Z = \frac{1}{\omega C} = \frac{\delta}{\omega \epsilon S},$$

малыми погрешностями и простотой конструкции. В приведенной зависимости ω - частота питания; C - емкость; δ - зазор между обкладками; ϵ - диэлектрическая проницаемость среды, S - площадь обкладок.

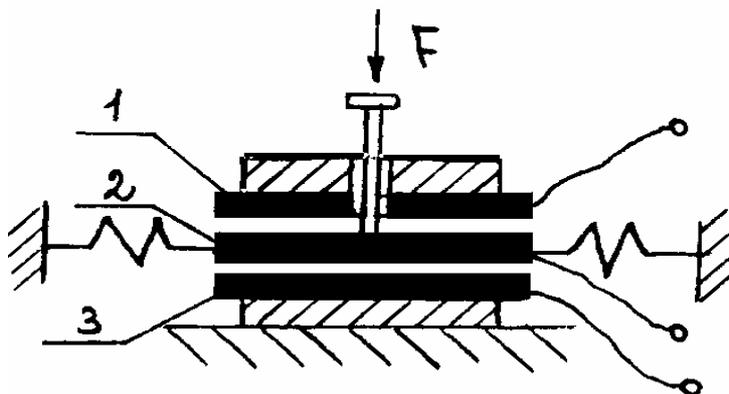


Рис. 2.5. Принцип устройства емкостного датчика

Наиболее распространенный индуктивный датчик с малым воздушным зазором δ , длина которого изменяется при изменении размеров изнашивающейся детали, показан на рис. 2.6. При увеличении зазора уменьшается электрическое сопротивление датчика, а следовательно, и сигнал на выходе, который регистрируется. Величина зазора может изменяться в пределах от 0,01 до 10 мм.

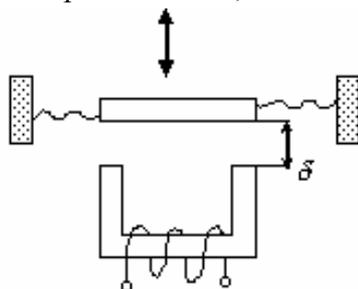


Рис. 2.6 Принцип устройства индуктивного датчика

Электроконтактные датчики преобразуют измеряемое механическое перемещение в замкнутое и разомкнутое состояние контактов,

управляющих электрической цепью. Естественной входной величиной контактных датчиков является пространственное перемещение. Погрешность срабатывания контактных датчиков находится в пределах (1...2) мкм.

В основе работы тензорезистивных датчиков лежит явление тензоэффекта, заключающееся в изменении активного сопротивления проводников при их механической деформации. При контроле износов механическая деформация датчика появляется при изменении размеров контролируемой детали вследствие износа. Тензорезистивные датчики при этом могут применяться в виде «свободных» и в виде «наклеиваемых» датчиков. «Свободные» датчики выполняются в виде одной или ряда проволок, закрепленных по концам между контролируемыми деталями, «наклеиваемые» - наклеиваются на контролируемую деталь. Естественной входной величиной «свободных» датчиков является весьма малое перемещение одной контролируемой детали по отношению к другой, «наклеиваемых» датчиков – деформация при изменении размеров детали, связанной с износом. Тензорезистивные датчики могут быть проволочными и пленочными, изготовленными из металлических и полупроводниковых материалов. На рис.2.7 показана конструкция наклеиваемого фольгового тензорезистивного датчика, применяемого для контроля износов.

Принцип кодирования, применяемый в кодовой линейке, аналогичен описанному выше принципу у кодовых дисков.



Рис. 2.7. Фольговый тензодатчик

При использовании интерференционных методов измеряемый размер сравнивается с длиной световой волны, а при применении методов компарирования используются приборы – компараторы, состоящие из двух микроскопов или фотоэлектрических преобразователей, которые могут

перемещаться вдоль стержня или балки.

Исследовать форму и определять размеры контролируемых деталей позволяет голографическая интерферометрия. Основой методов голографической интерферометрии является интерферометрическое сравнение изображений деталей, полученных при различных условиях регистрации. Возможность метрологического сравнения дают контурные линии, формирующиеся на голографическом изображении детали в результате интерференции волн и являющиеся своеобразной отсчетной сеткой [27].

Определение динамики процесса коррозии в эксплуатационных условиях осуществляется путем сопоставления результатов систематических измерений глубины коррозионных повреждений металла.

Для точного фиксирования повреждений и контроля за изменением глубины и площади периодически делают фотографические снимки, эскизы, слепки и оттиски с наиболее типичных повреждений. Измерение глубины коррозионных повреждений может осуществляться ранее описанными методами или с использованием методов рентгено- и гамма дефектоскопии, определяющих дефекты, величина которых в среднем равна 2 % от толщины просвечиваемого материала. Краткое описание рентгено- и гамма дефектоскопии приведено ниже.

2.2.3.2. Контроль нагрузок

Контроль нагрузок предполагает измерение сил, давлений и крутящих моментов. Методы измерения этих параметров весьма сходны между собой, и основаны либо на непосредственном измерении, либо на измерении деформаций упругих элементов, подвергающихся их воздействию. Выбор того или иного метода определяется конкретной задачей, а также характером изменения измеряемого параметра во времени.

Для измерения сил и давлений чаще используются пьезоэлектрические и магнитоупругие преобразователи, непосредственно реагирующие на эти параметры.

Принцип устройства пьезоэлектрического преобразователя (датчика) показан на рис. 2.8. Преобразователь представляет собой две токопроводящие пластины, между которыми помещен кристалл или текстура, электризующиеся под действием механических напряжений.

Кристаллами, обладающими таким эффектом, например, являются кварц, турмалин и др. При изготовлении пьезодатчиков чаще всего используют сегнетоэлектрические пьезокерамики, представляющие собой продукт отжига спрессованной смеси, состоящей из мелкоизмельченного сегнетоэлектрического кристалла с присадками. Отличительным свойством пьезокерамики по сравнению с естественными кристаллами является значительно бóльшая чувствительность.

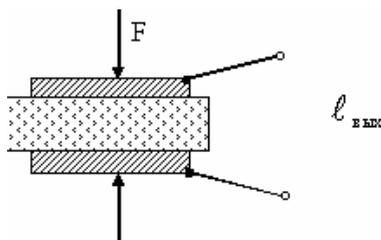


Рис. 2.8. Устройство пьезоэлектрического преобразователя

Кристаллами, обладающими таким эффектом, например, являются кварц, турмалин и др. При изготовлении пьезодатчиков чаще всего используют сегнетоэлектрические пьезокерамики, представляющие собой продукт отжига спрессованной смеси, состоящей из мелкоизмельченного сегнетоэлектрического кристалла с присадками. Отличительным свойством пьезокерамики по сравнению с естественными кристаллами является значительно бóльшая чувствительность.

Действие магнитоупругих преобразователей основано на изменении магнитной проницаемости ферромагнитных тел в зависимости от возникающих в них механических напряжений (магнитоупругий эффект), обусловленных действием механических сил. Разновидности магнитоупругих преобразователей индуктивного (а и б) и трансформаторного типа (в и г) показаны на рис.2.9.

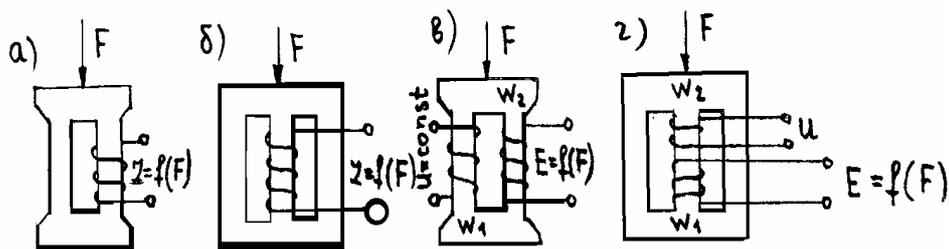


Рис. 2.9. Магнитоупругие преобразователи

Первые из них работают как переменные индуктивные сопротивления, величина которых определяется приложенной к сердечнику силой, вторые как трансформаторные преобразователи с переменной взаимной индуктивностью между обмотками. На рис. 2.10. показаны конструкции датчиков, устанавливаемого (а) и наклеиваемого (б) на контролируемую деталь.

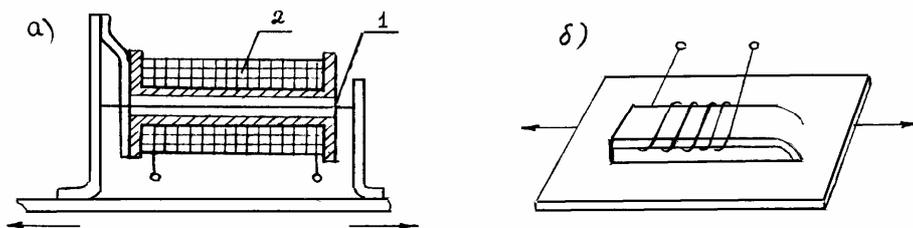


Рис. 2.10. Тензометрические магнитоупругие датчики.

В устанавливаемом датчике (а) в качестве сердечника 1 катушки 2 применяется проволока, а в датчике (б) – тонкий лист пермалоя, наклеиваемый на деталь.

В методах, основанных на измерении деформаций материала упругих элементов, используются детали установки или оборудования с размещенными на них тензорезисторами или специальные упругие элементы.

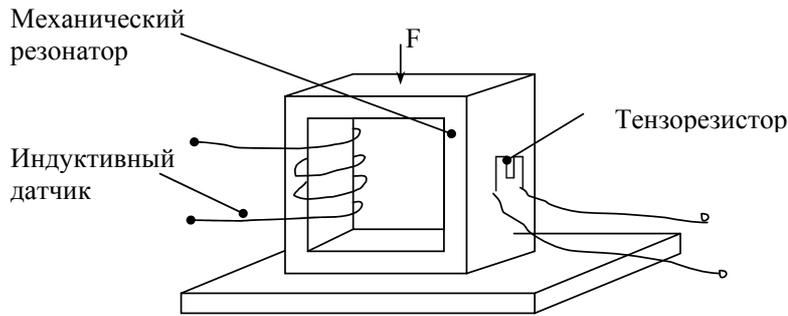
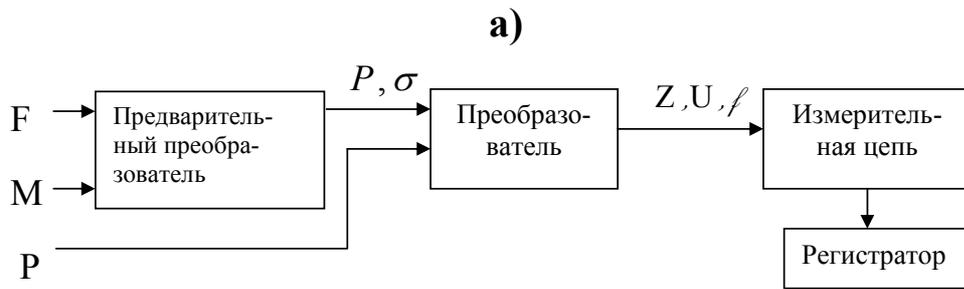
Крутящие моменты измеряют путем измерения напряжений в материале валов при помощи наклеенных на них тензорезисторов или магнитоупругих датчиков с магнитным съемом сигнала. Магнитоупругие датчики, как правило, используются для измерения больших крутящих моментов.

Измерение сил, давлений и крутящих моментов может также осуществляться их предварительным преобразованием в перемещение или методом уравнивания, при котором используются магнитоэлектрические обратные преобразователи. Типовые структурные схемы измерения этих параметров и принципиальные конструкции датчиков показаны на рис. 2.11.

В тех случаях, когда измеряемая величина не совпадает с естественной входной величиной преобразователя, приходится применять предварительное преобразование, показанное на рис. 2.11. Это относится, например, к преобразователям, естественной входной величиной которых является давление, а измеряемой величиной сила или крутящий момент.

При использовании деформации упругого элемента измерению могут подвергаться как относительные деформации $\Delta l/l$ или механические напряжения σ , возникающие в теле упругого элемента (рис. 2.11б), так и абсолютное изменение размеров или положений упругого элемента. В первом случае используются тензорезисторы различных типов, во втором – индуктивные, емкостные, фотоэлектрические и другие преобразователи энергии.

При применении метода уравнивания с помощью магнитоэлектрических обратных преобразователей преобразуется ток в силу или момент. Сила возникает при взаимодействии электрического тока, протекающего по катушке **1** преобразователя, с полем постоянного магнита **2**. При этом измеряемая сила (или момент) уравнивается силой (моментом) взаимодействия протекающего через катушку тока с полем постоянного магнита. Таким образом, измерение тока в момент уравнивания позволяет измерить силу или момент. Принцип действия преобразователя, уравнивающего силу, показан на рис. 2.12.



б)

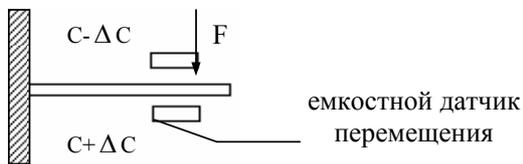


Рис.2.11. Типовые структурные схемы измерения сил, крутящих моментов, давлений и принципиальные конструкции датчиков:

а) метод, основанный на измерении естественной входной величины

б) метод, основанный на измерении деформации упругого элемента

F- сила; M- крутящий момент; P- давление; σ - напряжение

$\Delta\ell$ - перемещение; Z- сопротивление; U- напряжение; f- частота;

C- емкость; ΔC - изменение емкости

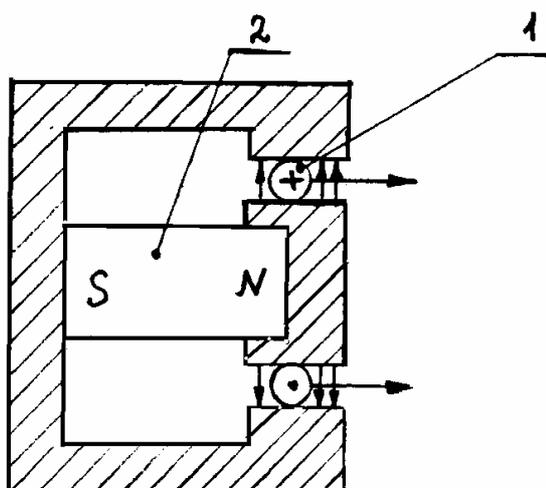


Рис. 2.12. Принцип действия магнитоэлектрического обратного преобразователя

2.2.3.3. Контроль параметров движения

Для предотвращения аварий опасных технологических установок часто бывает необходимо контролировать параметры поступательного, вращательного и колебательного движения ее деталей и элементов конструкции. Методы контроля параметров движения по естественной входной величине делятся на две группы. К первой относятся методы, основанные на непосредственном контакте между движущимся объектом и системой, принятой за неподвижную. Контакт при этом может быть механическим, акустическим, оптическим, радио или другим. Входной величиной этих методов является перемещение. Ко второй группе относятся методы, не требующие непосредственного контакта с неподвижной системой отсчета. Они носят названия инерциальных методов. Входной величиной, в этом случае является сила инерции. При осуществлении контроля обычно измеряется параметр, наиболее легко поддающийся измерению. Все остальные параметры получают путем дифференцирования или интегрирования с использованием операционных звеньев.

В качестве последних используются дифференцирующие и интегрирующие электрические цепи (рис. 2.13а) и операционные усилители (рис. 2.13б), а также некоторые виды преобразователей. Так свойством интегрировать входную механическую величину обладают некоторые механические колебательные системы, дифференцировать –

индукционные преобразователи. Интегрирующими свойствами обладают также различные виды указателей: вибраторы, цифровые указатели и др.

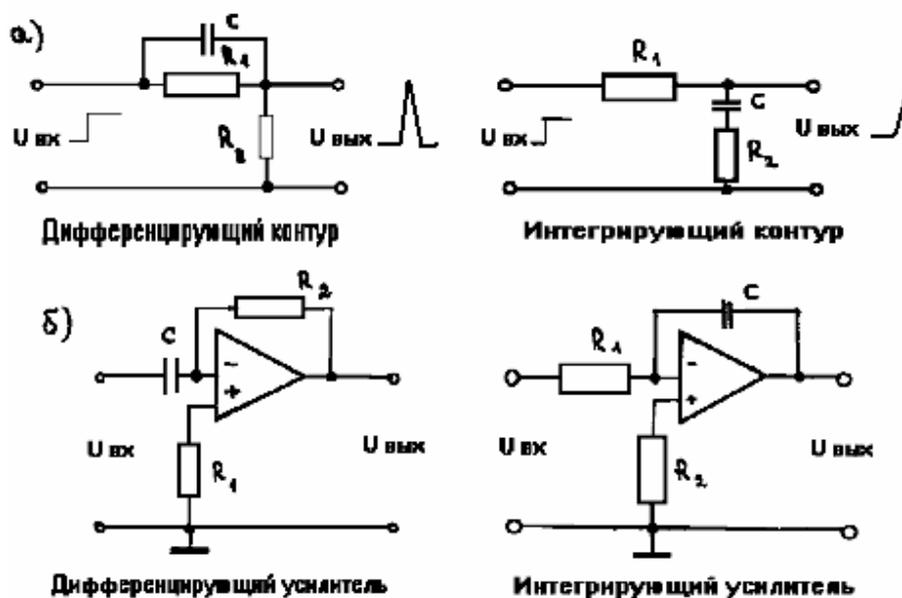


Рис. 2.13. Пассивные и активные электрические операционные звенья

Измерение перемещения при взаимном движении различных узлов механизмов обычно осуществляют теми же методами, что и измерение линейных и угловых размеров. Измерение скорости поступательного движения производится как дифференцированием пути, так и интегрированием ускорения этого движения. Измерение пути и скорости поступательного движения при использовании инерциальных методов производится только путем интегрирования измеряемого ускорения.

Осуществление тех или иных технологических процессов может быть связано с движением жидкостей или газов. Основными параметрами, которые контролируются при этом, являются расход и общее количество протекшего вещества. Иногда контролируется скорость потока. Расход измеряется непосредственно. Количество жидкости или газа определяется, как правило, путем интегрирования расхода. Приборы, предназначенные для измерения расхода, носят название *расходомеров*.

Расходомеры, чаще всего применяемые для контроля технологических процессов, могут быть с преобразованием в перепад давления, в скорость вращательного или возвратно-поступательного движения, со сносом излучения, тепловыми и индукционными.

Расходомеры с преобразованием в перепад давлений чаще всего состоят из некоторого сужающего устройства (диафрагма, сопло и др.) и

дифференциального манометра, измеряющего перепад давления, создаваемый сужающим устройством. Объемный и массовый расходы при этом выражаются соответственно зависимостями:

$$Q = \alpha s \sqrt{\left(\frac{2}{\rho}\right) \cdot \Delta p} \quad \text{и} \quad M = \alpha s \sqrt{2 \rho \Delta p},$$

где α - коэффициент расхода; s - площадь сечения сужающего устройства; ρ - плотность вещества; Δp - перепад давления. Подобные расходомеры находят применение для измерения расходов как жидкостей, так и газов при температурах до сотен градусов и давлениях до десятков мегапаскалей.

Наиболее распространенной разновидностью расходомеров с преобразованием в скорость вращательного или возвратно-поступательного движения являются тахометрические расходомеры с турбинными преобразователями (крыльчатками). Они находят применение в трубопроводах и в открытых каналах для измерения расходов различных жидкостей при давлениях до 50 МПа и температурах от -240° до $+500^{\circ}$ С. Принцип действия расходомера основан на преобразовании линейного движения жидкости во вращательное движение крыльчатки и далее в э.д.с. обычно с помощью индукционных преобразователей. Кроме того, используются частотные, т.е. с преобразованием в частоту, и стробоскопические тахометры. Применяются также шариковые, поршневые и др. разновидности расходомеров.

Расходомеры со сном излучения основаны на измерении интенсивности ультразвукового излучения или ионизационного тока, направляемого поперек потока. Для измерения используются, как правило, дифференциальные преобразователи с двумя приемниками излучения или ионизационного тока.

Ионизационный расходомер, принципиальная схема которого показана на рис. 2.14, состоит из помещенных в поток газа приемных электродов и дифференциальной измерительной цепи. На общий электрод (корпус) нанесен слой радиоактивного вещества, ионизирующего пространство между электродами. Электрическое поле, создаваемое между электродами, заставляет ионы двигаться поперек потока со скоростью пропорциональной подвижности ионов и напряженности поля. Измерительная цепь, создающая разность токов обоих приемных электродов, при отсутствии потока уравнивается. При движении потока ионы приобретают дополнительную скорость в направлении потока, и ток левого на рисунке электрода уменьшается, а ток правого – возрастает.

Кроме рассмотренных расходомеров также применяются тепловые и индукционные расходомеры. Тепловые расходомеры по принципу действия делятся на калориметрические, которые величину расхода

измеряют по изменению температуры потока, и термоанемометры, измеряющие величину скорости потока по изменению температуры подогреваемого тела, помещенного в поток.

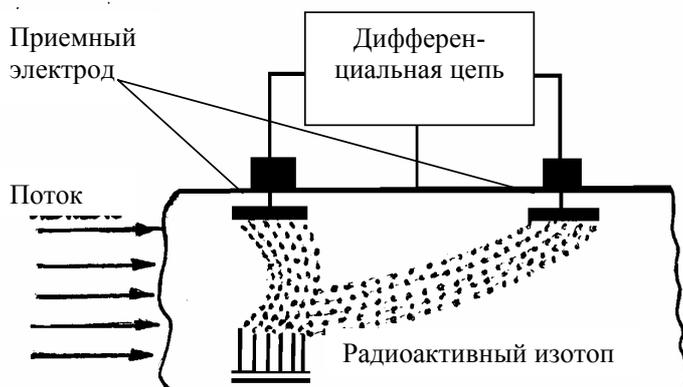


Рис. 2.14. Принципиальная схема устройства расходомера со сносом излучения.

Индукционные расходомеры основаны на возникновении между полюсами электромагнита, питаемого переменным током, э.д.с., пропорциональной скорости движения потока электропроводной жидкости в трубопроводе, из немагнитного материала.

Особое место в диагностике и контроле повреждений занимает контроль вибраций. При этом контролироваться могут как механические, так и гидродинамические вибрации, носящие периодический, случайный или импульсный характер.

В настоящее время разработаны высокочувствительные методы контроля вибраций всех типов.

Для измерений виброперемещений используют датчики с реостатными, тензорезисторными, индуктивными, фотоэлектрическими, индукционными и другими типами преобразователей.

Для измерения виброускорений применяются те же приборы, что и для измерения ускорений поступательного движения. Наиболее широкое распространение получили пьезоэлектрические акселерометры, отличающиеся простотой и надежностью конструкции, высокой чувствительностью, малыми габаритами и массой. При контроле низкочастотных процессов применяются акселерометры с параметрическими преобразователями, снабженными цепями коррекции.

При контроле вибраций опасных технологических установок, как правило, используют несколько типов датчиков, устанавливаемых на их наружных поверхностях. Применение разных датчиков позволяет получить достоверную и полную информацию о состоянии установки. Информация снимается периодически и сопоставляется для правильной

интерпретации результатов с начальными измерениями вибрационных характеристик.

Для контроля износа и крепления деталей применяются датчики детектирования слабо закрепленных и изношенных деталей.

2.2.3.4. Контроль прочности

Контроль прочности элементов конструкции и деталей технологических установок обычно связан с контролем таких диагностических параметров, как деформации и напряжения, контролем циклической усталости, не разрушающим контролем материалов.

Методы контроля деформаций и напряжений, как правило, основаны на использовании различных типов тензорезисторов, струнных или индуктивных тензометров. Тензорезисторы применяются для контроля внутренних динамических напряжений и малых деформаций, струнные тензометры – статических деформаций. Диапазон контролируемых относительных деформаций (1,5...50,0) %, напряжений до 150 МПа. Типовая схема измерения деформаций приведена на рис. 2.15.

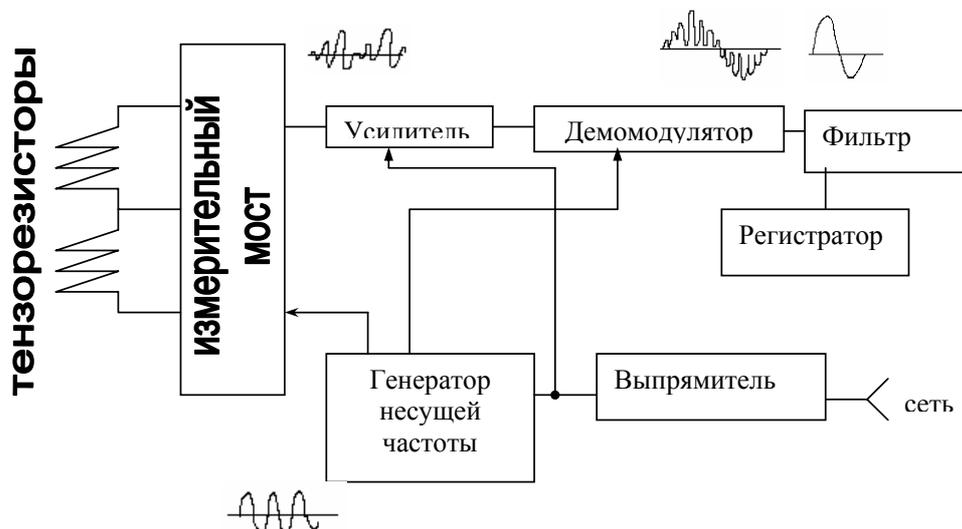


Рис. 2.15. Типовая структурная схема измерения деформаций.

При измерениях линейно-напряженного состояния деталей тензисторы наклеиваются на контролируемый объект в направлении действия напряжения. При контроле сложного напряженного состояния, когда направления главных напряжений неизвестны, используется розетка тензорезисторов.

Тензорезисторы обычно включаются в мостовую цепь. Для уменьшения температурной погрешности в соседнее плечо моста

включается такой же преобразователь, наклеенный на тот же самый материал и помещенный в те же температурные условия, что и рабочий преобразователь. Измерительный мост питается переменным напряжением от генератора несущей частоты. Модулированный сигнал несущей частоты с измерительной диагонали моста подается на вход усилителя, где усиливается, а затем демодулируется фазочувствительным демодулятором и через фильтр поступает на вход регистратора, в качестве которого обычно используются шлейфные осциллографы. Цепи усилителя и генератора несущей частоты питаются от выпрямителя.

Обычно деформации и напряжения контролируются в нескольких точках детали или машины, поэтому приборы для их измерения (тензостанции) выполняются многоканальными и содержат до 24 измерительных каналов, типовая структурная схема одного из которых приведена на рис. 2.15.

Контроль циклической усталости производится с целью обеспечения надежности работы оборудования в течение всего срока службы путем контроля фактической истории нагружения оборудования, его тензометрирования и термометрирования на начальном этапе работы. Используемые системы определяют количество циклов за период, прошедший с начала эксплуатации установки, от общего расчетного числа допустимых циклов нагружения оборудования, что позволяет оценить остаточный ресурс работы.

Неразрушающие методы контроля материалов позволяют распознавать аномалии на стадиях изготовления, эксплуатации и ремонта оборудования. Методы неразрушающего контроля материалов отличаются большим разнообразием и включают в себя магнитную порошковую, электромагнитную, радиационную, ультразвуковую, капиллярную дефектоскопию, методы магнитного структурного анализа, акустической эмиссии, визуальный контроль.

При визуальном контроле с помощью эндоскопов на базе волоконной оптики можно осуществлять дистанционный контроль материала оборудования, находящегося как в ремонте, так и в эксплуатации. Этот метод контроля позволяет получать информацию о состоянии материала труднодоступных поверхностей, трубопроводов и т.п.

Одним из перспективных методов является метод акустической эмиссии. Акустическая эмиссия представляет собой явление освобождения энергии вследствие возникновения и распространения пластических деформаций и трещин при деформировании материала. Освобожденная энергия в виде акустических волн распространяется в материале и может быть зарегистрирована пьезодатчиками, размещенными на поверхности контролируемой детали. Информативными параметрами регистрируемого

сигнала являются амплитуда, интенсивность, энергия и количество импульсов.

Основное достоинство метода заключается в регистрации развивающихся дефектов, представляющих реальную опасность для работоспособности конструкции. По современным представлениям механики разрушения любой материал, любая конструкция имеют в своей структуре дефекты. Поэтому для сохранения их работоспособности в течение срока эксплуатации необходимо, чтобы время развития этих дефектов до критически опасных размеров было больше ресурса конструкции.

Метод контроля акустической эмиссии позволяет дистанционно в реальном масштабе времени контролировать одновременно всю исследуемую конструкцию без сканирования ее поверхности, поставляя главную информацию о возможности наступления аварийной ситуации.

Широкое применение в целях диагностирования и контроля повреждений получила рентгено и гамма дефектоскопия. Она позволяет определять дефекты в деталях и конструкциях из различных материалов, сварных соединениях, контролировать правильность сборки механизмов, нарушения геометрии, взаимосвязи отдельных деталей и их износ.

Определение дефектов в материалах с помощью радиационного контроля основывается на разнице поглощения рентгеновских и гамма излучений при прохождении через материалы, отличающиеся различной плотностью и толщиной. Характер изменения интенсивности излучения при прохождении через дефект показан на рис. 2.16.

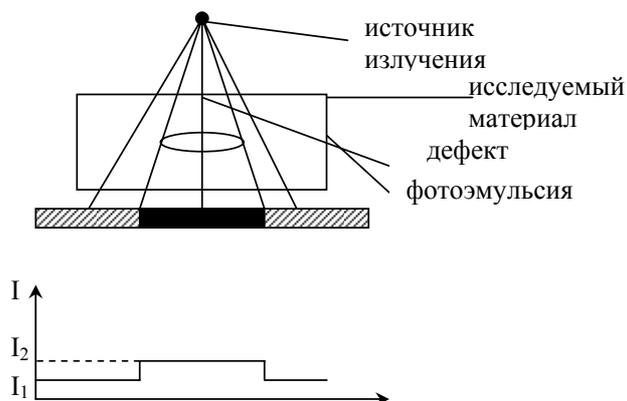


Рис. 2.16. Схема изменения интенсивности излучения при прохождении через дефект в материале.

I - интенсивность излучения

Рентгеновский метод применяют для контроля металла конструкций и сварных соединений толщиной до 20 мм, гамма метод – больших толщин,

а также контроля элементов конструкций, расположенных в труднодоступных местах.

Ультразвуковые методы неразрушающего контроля материалов основаны на законах распространения упругих колебаний и волн в упругих средах. Они делятся на активные, использующие излучение и прием акустических волн, и пассивные методы, основанные только на приеме акустических волн. Ультразвуковые методы достаточно хорошо разработаны и с успехом применяются в различных отраслях машиностроения.

Магнитная порошковая дефектоскопия главным образом используется при контроле готовой продукции, но может быть использована и как профилактический метод обнаружения усталостных трещин в деталях машин без их разборки.

Метод основан на выявлении магнитного поля рассеяния над дефектом ферромагнитными частицами, играющими роль индикаторов. В намагниченном изделии магнитные силовые линии, встречая дефект, огибают его как препятствие с малой магнитной проницаемостью и образуют над ним магнитное поле рассеяния (рис. 2.17).

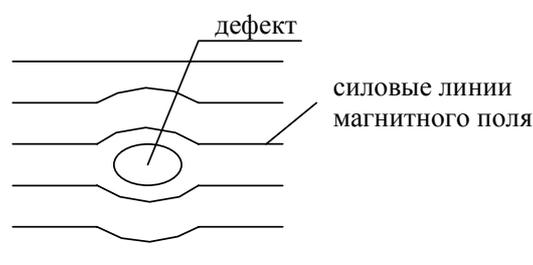


Рис. 2.17. Магнитное поле рассеяния внутреннего дефекта

Электромагнитные методы дефектоскопии делятся на феррозондовые и индуктивные. Физическая сущность феррозондовых методов также состоит в создании магнитного поля и обнаружении его аномалии в области дефекта. Отличие заключается в использовании для обнаружения дефекта пары дифференциально соединенных миниатюрных феррозондов.

Индуктивные методы используют влияние дефектов на вихревые потоки, возбуждаемые в исследуемом участке металла с помощью катушки, питаемой током высокой частоты.

Область применения индуктивных методов та же, что и у метода магнитной порошковой дефектоскопии.

Магнитный структурный анализ основан на связи между структурой металла и его магнитными свойствами. Он включает в себя три группы методов: методы, в которых используется магнитное поле рассеяния намагниченной детали; методы, основанные на использовании остаточной

намагниченности и методы, при которых используется индуктивное действие переменных магнитных полей. Последние могут использоваться для диагностики как ферромагнитных, так и неферромагнитных материалов.

Образование трещин при изготовлении и эксплуатации деталей и технологических установок и оборудования происходит в большинстве случаев в поверхностных слоях материала. Размеры начальных трещин так малы, что выявление их невооруженным глазом невозможно, а применение оптических инструментов не позволяет выявить из-за недостаточной контрастности изображения и малого поля зрения при больших увеличениях. Неферромагнитные свойства многих конструкционных материалов не позволяют использовать магнитные методы, а сложность формы деталей и особенности состояния поверхности – акустические и электроиндуктивные методы. В этих случаях используются капиллярные методы дефектоскопии, основанные на искусственном повышении контрастности дефектного и неповрежденного участков путем нанесения на них специальных составов и изменения таким образом светоотдачи дефектных участков. В качестве контрастных составов используют свето- и цветоконтрастные индикаторные вещества, представляющие собой жидкие органические люминофоры и красители. Для усиления проявления дефектов применяются проявители, обладающие сорбционными свойствами. В зависимости от применяемых индикаторов капиллярная дефектоскопия делится на люминесцентную и цветовую.

Периодический и непрерывный контроль материала опасной технологической установки представляет собой комплексную проблему и часто требует применения нескольких методов, выбор которых определяется типом материала, доступностью контролируемых поверхностей, возможностью автоматизации способов сканирования в зоне контроля и другими обстоятельствами.

2.2.3.5. Контроль температур

Одним из важнейших диагностируемых параметров является температура. Огромный диапазон температур, который требует контроля в производственных процессах, обусловил большое разнообразие методов их измерения.

При контроле сверхнизких температур (от 0 до 10°K) используются методы, основанные на применении терморезисторов, магнитной термометрии, термошумовых термометров. Низких температур (от 10 до 800°K) – металлических и полупроводниковых терморезисторов, термопар или термобатарей, термошумовых термометров. Средние ($500 - 1600^{\circ}\text{K}$) и высокие ($1600 - 2500^{\circ}\text{K}$) температуры контролируются с использованием термоэлектрического метода, основанного на применении термопар,

высокотемпературных и жаростойких материалов, защищающих термоэлектроды от разрушающего химического и термического воздействия среды.

Широкое распространение при контроле температур получили бесконтактные оптические методы, основанные на законах теплового излучения. Эти методы не требуют введения датчика в контролируемую

среду и характеризуются очень малой тепловой инерционностью, часто имеющей решающее значение в предупреждении развития аварийных процессов. Принципиальная схема одного из применяемых при этом приборов – радиационного пирометра показана на рис. 2.18.

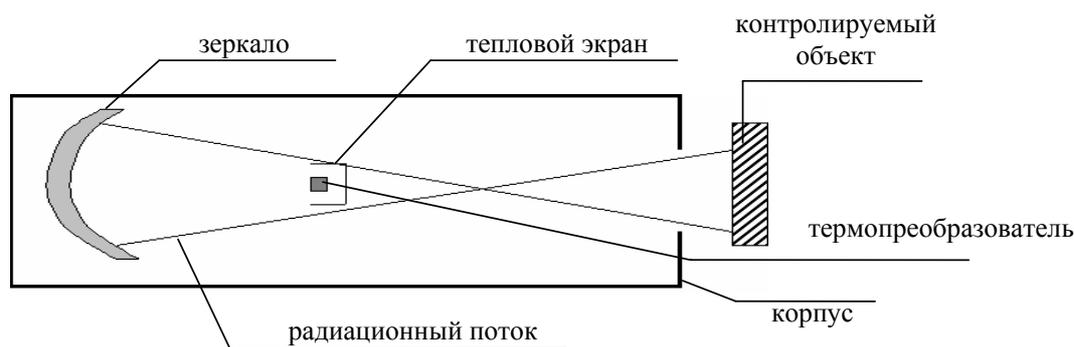


Рис. 2.18. Принципиальная схема радиационного пирометра

Радиационный поток, падающий от контролируемого объекта, отражается зеркалом и фокусируется на термопреобразователе и нагревая его. Изменение сопротивления терморезистора или э.д.с. на выходе батареи термопар, включенных в измерительную цепь, преобразуется в информацию о температуре объекта. Зеркало и термопреобразователь располагаются в корпусе (трубе), внутренняя поверхность которого для исключения влияния отраженных от нее лучей покрыта зачерненными ребрами, а термопреобразователь защищен со всех сторон, кроме основной, тепловым экраном.

В практике измерений также находят применение яркостные пирометры основанные на сравнении в узком участке спектра яркости контролируемого объекта с яркостью образцового излучателя, и цветные пирометры, основанные на измерении отношения интенсивностей излучения на двух длинах волн, обычно выбираемых в красной и синей областях спектра. Специфические разновидности яркостного и цветового методов используются для измерения высоких температур (более 2500°C) пламен и газовых сред.

2.2.3.6. Контроль состава и концентрации веществ

Применяется в технологических процессах, требующих непрерывного поддержания характеристик рабочих сред или продуктов, непосредственно влияющих на безаварийную работу технологической установки.

Многообразие анализируемых веществ и широкий диапазон концентраций обусловили возникновение многочисленных и чрезвычайно разнообразных методов, основанных на использовании различных физико-химических явлений и свойств веществ, наибольшую чувствительность и избирательность среди которых позволяют обеспечить внутриатомные и внутриядерные эффекты и свойства.

К числу наиболее распространенных методов относятся электрохимические и электрофизические методы.

Электрохимические методы основаны на применении электрохимических преобразователей и принципов автоматического титрования.

Электрохимические методы широко применяются для анализа веществ в жидких средах, для измерения концентраций ряда газов и влажности. Эти методы особенно пригодны для автоматического анализа веществ поскольку используют относительно простые средства измерений, выходной величиной которых являются электрический ток или напряжение. При этом в ряде случаев не требуется внешних источников питания. Основными электрохимическими методами являются кондуктометрический, кулонометрический и потенциометрический методы.

Кондуктометрический метод измерений концентраций электролитов основан на зависимости электропроводности электролитов от их состава и концентрации отдельных компонентов. Приборы, основанные на этом методе, называются кондуктометрическими концентратомерами, соленомерами, газоанализаторами и влагомерами. В качестве преобразователей в этих приборах используются электролитические резистивные преобразователи, в зависимости от которых приборы разделяются на контактные и безэлектродные (емкостные и индуктивные).

Кондуктометрический метод измерений концентрации газов использует свойство изменения электропроводности раствора, с которым реагирует определяемый компонент анализируемого газа, а измерений влажности – изменения активного сопротивления преобразователя, между электродами которого размещается контролируемое вещество.

Кулонометрический метод основан на измерении тока или количества электричества при электролизе контролируемого вещества или вещества, реагирующего с ним. На его основе построены кулонометрические приборы – влагомеры (гигрометры) и

газоанализаторы. Разновидностью кулонометрических анализаторов являются полярографы, основанные на электролизе исследуемого вещества с помощью полярографических преобразователей, использующих явление поляризации на одном из электродов электролитической ячейки. Суть явления поляризации заключается в изменении электродных потенциалов вследствие изменения приэлектродной концентрации при протекании через электролитическую ячейку электрического тока от внешнего источника.

Потенциалометрический метод предполагает измерение электродных потенциалов гальванических преобразователей, принцип действия которых основан на зависимости э.д.с. в гальванической цепи от концентрации ионов в электролите и окислительно-восстановительных процессов, происходящих на электродах. Этот метод широко применяется для измерения активности водородных ионов в растворах и пульпе, концентрации ионов химических элементов, титрования, анализа газов, измерения влажности.

Электрофизические методы основаны на использовании зависимости физических свойств веществ (тепловых, диэлектрических, магнитных, плотности, вязкости, упругости, массы и др.) от их состава и концентрации отдельных компонентов или воздействий анализируемых компонентов на измеряемый физический параметр чувствительного элемента.

Тепловые методы анализа основаны на измерении тепловых свойств вещества или на определении температурных изменений при различных физико-химических и фазовых превращениях контролируемого вещества. Они применяются для анализа газов, измерения вакуума, влажности газов. Для измерения концентрации окиси углерода, водорода, металла, этилена, паров бензина и других горючих веществ применяются термохимические газоанализаторы, основанные на измерении с помощью термопреобразователей повышения температуры за счет окисления (горения) анализируемого вещества. Для измерения влажности газов используются основанные на тепловом методе электрические психрометры и гигрометры точки росы.

Магнитный метод широко применяется для измерения концентрации кислорода в газовых средах, определения магнитных включений в немагнитных материалах, в дефектоскопии, магнитном структурном анализе и других областях.

Диэлектрический или емкостной метод основан на зависимости диэлектрических свойств веществ от их состава и концентрации отдельных компонентов. Он широко применяется для измерения концентрации и влажности различных сред. Измерение сводится к определению емкости конденсатора, между обкладками которого помещается контролируемое вещество, выполняющее роль диэлектрика.

Широко распространены ионизационные методы, основанные на ионизации анализируемого вещества и измерении ионного тока, пропорционального концентрации определяемого компонента, а также спектроскопические методы, использующие избирательную способность различных веществ поглощать, излучать, отражать, рассеивать или преломлять различного рода излучения. В качестве примера на рис. 2.19 показана принципиальная схема датчика, в котором реализован метод ионизации метастабильными атомами, позволяющий измерять концентрации широкого класса веществ. В датчике, показанном на рисунке, в электрическом поле с помощью β -излучения происходит ионизация атомов газа-носителя аргона, вследствие чего создаётся большая концентрация метастабильных атомов аргона, т.е. атомов, находящихся в возбуждённом состоянии, характеризующимся большим временем жизни атома в нём, которые, в свою очередь, ионизуют молекулы анализируемого компонента. Сигнал снимается с коллекторного электрода и подаётся на электрометрический усилитель. В практике измерений широко используются другие варианты реализации ионизационных методов.

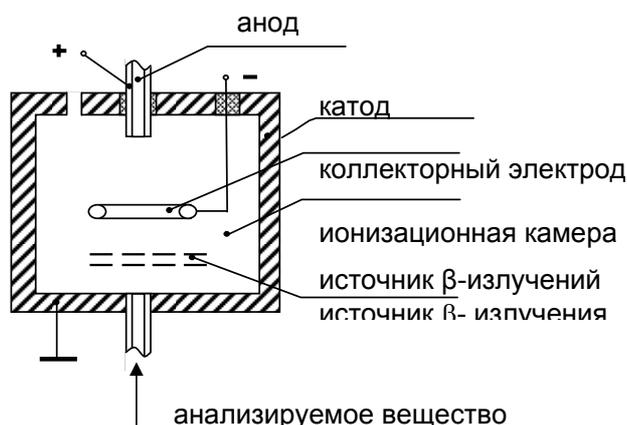


Рис. 2.19. Принципиальная схема датчика для измерения концентрации веществ с использованием метода ионизации метастабильными атомами

К числу спектрометрических методов относятся электроакустический, радиоспектрометрические, электрооптические и радиоактивные методы.

Электроакустический метод, основанный на различии в затухании или скорости распространения ультразвуковых колебаний в различных жидкостях и газах, применяется для анализа бинарных газовых и жидких смесей и измерения влажности. Радиоспектрометрические методы используют явления ядерного магнитного резонанса, электронного парамагнитного резонанса и микроволновой спектроскопии. Электрооптические методы основаны на избирательном поглощении, излучении

или рассеянии компонентами анализируемого вещества светового излучения в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах волн, а радиоактивные методы- на различии в интенсивности поглощения или отражения ими рентгеновского и радиоактивного излучений. Область применения методов та же, что и электроакустического метода. В практике измерений находят применение и комбинированные методы.

При необходимости получения высокой точности измерений используется радиоактивационный метод, основанный на использовании внутриядерных явлений.

При диагностике протекания опасных технологических процессов нередко возникает необходимость в контроле уровней рабочих сред, течей и акустических шумов.

Методы контроля уровней рабочих сред, как правило, основаны на применении масштабных и емкостных преобразователей, позволяющих покрывать диапазон от долей до нескольких метров.

Для своевременного предотвращения аварий важно обнаружить малые течи на работающем оборудовании. Обнаружить малую течь, определить её место и величину позволяет метод акустической эмиссии.

Контроль акустических шумов позволяет надёжно определить отклонения в поведении конструкций и деталей технологической установки и при необходимости срочно задействовать другие методы диагностики и контроля или принять меры к её остановке. Для контроля шумов используются различные типы приборов, которые носят название шумомеров. Шумомеры состоят из акустического датчика (микрофона), усилителя и регистрирующего прибора. Анализ частотного спектра, который изменяется при появлении отклонений в работе технологической установки, осуществляется с помощью приборов, носящих название частотных анализаторов, либо спектрометров. Для спектрального анализа шума анализаторы оснащены набором фильтров.

Наличие опасных веществ, излучений и других опасностей для человека, имеющих место при эксплуатации опасных технологических установок, делает невозможным использование методов, требующих его присутствия в зоне контроля. В этих случаях используют методы, позволяющие осуществлять дистанционную диагностику с применением телевидения, телеуправления, телеконтроля и вычислительной техники. К числу таких методов, например, относятся визуальный контроль с помощью волоконно-оптических линий видеосвязи, ультразвуковые системы контроля и аппаратура с использованием источников ионизирующего излучения с дистанционным управлением.

2.2.4. Противоаварийные системы. Обеспечение и анализ их надёжности

Одним из средств обеспечения противоаварийной устойчивости потенциально опасных объектов экономики и опасных технологических установок является введение в их состав противоаварийных систем (ПАС).

ПАС контролируют аварию, выполняя функции предотвращения перехода этих объектов в критический режим работы, их остановки и ограничения последствий аварии.

Они включают в себя защитные, локализирующие, управляющие и обеспечивающие системы.

Защитные системы предотвращают или ограничивают повреждение ПООЭ или опасной технологической установки. Локализирующие предназначаются для предотвращения распространения аварии, если она происходит. Управляющие осуществляют приведение в действие ПАС, контроль и управление ими в процессе осуществления заданных функций. Обеспечивающие системы решают задачи обеспечения ПАС всем необходимым (энергией, рабочей средой и т.п.) для сохранения условий их нормального функционирования. Например, в ПАС ядерной энергетической установки защитной системой является система аварийного охлаждения активной зоны; локализирующей- защитная оболочка, управляющей- система автоматического дистанционного приведения в действие защитных, локализирующих и обеспечивающих систем, одной из обеспечивающих систем- система надёжного электропитания. Атомная станция с ядерными энергетическими установками является наиболее показательным примером ПООЭ. Поэтому в дальнейшем при иллюстрации отдельных положений будем обращаться к этому ПООЭ.

Нормальное состояние ПАС- режим ожидания аварии, а основное требование, которое к ним предъявляется гарантированное срабатывание и предотвращение перехода ПООЭ в критический режим работы, предшествующий аварии.

2.2.4.1. Обеспечение надёжности противоаварийных систем

Все системы и устройства ПАС должны удовлетворять самым высоким требованиям по качеству и надёжности, т.к. они работают в жёстких условиях при механических, тепловых, химических и других воздействиях, возникающих при авариях. В этой связи к ПАС предъявляется целый ряд специфических требований. ПАС должны срабатывать автоматически, но допускать ручное управление ими.

Срабатывание ПАС не должно приводить к повреждению переходящего в аварийный режим работы ПООЭ или опасной технологической установки, а число срабатываний за время их эксплуатации не должно оказывать влияния на ресурс работы.

Все системы и устройства ПАС должны проходить прямую и полную проверку на соответствие проектным характеристикам при вводе в эксплуатацию, после монтажа, ремонта, модернизации и периодически в течение всего срока службы. Проверки должны осуществляться с использованием заранее разработанных устройств и методик, которые должны обеспечивать возможность проверки работоспособности систем и устройств ПАС на всех этапах эксплуатации; проведение их испытаний на соответствие проектным показателям; проверку последовательности прохождения сигналов и включения в работу.

Исходя из соображений надёжности, ПАС и алгоритмы их работы должны быть предельно просты. Возможные способы достижения высокой надёжности ПАС многообразны. Основные из них показаны на рис. 2.20.

ПАС могут быть построены с использованием активного и пассивного принципа действия. Активный принцип действия предполагает, что для выполнения системой заданной функции необходимо обеспечить некоторые условия. Например, подать команду на включение, обеспечить электроэнергией и т.п. Такие системы, как правило, сложны по конструкции и имеют многочисленные связи с другими системами и устройствами, обеспечивающими их работоспособность.

При построении ПАС с использованием пассивного принципа для выполнения ею заданной функции не требуется работа других систем и устройств. Пассивная ПАС функционирует под влиянием воздействий, непосредственно возникающих вследствие исходных событий аварийных процессов. Пассивные ПАС значительно проще активных по конструкции и схемному решению, поскольку отпадает необходимость в разветвлённых управляющих и обеспечивающих системах. Они могут быть построены, например, с использованием силы тяжести, естественной циркуляции рабочей среды, теплового расширения при нагревании и других физических явлений.

Важнейшей мерой обеспечения надёжности ПАС является резервирование её элементов и каналов.

Резервирование может быть структурным, функциональным и временным.

Структурное резервирование предполагает применение резервных элементов или каналов в структуре ПАС. Степень резервирования характеризуется кратностью резерва, под которой понимается отношение числа резервных элементов или каналов к числу резервируемых.

Кратность резерва должна быть такой, чтобы, несмотря на единичный отказ, т.е. один независимый от исходного события отказ, ПАС сработала. При этом единичный отказ предполагается в любом узле ПАС, но одновременно только один. Выбор принципа единичного отказа в качестве руководящего для определения кратности резервирования ПАС обусловлен малой вероятностью возникновения единичного отказа в связи

с высоким качеством проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации подобных систем. Естественно, что вероятность одновременного возникновения двух независимых отказов при этом условии, тем более становится ничтожно малой, поскольку представляет собой произведение вероятностей каждого из них.



Рис. 2.20. Способы обеспечения надёжности противоаварийных систем

Осуществляя резервирование, необходимо понимать, что введение избыточных резервных элементов одновременно с повышением надёжности повышает и опасность ложных срабатываний резервируемой системы. Для защиты от ложных срабатываний, нарушающих нормальную эксплуатацию и повышающих нагрузки, используются схемы резервирования “2 из 3” или “2 из 4”, при которых система срабатывает только в том случае, если сигнал на срабатывание формируется в двух соответственно из трёх или четырёх каналов.

Функциональное резервирование основано на способности отдельных элементов выполнять дополнительные функции, кроме своих основных.

Временное резервирование связано с использованием инерционности протекающих процессов. Резерв времени позволяет обеспечить при необходимости дублирование управляющих систем действиями персонала,

даёт персоналу время на осмысливание предпринимаемых действий, позволяет восстановить отказавшие элементы и устройства.

Отказы могут быть не только единичными, но и множественными, вызванными общей причиной. При этом отказывают одновременно несколько элементов системы вследствие одного внутреннего или внешнего воздействия, отказа какого-либо устройства или ошибки человека в процессе проектирования или эксплуатации. Общей причиной могут быть место расположения, условия, источник энергоснабжения, обслуживание, конструкция, технология изготовления, материал и т.п.

Защита ПАС от отказов по общей причине достигается структурно-функциональным и физическим разделением её каналов.

Структурно - функциональное разделение исключает общие элементы и связи в схемах, общие управляющие и обеспечивающие системы. Физическое разделение достигается разнесением структурно-независимых элементов и каналов ПАС в пространстве, созданием между ними физических барьеров, размещением в независимых помещениях.

Структурно - функциональное разделение защищает ПАС главным образом от внутренних отказов, физическое - внешних воздействий.

Исключение зависимых отказов, обусловленных общностью конструкции, ошибками при проектировании и т.п., достигается разнообразием каналов ПАС. Разнообразие предполагает использование при построении каналов ПАС, выполняющих одни и те же функции, разных конструкторских решений, разных физических принципов, разной элементной базы и т.п. Так, например, при формировании аварийного сигнала управляющими системами могут использоваться параметры разной физической природы: давление и мощность, число оборотов и крутящий момент и т.п.

Повышение безотказности элементов ПАС обеспечивается совершенствованием их конструкции, схемных решений, технологии изготовления и монтажа, технического обслуживания, облегчением условий работы.

Организационно-технические меры включают в себя контроль за состоянием системы, восстановление её работоспособности, а также анализ опыта эксплуатации.

Контроль за состоянием системы предполагает проведение периодического и постоянного контроля. Наибольшей эффективностью обладает постоянный контроль, однако отказы отдельных элементов могут быть обнаружены только при проведении периодических проверок работоспособности с имитацией аварийной ситуации.

Увеличение эффективности периодического контроля достигается автоматизацией процесса проверок и увеличением их частоты.

Для обеспечения восстановления элементов в различных режимах функционирования ПАС они должны удовлетворять определённым требованиям по ремонтпригодности.

Анализ опыта эксплуатации предполагает постоянный сбор и оперативный анализ информации о всех отказах и нарушениях в работе ПАС с целью принятия необходимых корректирующих мер.

2.2.4.2. Анализ надёжности противоаварийных систем

Анализ надёжности ПАС, как и любых других сложных систем, может осуществляться априорно (до) и апостериорно (после) нежелательного события, которым в данном случае является отказ системы. Оба вида анализа дополняют друг друга. При априорном анализе выбираются такие нежелательные события (отказы ПАС), которые являются потенциально возможными для рассматриваемой системы, а затем составляется набор различных сценариев, которые могут привести к их появлению.

Цель априорного анализа надёжности ПАС состоит в том, чтобы определить: - решения по предупреждению и снижению частоты отказов элементов и системы в целом; - рациональной кратности резервирования элементов и каналов системы; - исключению различного рода зависимостей элементов и потенциально возможных отказов по общей причине; - предотвращению или снижению вероятности отказов из-за ошибок персонала; периоду и объёму регламентных проверок работоспособности; - объёму контроля за состоянием элементов и системы в целом в процессе эксплуатации; времени её вывода в ремонт; - требуемому уровню надёжности вновь разрабатываемых элементов.

Достижение этих целей позволяет определить возможные причины отказа ПАС, последствия отказа отдельных элементов, а также оценить надёжность системы в целом.

Целью апостериорного анализа является разработка рекомендаций на будущее.

Анализ надёжности ПАС включает качественный и количественный анализ на основе детерминистского и вероятностного подходов.

Детерминистский подход предполагает анализ последовательности развития отказов в системе от исходного состояния через все возможные стадии до конечного установившегося состояния. При этом анализ проводится в предположении проектных аварий и принципа единичного отказа. Проектные исходные события, последующие эффекты, критические пределы безаварийной работы являются следствием накопленного опыта и инженерной интуиции. При детерминистском подходе к анализу надёжности сценарий развития отказов описывается качественно.

При вероятностном подходе рассматриваются всевозможные отказы, а также любое количество отказов с доведением результатов анализа надёжности “ до числа”. Основой вероятностного подхода является системный анализ всех мыслимых сценариев отказов, а также их последовательное исследование, включая исходные события и пути развития отказов.

Применение вероятностного анализа позволяет установить приоритеты, а также выбрать направления исследования надёжности ПАС и технических способов её обеспечения. Сравнительный анализ возможных технических решений и вероятностные оценки позволяют не только сделать обоснованный выбор решения задачи обеспечения требуемой надёжности ПАС, но и исследовать чувствительность результатов к изменениям тех или иных параметров и действующих факторов. Таким образом, вероятностный подход позволяет выделить наиболее тяжёлый сценарий развития событий, обосновать оптимальную надёжность и соответствующий ей конкретный проект противоаварийной системы. Ограничения в использовании вероятностного подхода связаны с недостаточностью данных для проведения анализа, а также знаний о потенциальной опасности тех или иных отказов, имеющих общие причины. При анализе надёжности ПАС вероятностный и детерминистский подходы используются совместно, дополняя друг друга.

Качественный анализ надёжности ПАС включает в себя следующие этапы:

- определение границ системы, её состава, функций, алгоритма работы, критерия отказа;
- классификацию и анализ элементов системы;
- определение возможных отказов по общей причине;
- анализ влияния на состояние системы возможных ошибок персонала в процессе управления, технического обслуживания, проверок и т.п. ;
- определение возможных последствий отказов элементов и ошибок персонала;
- анализ структуры системы для выявления слабых звеньев.

Основной проблемой при анализе является установление границ системы. Чрезмерное ограничение приводит к получению разрозненных несистематизированных мер по обеспечению надёжности в результате недостаточного внимания к некоторым опасным сценариям развития событий, чрезмерное расширение к крайней неопределённости анализа.

При анализе элементов системы рассматривают принцип действия, продолжительность работы в аварийном режиме, вид отказов и их причины, характер контроля в процессе работы, ремонтпригодность, влияние периодического контроля на работоспособность элементов.

Классификация элементов по принципу действия делит их на активные и пассивные. Последние при отсутствии у них движущихся

частей при количественной оценке, как правило, рассматриваются как абсолютно надёжные.

Режим функционирования ПАС включает в себя режимы ожидания и работы. В режиме ожидания система находится в состоянии постоянной готовности и включается в режим работы при возникновении аварийной ситуации, выполняя возложенные на неё функции. Время, в течение которого ПАС срабатывает, может составлять от нескольких секунд (для управляющих систем) до нескольких месяцев (для защитных систем). По этому признаку элементы делятся на элементы длительного и кратковременного действия.

По характеру контроля за состоянием элементов в режиме ожидания они могут быть неконтролируемыми, периодически контролируемыми и непрерывно контролируемыми, а по ремонтпригодности-восстанавливаемыми и невосстанавливаемыми в режиме ожидания и работы.

Периодическая проверка работоспособности элементов ПАС может производиться с выводом и без вывода их действия.

Отказы могут произойти в любом режиме работы системы. Среди отказов в режиме ожидания различают функциональные отказы, после которых элемент не способен выполнить свои функции, и ложные срабатывания, нарушающие нормальный процесс эксплуатации.

Отказы могут быть выявляемыми, обнаруживаемыми в момент их возникновения с помощью предусмотренных средств контроля, и скрытыми, обнаруживаемыми при проведении проверок работоспособности или срабатывании при возникновении аварийной ситуации на ПООЭ или опасной технологической установке (ОТУ).

Для режима работы ПАС характерны выявляемые функциональные отказы.

Классификация элементов по видам отказов производится на основе анализа их причин, т.е. явлений и процессов, вызывающих отказ и его последствия.

Для выявления потенциально опасных отказов и противодействия им производится анализ последствий отказов и ошибок обслуживающего персонала. В соответствии с режимами работы ПАС анализ состоит из двух этапов.

На первом этапе анализируются последствия отказов элементов в режиме ожидания ПАС на процесс нормальной эксплуатации ПООЭ. На втором этапе при каждом из рассматриваемых в проекте исходных событий оцениваются последствия для ПООЭ возникновения одного или более отказов элементов ПАС в соответствии с требованиями нормативных документов для ПООЭ или ОТУ. На каждом этапе учитываются также ошибки персонала и отказы по общей причине.

В процессе анализа надёжности ПАС могут быть допущены грубые

ошибки, если все отказы рассматривать как независимые события. Некоторые из них могут происходить по общей причине. Целью анализа отказов по общей причине является их учёт и, главным образом, определение мер предотвращения.

Отказы по общей причине, как уже говорилось, происходят вследствие наличия общего фактора для рассматриваемых систем и устройств. По возможным источникам отказов они могут быть обусловлены:

- внешним или внутренним воздействием, например, землетрясением или соответственно пожаром;
- отказом какого-либо общего элемента или подсистемы, от которых зависит функционирование рассматриваемой системы. Такие отказы носят название структурно-функциональных отказов;
- общностью конструкции с дефектом, обусловленным недостаточностью знаний о происходящих процессах, ошибками в технической документации при разработке системы, использованием неподходящих или некачественных материалов, общностью условий работы. В этом случае отказы называются отказами общего вида;
- ошибками персонала, связанными с общностью способов наладки, калибровки, технического обслуживания, ремонта и других действий в процессе эксплуатации;

Устранение отказов по общей причине возможно при введении специальных мер по исключению различных видов зависимостей между устройствами, каналами, системами. Эффективной мерой защиты ПАС от отказов по общей причине, обусловленных возникающими при аварии ПООЭ окружающими условиями, является разделение её каналов с размещением их в независимых помещениях. Естественными мерами защиты являются ослабление действующих на ПАС условий, возникающих при аварии, и обеспечение необходимых запасов устойчивости. Отказы, связанные с общностью конструкции, техническим обслуживанием, проверками предотвращаются использованием разных принципов действия; разных физических явлений, на которых основано срабатывание; привлечением для проверок системы разных исполнителей.

При анализе структуры ПАС широко используется так называемое «дерево отказов» или последовательно-параллельная логическая схема. Это связано с тем, что любой отказ реализуется при наличии определённых условий или причин. По этому между ними всегда существует причинно-следственная связь. Всякий отказ выступает следствием некоторой причины, которая является следствием другой причины и т.д. Таким образом, причины и отказы образуют иерархические структуры, графическое изображение которых напоминает ветвящееся дерево, получившее название «дерева отказов».

Связь элементов в дереве отказов осуществляется с помощью

логических операторов «И», «ИЛИ» и других. В простейших случаях, ограниченных применением операторов «И» и «ИЛИ», может быть построена последовательно- параллельная логическая схема, более наглядная при представлении критических групп элементов.

Оператор «И» обозначает операцию логического умножения (конъюнкции) и применяется при параллельном соединении элементов, когда отказ системы связан с отказом всех элементов.

Оператор «ИЛИ» обозначает операцию логического сложения (дизъюнкции) и применяется при последовательном соединении элементов системы, когда отказ системы связан с отказом хотя бы одного из её элементов.

Построение дерева отказов начинается с определения отказа системы, который представляет собой вершину дерева. Затем определяются виды отказов каналов, блоков, элементов, ошибок персонала, которые могут привести к отказу системы. Осуществляется последовательная углублённая детализация причин отказа системы с использованием логических операторов, создающая ветви дерева. Дальнейшие действия, создающие основание дерева, связаны с разветвлением его ветвей до уровня элементов и событий, для которых существуют вероятностные характеристики.

В качестве примера рассмотрим простейшую противоаварийную систему, состоящую из управляющей подсистемы и исполнительного органа, обеспечивающих отключение опасной технологической установки при переходе её в аварийный режим работы. Управляющая система имеет основной и резервный каналы, каждый из которых состоит из датчика, реагирующего на аварийный параметр ОТУ, и блока, формирующего управляющий сигнал. Исполнительный орган активный, питающийся от основного и резервного источников питания. Под отказом ПАС будем понимать несрабатывание исполнительного органа. Дерево отказов такой системы и последовательно- параллельная логическая схема представлены на рис. 2.21 и 2.22.

Использование дерева отказов и последовательно- параллельных схем позволяет в графическом виде представить условия работоспособности и неработоспособности системы, т.е. правила, позволяющие определить её состояние в зависимости от состояния элементов; последовательно проследить всевозможные комбинации отказавших элементов, ошибок персонала, вызывающих отказ системы в целом; установить критическую группу элементов, отказ которых приводит к отказу системы.

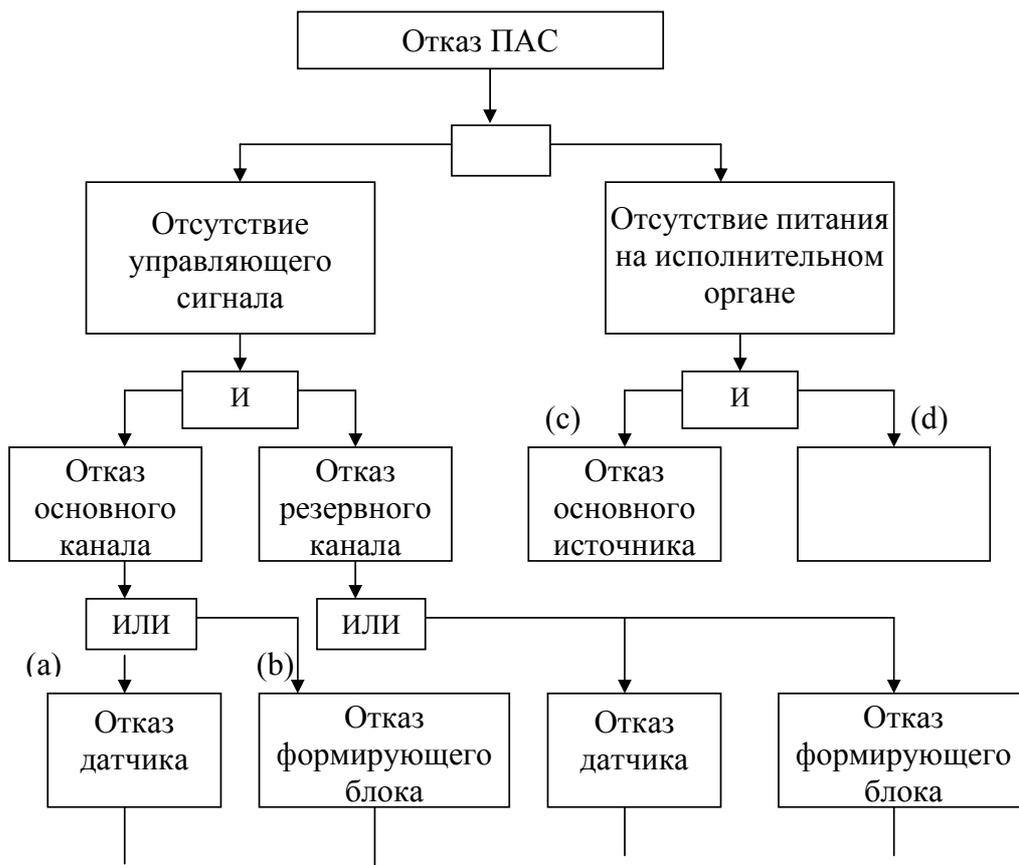


Рис. 2.21. Дерево отказов ПАС.

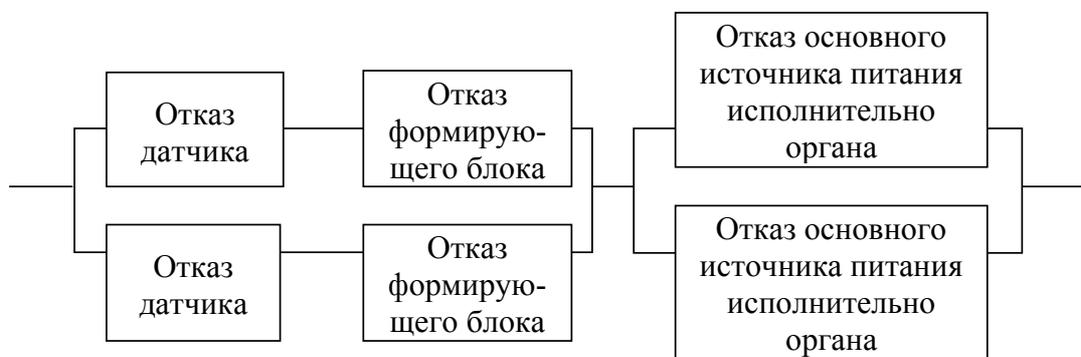


Рис.2.22. Последовательно-параллельная структурно-логическая схема ПАС.

Количественный анализ.

Необходимыми этапами количественного анализа являются:

- качественный анализ,
- построение дерева отказов,
- определение показателей надёжности,
- определение характеристик регламента эксплуатации и
- расчёт надёжности.

Качественный анализ позволяет составить расчётную модель противоаварийной системы. Дерево отказов или параллельно-логическая схема - сформулировать условия работоспособности системы и выполнить расчёт надёжности по показателям надёжности её элементов. Определение показателей надёжности элементов осуществляются на основе опыта эксплуатации и опыта эксплуатации их аналогов.

Основными показателями надёжности являются безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. При этом наиболее употребляемыми из них является безотказность и ремонтпригодность.

В качестве показателей безотказности элемента, устройства, системы используются вероятность отказа $P(t)$ или вероятность безотказной работы $R(t)$ на интервале времени $(0,t)$, интенсивность отказов $\lambda(t)$ в момент t и средняя наработка до отказа T_{cp} .

Вероятность безотказной работы и вероятность отказа связаны соотношением:

$$R(t) = 1 - P(t) \quad (2.1)$$

Интенсивность отказов представляет собой количество отказов, приходящихся на единицу времени работы, отнесенное к количеству работоспособных элементов в момент времени t , т.е.

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \frac{\Delta n}{\Delta t \cdot n(t)} = \frac{n(t) - n(t + \Delta t)}{\Delta t \cdot n(t)} = \\ &= \frac{\frac{n(t)}{N_0} - \frac{n(t + \Delta t)}{N_0}}{\Delta t \cdot \frac{n(t)}{N_0}} = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t \cdot R(t)}, \end{aligned}$$

где Δn - количество отказов за время Δt ,

$n(t)$ и $n(t+\Delta t)$ - количество работоспособных элементов соответственно в моменты времени t и $t+\Delta t$,

N_0 - начальное количество элементов в момент времени t_0 .

Устремив Δt к нулю и переходя к пределу, получим выражение для $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = -\frac{R'(t)}{R(t)} \quad \text{или} \quad \lambda(t) = \frac{P'(t)}{1 - P(t)}, \quad (2.2)$$

где $R'(t)$ и $P'(t)$ - соответственно производные от функций $R(t)$, $P(t)$.

Таким образом, интенсивность отказов численно равна вероятности того, что элемент, проработавший безотказно до момента t , откажет в следующую малую единицу времени.

Интегрируя $\lambda(t)$ в пределах от 0 до t , получим:

$$\int_0^t \lambda(t) dt = -\ln(R(t)) \quad (2.3)$$

$$\text{или } R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

$$\text{При } \lambda(t) = \text{const} \quad R(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.4)$$

Средняя наработка до отказа:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2.5)$$

$$\text{При } R(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad T_{cp} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda \cdot t} dt = 1 / \lambda \quad (2.6)$$

Элементы противоаварийных систем обычно высоконадёжны. Поэтому для них справедливо неравенство $\lambda \cdot t \ll 1$, что позволяет вероятность отказа записать в виде:

$$P(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \approx \lambda \cdot t \text{ с относительной погрешностью } \frac{\lambda \cdot t}{2} \quad (2.7).$$

В качестве показателя ремонтнопригодности чаще всего используется среднее время восстановления (τ).

Интенсивность отказов в функции времени имеет вид, показанный на рис 2.23.

Из рисунка видно, что всё время работы элемента может быть разбито на 3 характерных периода: период приработки или “детства” ($0, t_{пр}$), период нормальной работы ($t_{пр}, t_{н}$) и период старения (износа) ($t > t_{н}$).

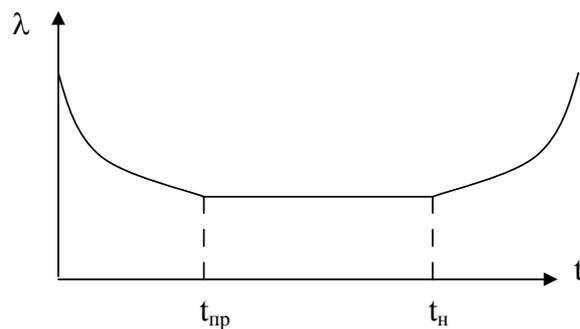


Рис. 2.23. Зависимость интенсивности отказов от времени работы $\lambda = f(t)$.

В период приработки отказы происходят в основном в результате недостаточного качества, ошибок в расчётах, использования неправильных режимов работы, недостатков технологии. Для этого периода характерно, что большинство повреждений повторяется при замене отказавшего элемента и носит устойчивый характер. Причина отказа более или менее легко выявляется и при её устранении отказы не наблюдаются. Период приработки длится относительно недолго и после него наступает период нормальной работы.

В период нормальной работы закономерные отказы практически отсутствуют и наблюдается только случайные отказы. Интенсивность отказов в период нормальной работы относительно невысока и остаётся почти постоянной с течением времени.

В период старения интенсивность отказов резко возрастает и определяется износом, связанным с необратимыми физико-химическими процессами, происходящими в элементе. В этой связи все элементы, важные для нормальной работы ПАС, должны сниматься с эксплуатации до начала наступления этого периода.

В период нормальной работы элемента $R(t) = e^{-\lambda t}$, т.е. описывается экспоненциальным законом. Надёжность в пределах справедливости экспоненциального закона не зависит от времени работы элемента до момента отказа, что позволяет очень просто выполнять расчёты надёжности систем, если известна надёжность составляющих её элементов.

Рассмотрим основные простейшие виды соединений элементов в систему и найдём показатели надёжности системы, работающей до первого отказа, по известным показателям надёжности элементов. При этом будем считать, что отказы элементов представляют собой независимые события. При выводе зависимостей используем основные понятия математической логики.

С точки зрения математической логики любое суждение является сложным, состоящим из простых суждений, связанных между собой логическими операциями.

Одной из таких операций является ранее упомянутая операция логического умножения (конъюнкции), применяемая в том случае, если о некотором суждении “с” можно утверждать, что оно истинно, если истинны суждения “а” и “b”. Операция логического умножения обозначается знаком “ \wedge ”, “И”, “.”, а суждение “с” записывается в виде $c = a \wedge b$.

Другой операцией является операция логического сложения (дизъюнкции), применяемая тогда, когда о некотором суждении “с” можно утверждать, что оно истинно, если истинны суждения “а” или “b”. Операция обозначается знаком “ \vee ”, “или”, “+”, а суждение “с”

записывается в виде $c = a \vee b$.

Для минимизации, т.е. уменьшения числа повторяющихся членов сложной логической функции, что необходимо для исключения возможных ошибок, используются логические формулы. Основные из них:

1. $a \wedge a = a \vee a = a \wedge 1 = a \vee 0 = a \vee ab = a$.
2. $a (a \vee b) = a$.
3. $a \vee 1 = 1$.
4. $(a \vee b)(a \vee c) = a \vee bc$.
5. $a \wedge b = b \wedge a$.
6. $a \vee b = b \vee a$.
7. $(a \wedge b) \wedge c = a \wedge (b \wedge c) = a \wedge b \wedge c$.
8. $(a \vee b) \vee c = a \vee (b \vee c) = a \vee b \vee c$.
9. $(a \wedge b) \vee c = (a \vee c) \wedge (b \vee c)$.

← Формат: Список

Логические функции могут быть преобразованы в алгебраические, если заменить в них логические операции алгебраическими в соответствии со следующими правилами:

$$a \vee b = a + b - a \cdot b;$$

$$a \wedge b = a \cdot b.$$

Пусть имеется система, состоящая из “n” последовательно соединённых элементов. Безотказная работа такой системы возможна, если безотказно работают все её элементы и, следовательно, используя положения математической логики, можно записать:

$R_c(t) = R_1(t) \wedge R_2(t) \wedge \dots \wedge R_n(t)$ или, переходя к алгебраическим символам,

$$R_c(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (2.8)$$

При параллельном соединении элементов отказ системы будет иметь место при отказе всех элементов. Поэтому

$$P_c(t) = P_1(t) \wedge P_2(t) \wedge \dots \wedge P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \text{ а}$$

$$R_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad (2.9)$$

Можно показать, что такой же результат получим при применении операции логического сложения. Действительно при параллельном соединении элементов безотказная работа системы “с” возможна, если безотказно работает элемент “а” или элемент “b”, т.е.

$$R_c(t) = R_a(t) \vee R_b(t) \text{ или } R_c(t) = R_a(t) + R_b(t) - R_a(t) \cdot R_b(t);$$

$$1 - P_c(t) = [1 - P_a(t)] + [1 - P_b(t)] - [1 - P_a(t)] \cdot [1 - P_b(t)] = 1 - P_a(t) + 1 - P_b(t) - 1 + P_a(t) + P_b(t) - P_a(t)P_b(t); \quad P_c(t) = P_a(t)P_b(t).$$

Таким образом, при последовательном соединении элементов умножается вероятности их безотказной работы, а при параллельном соединении – вероятности отказов.

Если интенсивности отказов последовательно соединенных элементов системы $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, то для выражения $R_c(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$ можем записать:

$$e^{-\lambda_c t} = e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} \cdot \dots \cdot e^{-\lambda_n t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t} \text{ или}$$
$$\lambda_c(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t). \quad (2.10)$$

Из выражения (2.10) следует, что при последовательном соединении элементов интенсивности отказов складываются и интенсивность отказа системы равна сумме интенсивностей отказов её элементов.

Полученные зависимости позволяют сделать следующие важные выводы:

1. Надёжность системы, состоящей из последовательно соединенных элементов, можно повысить, уменьшив количество элементов, т.е. упростив систему, или уменьшив интенсивность отказов элементов. Меры, принимаемые по повышению надёжности такой системы, окажутся неэффективными, если они не осуществляются в отношении наименее надёжного элемента.
2. Надёжность системы, состоящей из параллельно соединённых элементов можно повысить увеличив количество элементов. Надёжная система может быть построена из относительно надёжных элементов при надлежащем их резервировании.

← Формат: Список

В общем случае расчёт вероятности отказа системы, состоящей из последовательно и параллельно соединённых элементов, включает следующие этапы:

1. Построение дерева отказов.
2. Определение условия неработоспособности (отказа) системы.
3. Составление логической функции отказа системы $F_{л}$.
4. Минимизацию логической функции при необходимости.
5. Замену логических операций алгебраическими и переход от логической к алгебраической функции отказа F_a .
6. Замену в алгебраической функции событий (отказов) их вероятностями.
7. Определение вероятности отказа системы по вероятностям отказов её элементов.

← Формат: Список

В качестве примера рассмотрим систему, дерево отказов которой показана на рис. 2.21.

Предварительно обозначим:

Отказ датчика – событие “а”.

Отказ формирующего блока – событие “b”.

Отказ основного источника питания исполнительного органа – событие “d”.

1. Вероятности отказов при продолжительности работы $T = 100$ ч: датчика – 10^{-2} , формирующего блока - $3 \cdot 10^{-3}$, основного источника питания исполнительного органа – 10^{-3} , резервного источника питания исполнительного органа - $3 \cdot 10^{-2}$.

2. Определяем условие неработоспособности системы. Таким условием является несрабатывание исполнительного органа.

3. Составляем логическую функцию отказа системы $F_{л} = (a \vee b) \wedge (a \vee b) \vee (c \wedge d)$.

4. Минимизируем логическую функцию, используя логические правила $F_{л} = (a \vee b)^2 \vee (c \wedge d)$.

5. Переходим к алгебраической функции отказа, используя правила: “ $a \vee b = a + b$ ” и “ $a \wedge b = a \cdot b$ ”. $F_{л} = (a + b)^2 + c \cdot d$.

6. Заменяем события (отказы) их вероятностями $P_{сист}(t) = [P_a(t) + P_b(t)]^2 + P_c(t) \cdot P_d(t)$.

7. Вычисляем вероятность отказа системы, подставив числовые значения вероятностей отказов её элементов

$$P_{сист}(100) = (10^{-2} + 3 \cdot 10^{-3})^2 + 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-2} = 0,199 \cdot 10^{-3}$$

В резервированных системах утрата работоспособности наступает при отказе нескольких элементов. Поэтому при оценке надёжности таких систем возникает задача расчёта вероятности отказа определённого числа элементов.

Если система состоит из “n” независимых элементов, функционирующих на заданном интервале времени и имеющих вероятность отказа “p”, то вероятность отказа её “m” элементов может быть найдена с использованием биномиального распределения

$$P_n(m) = C_n^m p^m (1-p)^{n-m} \quad (2.11)$$

Например, для системы, состоящей из четырёх независимых элементов с вероятностью отказа каждого $p=10^{-3}$, вероятность отказа двух элементов будет равна

$$P_4(2) = C_4^2 p^2 (1-p)^{4-2} = \frac{4 \cdot 3}{1 \cdot 2} (10^{-3})^2 (1 - 10^{-3})^2 = 5,988 \cdot 10^{-6}$$

В качестве показателей надёжности противоаварийных систем рассматриваются:

- вероятность несрабатывания на требование, под которым понимается вероятность пребывания системы в неработоспособном состоянии при поступлении требования на её срабатывание;
- вероятность оперативного несрабатывания, т.е. вероятность включения системы в работу при поступлении требования или включения,

Формат: Список

но отказа на заданном интервале времени;

- интенсивность ложных срабатываний или вероятность их возникновения на заданном интервале времени.

Получим расчётные зависимости для определения указанных показателей надёжности, а также рассмотрим влияние на них различных способов контроля работоспособности ПАС.

Вероятность несрабатывания системы на требование, работоспособность которой в режиме ожидания проверяется с периодичностью T_{Π} , а скрытые отказы происходят с интенсивностью λ , с учётом зависимости (2.7), очевидно, может быть записана в виде

$$P_{\text{нст}} = \frac{\lambda \cdot T_{\Pi}}{2} \quad (2.12)$$

При этом предполагается, что процесс проверки и, при необходимости, восстановления работоспособности мгновенны, а система контроля абсолютно надёжна.

При конечном времени контроля и восстановления, равном τ ,

$$P_{\text{нст}} = \frac{\lambda(T_{\Pi} + \tau)}{2}$$

И, следовательно, при постоянном контроле ($T_{\Pi}=0$) и восстановлении системы в течение времени τ

$$P_{\text{нст}} = \frac{\lambda \cdot \tau}{2} \quad (2.13)$$

Ранее рассмотренная система при условии постоянного контроля, интенсивности отказов $\lambda = 0,199 \cdot 10^{-5}$ 1/ч и времени восстановления $\tau = 1$ ч будем иметь вероятность несрабатывания на требование, равное

$$P_{\text{нст}} = \frac{0,199 \cdot 10^{-5} \cdot 1}{2} = 0,995 \cdot 10^{-6},$$

т.е. более, чем на три порядка ниже, чем в предыдущем случае.

Постоянный контроль позволяет обнаружить отказ в момент его возникновения и оперативно восстановить работоспособность системы. Однако, как показывает практика, не все отказы выявляются постоянным контролем. Некоторые из них могут быть выявлены только периодическим контролем.

Если долю отказов, выявляемых постоянным контролем, обозначить " χ ", то выражение (2.12) следует записать в виде:

$$P_{\text{нст}} = \frac{(1 - \chi)\lambda T_n}{2} \quad (2.14).$$

Из приведённых зависимостей очевидно, что изменение частоты проверок позволяет в широких пределах изменять показатели надёжности системы. Уменьшение периода между проверками приводит к

уменьшению вероятности несрабатывания на требование, что эквивалентно повышению безотказности системы. В пределе при постоянном контроле, полном выявлении всех отказов постоянным контролем и мгновенном восстановлении система была бы абсолютно надёжна. Однако, как было сказано выше, это невозможно, и поэтому для выявления скрытых отказов должны предусматриваться специальные периодические проверки работоспособности системы с оптимальным периодом между ними.

Оптимальное значение периода может быть найдено из условия равенства среднего времени наработки до отказа времени восстановления работоспособности системы, т.е. $T_{cp} = \tau$.

$$T_{cp} = \int_0^{T_n} t \cdot P'(t) dt = \int_0^{T_n} t \cdot \lambda dt = \frac{\lambda \cdot T_n^2}{2}$$

$$\text{Отсюда } T_n^{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot \tau}{\lambda}} \quad (2.15)$$

Найдём оптимальный период между проверками для ранее рассмотренной системы при условии восстановления её работоспособности в течение времени $\tau = 1$ ч.

$$T_n^{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{0,199 \cdot 10^{-5}}} \cong 1000 \text{ ч}$$

Вероятность оперативного несрабатывания системы на требование при ранее сделанных предположениях будет складываться из вероятности её несрабатывания на требование (не включения в работу по требованию) и вероятности включения в работу с последующим отказом на интервале времени работы T_p . При интенсивности отказов λ_p и отсутствии восстановления на интервале работы $(0, T_p)$ она может быть представлена в виде:

$$P_{опст} = \frac{\lambda \cdot T_n}{2} + \lambda_p T_p; \quad \frac{\lambda T_n}{2} \ll 1 \quad (2.16)$$

Анализ возможностей повышения надёжности ПАС путём введения периодических проверок показывает, что только ими добиться желаемого результата невозможно и, следовательно, они должны сочетаться с другими мерами, в частности с мерами структурного резервирования, т.е. обеспечения многоканальности системы.

При ранее сделанных предположениях для систем типа "m из n" с учётом биномиального распределения отказов и $\lambda T_n \ll 1$ вероятность оперативного несрабатывания на требование запишется в виде:

$$P_{\text{онст}}^{m/n} = \sum_{i=0}^{n-m+1} C_i^n \frac{(\lambda \cdot T_n)}{i+1} C_{n-i}^{n-i-m+1} (\lambda_p T_p)^{n-i-m+1} \quad (2.17)$$

где первые два множителя отвечают отказу i элементов из критической группы к моменту поступления требования, два остальных - отказу оставшихся элементов из критической группы на интервале работы.

Вероятность несрабатывания системы на требование равна слагаемому соотношения (2.17) при $i=n-m+1$. В соответствии с (2.17) формулы для расчёта вероятности несрабатывания на требование наиболее распространённых структурно-резервированных систем будут иметь вид:

$$P_{\text{нст}}^{1/2} = \frac{(\lambda \cdot T_p)^2}{3}; P_{\text{нст}}^{1/3} = \frac{(\lambda \cdot T_p)^3}{4}; P_{\text{нст}}^{2/3} = (\lambda \cdot T_p)^2;$$

$$P_{\text{нст}}^{2/4} = (\lambda \cdot T_p)^3; P_{\text{нст}}^{3/4} = 2 \cdot (\lambda \cdot T_p)^2$$

При различных вариантах структурного резервирования ранее рассмотренной системы, предназначенной для отключения опасной технологической установки при переходе её в аварийный режим работы, если λT_n , например, равно 10^{-1} , будем соответственно иметь следующие вероятности её несрабатывания на требование: $0,33 \cdot 10^{-2}$; $0,25 \cdot 10^{-3}$; 10^{-2} ; 10^{-3} и $2 \cdot 10^{-2}$.

Вероятность ложного срабатывания структурно-резервированной системы на интервале между очередными проверками, очевидно, может быть записана в виде:

$$P_{\text{л}}(T_{\text{п}}) = C_n^m (\lambda_{\text{л}} T_{\text{п}})^m, \quad (2.18)$$

где $\lambda_{\text{л}}$ – интенсивность ложных срабатываний.

Исходя из (2.18), формулы для расчёта вероятностей ложных срабатываний ранее рассмотренных вариантов структурно-резервированных систем будут иметь вид:

$$P_{\text{л}}^{1/2}(T_{\text{п}}) = 2 \lambda_{\text{л}} T_{\text{п}}; P_{\text{л}}^{1/3}(T_{\text{п}}) = 3 \lambda_{\text{л}} T_{\text{п}}; P_{\text{л}}^{2/3}(T_{\text{п}}) = 3(\lambda_{\text{л}} T_{\text{п}})^2;$$

$$P_{\text{л}}^{2/4}(T_{\text{п}}) = 6(\lambda_{\text{л}} T_{\text{п}})^2; P_{\text{л}}^{3/4}(T_{\text{п}}) = 4(\lambda_{\text{л}} T_{\text{п}})^3.$$

Для удобства оценок найдём численные значения $P_{\text{л}}(T_{\text{п}})$, например, при интенсивности ложных срабатываний $\lambda_{\text{л}} = 10^{-6} 1/\text{ч}$ и периоде между проверками $T_{\text{п}} = 10^3$ ч. Тогда соответственно будем иметь: $P_{\text{л}}^{1/2}(T_{\text{п}}) = 2 \cdot 10^{-3}$; $P_{\text{л}}^{1/3}(T_{\text{п}}) = 3 \cdot 10^{-3}$; $P_{\text{л}}^{2/3}(T_{\text{п}}) = 3 \cdot 10^{-6}$; $P_{\text{л}}^{2/4}(T_{\text{п}}) = 6 \cdot 10^{-6}$ и $P_{\text{л}}^{3/4}(T_{\text{п}}) = 4 \cdot 10^{-9}$.

Из рассмотренного следует, что наименьшей вероятностью несрабатывания на требование обладает система типа "1 из 3", а наименьшей вероятностью ложного срабатывания – система "3 из 4". Однако на практике наибольшее распространение получила система типа "2 из 3", что объясняется тем, что при минимальном общем числе каналов она достаточно надёжна как по отношению к функциональным отказам, так и к ложным срабатываниям. Использование систем типа "2 из 4" и "3

из 4" оправдано лишь в тех случаях, когда система "2 из 3" не обеспечивает требуемого уровня надёжности соответственно по первому или второму параметру.

При количественной оценке надёжности противоаварийных систем необходимо учитывать возможность отказов по общей причине, связанных, например, с ошибками производственного персонала, внешними и внутренними воздействиями, общими производственными дефектами и т.п. явлениями. Если резервированная система может отказать по общей причине, то её надёжность незначительно выше надёжности отдельных элементов, из которых она построена.

Учёт структурно-функциональных отказов по общей причине осуществляется выделением в дереве событий системы или подсистемы, отказ которой приводит к зависимому отказу других систем, объединение их в более крупную систему с последующим рассмотрением её как совокупности независимых элементов и использованием вышеописанных методов.

Зависимые отказы, обусловленные внутренними или внешними воздействиями, учитываются при построении деревьев событий путём исключения из них поражённых элементов.

Вероятность несрабатывания на требование структурно-резервированной ПАС типа "m из n" в этом случае складывается из вероятности её несрабатывания по причине независимых отказов и вероятности несрабатывания по общей причине. С учётом зависимости (2.17) и $\lambda T \ll 1$ она может быть представлена в виде:

$$P_{нст} = C_n^i \frac{(\lambda \cdot T_n)^i}{i+1} + \frac{\lambda_{он} T_n}{2} \quad (2.19)$$

где λ - интенсивность скрытых независимых отказов канала системы на интервале между проверками $(0, T_n)$;

$\lambda_{он}$ - интенсивность отказов по общей причине на том же интервале времени.

В соответствии с (2.19) для двухканальных систем

$$P_{нст} = \frac{(\lambda \cdot T_n)^2}{3} + \frac{\lambda_{он} \cdot T_n}{2}$$

трёхканальных
$$P_{нст} = \frac{(\lambda \cdot T_n)^3}{4} + \frac{\lambda_{он} \cdot T_n}{2}$$

Из зависимости (2.19) следует, что, если даже в общем числе единичных отказов, доля отказов по общей причине относительно мала, вклад последних в ненадёжность системы может быть значительным, что требует принятия специальных мер защиты от них.

2.3. Устойчивость к ошибкам производственного персонала

2.3.1. "Взаимоотношения" производственного персонала с технологическими установками

Все системы сложных ПООЭ становятся взаимосвязанными только благодаря наличию человека. До ряда крупномасштабных техногенных аварий человеческий фактор в возникновении и развитии аварий считался второстепенным, однако аварии на АЭС, крупных химических и других опасных объектах экономики показали к каким тяжёлым последствиям могут приводить ошибки персонала.

Во "взаимоотношениях" производственного персонала с опасными технологическими установками решающую роль играют три момента:

1. Культура безаварийных взаимоотношений.
2. Информационная поддержка человека (оператора) в процессе его деятельности.
3. Оптимальное распределение обязанностей между человеком и машиной с точки зрения исключения возможности возникновения аварий и предотвращения их развития.

В настоящее время не вызывает сомнений исключительно важная роль человека в предотвращении аварий и обеспечении безопасности. Человек осуществляет контроль за процессом эксплуатации ПООЭ и ОТУ, предотвращает опасные отклонения от нормального хода процесса, в процессе эксплуатации проводит проверки работоспособности ПАС и при необходимости восстанавливает отказавшие элементы и каналы, выполняет корректирующие действия при непредвиденном пути развития аварии. При этом действия его должны базироваться на глубоком понимании протекающих в ОТУ процессов при её нормальном функционировании и при аварии, точном соблюдении технологического регламента и инструкций по эксплуатации как ОТУ, так и её ПАС, т.е. на высокой технической и технологической культуре, не создающей предпосылок для аварий.

Важным направлением повышения эффективности действий производственного персонала является организация его информационной поддержки.

При проектировании систем контроля и ПАС информация, которую получает оператор при авариях, должна быть оптимизирована. Она должна быть минимально необходима для оценки сложившихся ситуаций и не приводить к стрессовым состояниям обилием сигналов.

В настоящее время используется система, в которой на дисплей выводится по требованию любой параметр, а также сигнал о приближении к аварийной границе или о превышении её. Разрабатываются для оказания

помощи оператору диагностические системы, снабжающие его информацией о причинах нарушений в работе ОТУ, текущем состоянии технологического процесса и возможном его изменении, дающие рекомендации по необходимым корректирующим действиям. Подобные системы в значительной мере решают проблему оперативной обработки большого количества информации при аварии.

Основными функциями диагностических оперативных систем являются:

- определение причин нарушений в работе ОТУ, предсказание возможных путей их развития и выдача рекомендаций по действиям оператору;
- обеспечение оператора сигнальной информацией в доступной форме, особенно важной во время аварий.

Большой интерес представляют системы диагностики и управления, ориентированные на состояние ОТУ. С привлечением логического анализа отбрасывается ненужная информация, ограничивается число рассматриваемых состояний. Результирующее аварийное сообщение с мнемосхемой выдаётся на диагностический дисплей на основе анализа аварийных сигналов. Параллельно на цветной дисплей выдаётся детальная информация, представляемая в виде графика, диаграммы, схемы.

Подобные системы обеспечивают увеличение скорости и точности обнаружения и локализации возникшей неисправности, значительно сокращая количество выдаваемой при аварии информации.

Распределение обязанностей между человеком и машиной преследует цель освободить персонал (операторов) от рутинной работы, а также помочь ему в управлении сложными ситуациями.

Практический опыт свидетельствует о том, что сложной ситуацией легче и надёжнее управляет автоматическая система, поскольку проектировщики этой системы имеют возможность всесторонне рассмотреть все варианты протекания процесса, не испытывая дефицита времени, в отличие от оператора в условиях реальной ситуации. В то же время автоматическая система должна представлять информацию оператору, показывая ему состояние технологической установки и реакцию на его действие, что позволяет оператору в случае необходимости (отказе автоматической системы) включить ПАС вручную.

С внедрением автоматизированных систем человек не оказался исключённым из сферы управления. Он избавлен от многих тяжёлых и утомительных функций, но вместе с тем за ним осталась главная функция-принимать наиболее важные, ключевые решения на основе данных, подготовленных этими системами. Кроме того, в обязанности человека входит выполнение функций общего контроля системы и принятие на себя управления в критические моменты.

2.3.2. Ошибки производственного персонала

В реальных условиях в большинстве систем независимо от степени их автоматизации требуется в той или иной мере участие человека. В этой связи оценка надёжности системы без учёта надёжности работы человека будет неполной и не может дать истинной картины.

Надёжность работы человека обычно определяется как свойство успешного выполнения им поставленной задачи на заданном этапе функционирования системы в течение заданного интервала времени при определённых требованиях к продолжительности выполнения работы. Основным препятствием для успешного выполнения человеком поставленной задачи являются ошибки, которые он может совершать в процессе работы.

Ошибки возникают независимо от уровня подготовки, квалификации, опыта и могут следовать с различной частотой, иметь различные последствия. Под ошибками понимается непреднамеренное неправильное действие человека (оператора, производственного персонала) в процессе выполнения им своих обязанностей или пропуск действий, определяемых эксплуатационными инструкциями. В сложных условиях характерны ошибки невмешательства, т.е. случаи, когда человек не подготовлен к проявлению инициативы.

Человек и машина имеют свои достоинства и недостатки, основные из которых приведены в табл. 2.1. Эти достоинства и недостатки должны учитываться при построении и эксплуатации автоматизированных систем.

Основными причинами ошибок являются:

- монотонность работы,
- недостаточный уровень квалификации и опыта,
- следование производственного персонала сомнительным рекомендациям технического обслуживания и эксплуатации,
- непонимание процессов и возможных последствий конкретных действий,
- недооценка приоритета безопасности в деятельности производственного персонала.

Вероятности некоторых ошибок персонала в процессе взаимодействия с автоматизированными системами приведены в таблице 2.2.

Возможные ошибки должны учитываться при проектировании и эксплуатации ОТУ и противоаварийных систем, разработке организационных и технических мер по повышению устойчивости к ним и различного рода нарушениям во "взаимоотношениях" с персоналом. Для этого допускаемые ошибки должны изучаться, системно анализироваться и ранжироваться с точки зрения их значимости и влияния на процессы, протекающие в системах и ОТУ.

Табл. 2.1.

Основные достоинства и недостатки человека и машины

Достоинства и недостатки	Человек	Машина
Достоинства	<p>Способность принимать решения даже при наличии ограниченной информации.</p> <p>Правильные реакции даже в неожиданных условиях.</p> <p>Способность выполнять операции разными способами в случаях повреждения механизма.</p> <p>Гибкость в действиях и решениях.</p>	<p>Изменяемая по желанию способность к восприятию информации.</p> <p>Возможность улучшения параметров восприятия.</p> <p>Сохранение производительности и точности во времени.</p> <p>Возможность приспособления к окружающим условиям.</p> <p>Быстрое и безошибочное выполнение логических операций.</p>
Недостатки	<p>Ограниченная способность к восприятию информации и скорость её восприятия.</p> <p>Ограниченные возможности органов чувств.</p> <p>Снижение производительности и точности действий с течением времени.</p> <p>Необходимость комфортных условий.</p> <p>Замедленность и относительно невысокая скорость мыслительных операций, повышенная вероятность ошибки.</p>	<p>Функционирование только в соответствии с введёнными программами и полученными командами.</p> <p>Возможность отказа в непредвиденных условиях.</p> <p>Ограниченность количества выполняемых операций.</p> <p>Трудоёмкость изменения программы функционирования.</p>

Табл. 2.2.

Вероятности некоторых ошибок производственного персонала

Характер ошибки	Вероятность
Ошибка при выборе переключателя	$(1 \dots 3) \cdot 10^{-3}$
Ошибка при выборе переключателя из-за ошибки при считывании обозначений	$3 \cdot 10^{-3}$
Ошибка, связанная с пропуском операции при отсутствии сигнала на пульте о её выполнении	10^{-2}
Ошибка при считывании информации с пульта	$(1 \dots 6) \cdot 10^{-3}$
Ошибки в принятии решения	10^{-3}
Арифметические ошибки без выполнения повторных вычислений	$3 \cdot 10^{-2}$

2.3.3. Управляющие воздействия в аварийных ситуациях

Действия производственного персонала в стрессовых ситуациях аварий инерционны и часто сопровождаются ошибками. По разным источникам вероятность ошибок в этих случаях достигает (0,2 ... 0,3).

Время, требующееся персоналу для принятия решения и противоаварийных корректирующих действий носит название упускаемого времени. Опыт аварий свидетельствует, что это время может достигать (10 ... 30) мин и зависит от сложности принимаемых решений, имеющейся информации о складывающейся обстановке, наличия выбора между разными вариантами действий, возможных последствий принимаемых решений. При необходимости выполнения непредусмотренных инструкциями действий упускаемое время может измеряться часами. В течение этого времени развитие аварии предотвращается только действием автоматических систем.

Развитие аварии может быть предотвращено в результате надёжного ручного вмешательства, которое обеспечивается достаточной для принятия решений информацией, наличием инструкций, средств для осуществления требуемых действий, достаточным количеством времени для оценки состояния аварийных систем и выполнения необходимых операций, наличием надёжной связи между обслуживающим персоналом.

Отсюда следует необходимость обеспечения названных условий, а также определение упускаемого времени для каждого предусматриваемого исходного события, ведущего к аварии, и конкретных состояний ОТУ и ПООЭ в целом. Ручное вмешательство на этапе упускаемого времени не должно мешать работе ПАС, совершающих противоаварийные действия.

Опасные технологические установки с точки зрения динамики протекания аварийных процессов могут быть разделены на два типа. Первые из них – установки с динамичными процессами, малоинерционные, характеризующиеся быстротечностью аварийных процессов и малым временем (в течение секунд) достижения параметрами аварийных пределов, с автоматическим запуском ПАС. Вторые – инерционные установки с высокой аккумулирующей способностью, развитым самоуправлением аварийными процессами и их медленным (в течение десятков минут или часов) протеканием, с пассивными ПАС.

Установки второго типа более благоприятны для управляющих воздействий в аварийных ситуациях, т.к. более устойчивы к ошибкам и более восприимчивы к корректирующим действиям. Поэтому необходимо стремиться к созданию установок, обладающих развитыми свойствами внутренней самозащищённости, не позволяющих развиваться аварии при любых ошибках оператора и нарушениях требуемых условий эксплуатации.

Действия производственного персонала могут усугубить или

ликвидировать аварийную ситуацию. Поэтому важную роль в эффективности управляющих воздействий играют подготовка персонала и эксплуатационные процедуры.

Действия персонала, связанные с предотвращением аварий, условно могут быть разделены на две категории: планируемые, предусмотренные инструкциями по эксплуатации, и незапланированные. Планируемые действия, если они осуществляются в точном соответствии с инструкцией, полезны и безопасны. При отступлении или неполном её выполнении они бесполезны и даже опасны. В некоторых случаях они могут быть такими, что ПАС не справится с их последствиями.

Незапланированные действия персонала непредсказуемы и поэтому должны полностью нейтрализоваться действием ПАС.

При обслуживании и ремонте ОТУ безаварийную работу должна обеспечивать действенность административных процедур. Например, ограниченный допуск персонала к ремонту, контроль его знаний перед допуском и т.п.

Взаимодействие человека с машиной может быть безопасным только при условии его высокой профессиональной подготовки. При этом имеет значение как общий технический уровень подготовки, так и конкретная подготовка к обслуживанию конкретной ОТУ. В процессе нормальной работы ОТУ научить производственный персонал действиям в аварийных ситуациях практически невозможно. Поэтому важным и обязательным звеном как первичной, так и периодической подготовки персонала опасных технологических установок и объектов является его подготовка на тренажёрах, имитирующих реальные условия нормальной эксплуатации и аварийные ситуации. Управляющие воздействия в аварийных ситуациях будут эффективны только в том случае, если они до автоматизма отработаны на этих тренажёрах.

2.4. Анализ устойчивости ПООЭ к авариям

Анализ устойчивости ПООЭ чаще всего основан на использовании вероятностных методов, что связано с рядом обстоятельств.

Детерминистские методы, позволяя выделить критические пути развития аварий, приводят к необходимости их сопоставления при различном количестве отказов элементов, устройств, ошибок персонала и тем самым к необходимости количественного сравнения при отсутствии единой меры осуществимости аварий.

Использование детерминистского анализа позволяет рассматривать только полностью зависимые системы, когда отказ одной системы неизбежно приводит к отказу другой. В то же время практика аварий свидетельствует о том, что зависимые отказы также являются случайными событиями. Например, случаи отказа нескольких однотипных систем по

общей причине могут иметь или не иметь место. Две однотипные системы, имеющие одинаковое назначение, могут существенно отличаться по частоте отказов вследствие особенностей эксплуатации, конструкции или технологии изготовления.

Вероятностный анализ устойчивости представляет собой системный анализ причин возникновения, всевозможных путей развития и последствий аварий с использованием различных методов исследований устройств, конструкций и систем ПООЭ, дополненный исследованием надёжности противоаварийных систем и вероятностной оценкой развития событий.

В процессе проведения анализа обычно выделяют три этапа. На первом этапе оценивается интенсивность исходных событий, вызывающих аварию, а также надёжность ПАС. Интенсивности исходных событий определяются на основе статистических данных по этим событиям, надёжность ПАС- вышеизложенными методами.

На втором этапе анализируются аварийные процессы, которые могут привести к аварии ПООЭ, выявляются их причины и частоты возникновения.

На третьем этапе рассматриваются физические и химические процессы, протекающие при аварии, оценивается её вероятность, экономические, экологические и социальные последствия.

Для решения рассматриваемой задачи необходим метод выделения и последовательного перебора возможных путей развития аварии. В качестве такого метода используется метод дерева событий. Анализу подвергаются деревья событий второго и третьего этапов.

За начальную точку дерева принимается исходное событие, ведущее к аварии. Для построения дерева событий определяются элементы, системы, устройства, влияющие на развитие аварии. Элементы, системы, устройства располагаются в порядке по времени воздействия на протекание аварийного режима. При этом в первую очередь рассматриваются те из них, состояние которых оказывает влияние на наибольшее число других элементов, систем и устройств. Затем в зависимости от состояния систем, влияющих на развитие аварийной ситуации, осуществляется логический перебор различных путей развития аварии, представляющих собой ветви дерева событий, и её последствий. Вид получаемого дерева событий показан на рис.2.24.

Из рисунка 2.24 видно, что в общем случае может быть 2^n путей развития аварии, если на её протекание влияет n независимых систем, каждая из которых может находиться в одном из двух состояний: работоспособном и неработоспособном.

Однако системы не всегда независимы. Между ними могут быть связи, влияющие на функционирование. Кроме функциональных связей могут быть общие элементы, отказ которых приведёт к отказу этих систем.

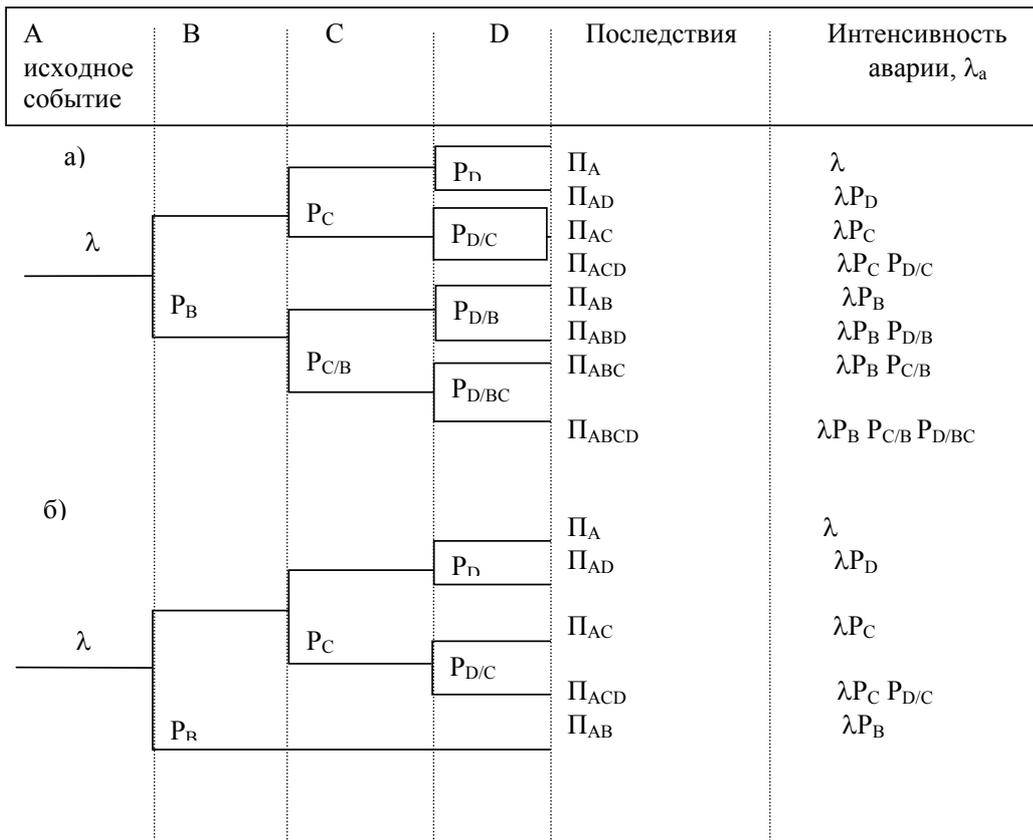


Рис. 2.24. Вид дерева событий: а) общий случай; б) упрощённое дерево для случая зависимых отказов ($P_{C/B} = P_{D/BC} = 1$); P – вероятность отказа системы ($P \ll 1$); $1-P \approx 1$; λ – интенсивность исходного события.

Если учесть существующие функциональные и схемные связи, то отдельные пути развития аварии могут быть опущены, и, соответственно, упрощено дерево событий. Так, если системы В, С и D функционально зависимы или имеют общие элементы, в результате чего при отказе системы В происходит отказ систем С и D, дерево событий может быть представлено в виде, показанном на рис. 2.24б.

Необходимо также иметь в виду, что вероятность отказа одной и той же системы может быть различной при разных путях развития аварии в связи с возможным влиянием на работоспособность её элементов и системы в целом особенностей протекания аварии.

В общем случае система может находиться не только в работоспособном или неработоспособном состоянии, но и в состоянии частичной работоспособности. В зависимости от числа работоспособных

каналов может потребоваться выделение у некоторых из рассматриваемых систем трёх и более состояний. Эти обстоятельства учитываются при более детальном анализе. При этом рассматриваемые состояния системы должны образовывать полную группу событий, т.е. должны быть несовместимыми и иметь суммарную вероятность состояний, равную единице.

При построении дерева событий необходимо учитывать возможные отказы по общей причине и ошибки производственного персонала. Если они приводят к отказам или к неэффективной работе систем, системам приписывается вероятность исходного нарушения по этим причинам и на идущей от него критической цепочке сосредотачивается дальнейший анализ.

Многие пути развития аварий идентичны по последствиям, что позволяет значительно упростить анализ. Исходными данными для построения и анализа деревьев событий являются результаты физического и химического анализа аварийных процессов, а также анализа надёжности ПАС. С другой стороны моделирование путей развития аварии позволяет определить условия работы ПАС, для которых должна быть рассчитана их надёжность.

Анализ устойчивости ПООЭ к авариям по методу дерева событий является итерационным, т.к. предполагает выделение определяющих по последствиям аварийных цепочек и тщательный их повторный анализ с уточнением характера и условий протекания аварийных процессов.

Необходимо иметь в виду, что метод не гарантирует охват всех путей развития аварии. Многое зависит от квалификации и опыта исследователя. Правдоподобность результатов подтверждается анализом полноты и чувствительности полученных количественных оценок.

В качестве примера рассмотрим анализ противоаварийной устойчивости наиболее характерного ПООЭ, каковым является ядерная энергетическая установка. В качестве исходного события примем потерю внешнего электропитания, т.е. событие, моделируемое перед катастрофой на ЧАЭС.

При нормальной работе реактора его охлаждение обеспечивается конденсатно-питательной системой. При отказе этой системы по каким-либо причинам реактор остаётся без охлаждения. Для предотвращения плавления его активной зоны ядерная энергетическая установка имеет систему аварийной защиты, обеспечивающую быстрое снижение мощности, и систему аварийного отвода тепла, обеспечивающую отвод остаточных тепловыделений.

При потере внешнего электропитания конденсатно-питательная система перестаёт функционировать, реактор останавливается с помощью системы аварийной защиты и переводится в режим расхолаживания, которое осуществляется с использованием системы аварийного отвода тепла. Поэтому авария ядерной энергетической установки,

сопровождающаяся плавлением активной зоны реактора, зависит от срабатывания или несрабатывания указанных систем. Дерево событий, отражающее возможные пути аварии в этом случае, будет иметь вид, показанный на рис. 2.25.

Там же указаны последствия: П- авария (плавление активной зоны), НП- отсутствие аварии (нет плавления активной зоны) и вероятностные характеристики событий: интенсивность исходного события λ , вероятность отказа соответствующих систем P и интенсивность аварии λ_a .

Исходное событие	Система аварийной защиты	Система аварийного отвода тепла	Последствия	Интенсивность аварии, (год) ⁻¹	№ ветви
Потеря внеш. электропитания $\lambda=4 \cdot 10^{-2}$	$P_{a3} < 10^{-4}$		НП	-	1
		$P_{саот} \cong 10^{-4}$	П	$\lambda_a = \lambda \cdot P_{саот} = 4 \cdot 10^{-6}$	2
			НП	-	3
		$P_{саот} \cong 10^{-4}$	П	$\lambda_a = \lambda \cdot P_{a3} \cdot P_{саот} = 4 \cdot 10^{-10}$	4

Рис. 2.25. Дерево событий для аварии с потерей внешнего электропитания

Ветвь 1 соответствует проектному протеканию процесса. Ветвь 2 – срабатыванию системы аварийной защиты и отказу системы аварийного отвода тепла с последующим плавлением активной зоны. Ветвь 3 - несрабатыванию аварийной защиты и срабатыванию системы аварийного отвода тепла, в результате чего может иметь место необходимое охлаждение активной зоны и предотвращение её плавления. Ветвь 4 – несрабатыванию обеих аварийных систем с неизбежным плавлением активной зоны.

Если принять время эксплуатации ядерной энергетической установки t равной 25 годам, то вероятности аварий, развивающихся по путям 2 и 4, с учётом зависимости (2.7) будут соответственно равны:

$P_{a2} = \lambda_a \cdot t = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 25 \cong 10^{-4}$ и $P_{a4}(t) \cong 10^{-8}$, вероятности безаварийной работы: $R_{a2}(t) = 1 - P_{a2}(t) = 0,9999$ и $R_{a4}(t) \cong 1$, суммарная вероятность аварии $P_a(t) = P_{a2}(t) + P_{a4}(t) = 10^{-4} + 10^{-8} \cong 10^{-4}$ и соответственно безаварийной работы $R_a(t) \cong 0,9999$.

Судить о наличии или отсутствии противоаварийной устойчивости ПООЭ можно при наличии соответствующего критерия. В качестве такого

критерия целесообразно выбрать приемлемую вероятность аварии ПООЭ $[P_{a \text{ ПООЭ}}]$. В этом случае противоаварийная устойчивость обеспечивается, если выполняется условие:

$$P_{a \text{ ПООЭ}} \leq [P_{a \text{ ПООЭ}}],$$

где $P_{a \text{ ПООЭ}}$ – найденная вероятность аварии ПООЭ.

Например, приемлемая вероятность аварии ядерной энергетической установки за год эксплуатации определяется значением $[P_{a \text{ ЯЭУ}}] = 10^{-5}$ и, следовательно, её противоаварийная устойчивость обеспечена, если $P_{a \text{ ЯЭУ}} \leq 10^{-5}$.

3. УСТОЙЧИВОСТЬ ОБЪЕКТОВ ЭКОНОМИКИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

3.1. Понятие об устойчивости объектов экономики в ЧС

3.1.1. Принципы и критерии устойчивости ОЭ в ЧС

Человеческий опыт свидетельствует о том, что объекты экономики (ОЭ) не могут рассматриваться как абсолютно безопасные или как объекты, которым в процессе функционирования не угрожает опасность. Некоторые ОЭ являются особо опасными, создающими угрозу не только для себя, но и для других ОЭ, а иногда и для региона или даже государства в целом.

В условиях рыночной экономики нарушение нормального функционирования предприятий чревато для них банкротством, а для экономики в целом – кризисом. Особенно велико значение устойчивого функционирования экономики в военное время, когда его нарушение является одной из главных целей противников, а также в условиях ЧС в мирное время.

В этой связи очевидна необходимость обеспечения безопасности ОЭ и сопротивляемости их действию поражающих факторов. Эти цели достигаются в процессе решения задачи, которая получила название задачи устойчивости ОЭ в условиях ЧС.

Под устойчивостью ОЭ в ЧС в общем случае понимают их способность в заданных пределах противостоять действию поражающих факторов. Часто говорят об устойчивости работы ОЭ в условиях ЧС. При этом очевидно, что устойчивость работы ОЭ в ЧС не может быть обеспечена без его устойчивости к действию поражающих факторов.

Под устойчивостью работы ОЭ понимают его способность бесперебойно выполнять заданные функции в условиях ЧС, а также приспособленность к восстановлению в случае получения повреждений

[3]. При этом под выполнением заданных функций понимают способность объекта производить продукцию в запланированном объёме и номенклатуре, а под приспособленностью к восстановлению – его способность восстанавливать производство в кратчайшие сроки.

Таким образом, основными критериями устойчивости работы ОЭ в условиях ЧС являются его способность выполнять заданные функции в этих условиях, а также возможность восстановления функций при получении повреждений. В качестве обобщенного критерия устойчивости может быть также использована удельная величина предотвращённого ущерба.

Устойчивость работы ОЭ в условиях ЧС обеспечивается реализацией следующих основных принципов:

1. Предотвращением возникновения и развития аварий на ОЭ при внешних воздействиях.
2. Продуманностью и всесторонней обоснованностью конструкций, технических решений, и технологий, применяемых на ОЭ, с точки зрения возможности его эксплуатации в условиях ЧС.
3. Высокими качественными показателями оборудования ОЭ (повышенной надёжностью, прочностью, огнестойкостью, радиационной стойкостью и т.п.), позволяющими его эксплуатировать при повышенных нагрузках.
4. Применением мер защиты производственного персонала и технологического оборудования от действия поражающих факторов при ЧС.
5. Подготовкой производственного персонала к работе в условиях ЧС.

Как следует из изложенного в разделе 2.1 материала, эти принципы в значительной мере реализуются при обеспечении противоаварийной устойчивости ОЭ.

В качестве детерминированной количественной меры устойчивости выбирается величина параметра того или иного поражающего фактора с учётом вышеназванных критериев. Систематизация и анализ различных сценариев поведения ОЭ в ЧС, а также наиболее общая количественная оценка его устойчивости реализуются при вероятностных подходах.

Устойчивость к действию поражающих факторов должна обеспечиваться на любом этапе производственной деятельности ОЭ вплоть до его полного прекращения. Требования по устойчивости работы ОЭ формулируются в техническом задании на его проектирование и реализуются в процессе строительства. В дальнейшем обеспечение необходимого уровня устойчивости или его повышения при неблагоприятном изменении условий является постоянной заботой руководителя ОЭ и его главного инженера, непосредственно отвечающего за техническую политику и техническое состояние предприятия. Руководитель ОЭ и главный инженер несут всю полноту ответственности

Формат: Список

за выполнение требований по устойчивости работы, предъявляемых предприятию.

3.1.2. Организация исследования устойчивости ОЭ в ЧС

Для принятия необходимых мер по обеспечению устойчивости ОЭ, их достаточности и эффективности должно быть известно фактическое состояние устойчивости, которое выясняется в результате проведения исследований. Проведение исследований позволяет предупредить потерю устойчивости ОЭ в условиях возможных ЧС; обеспечить её оптимальность в конкретных условиях функционирования; определить необходимую периодичность и объём мер, обеспечивающих поддержание устойчивости на требуемом уровне.

В результате исследований выявляются наиболее слабые элементы ОЭ, определяется возможный ущерб и объём восстановительных работ при различных степенях повреждения объекта; разрабатываются мероприятия, направленные на обеспечение устойчивости как наиболее слабых элементов ОЭ, так и всего объекта в целом. Устойчивость работы ОЭ должна рассматриваться в условиях тех ЧС, которые для него возможны, независимо от вероятности их наступления.

Работа по оценке устойчивости и её обеспечению должны быть частью повседневных функциональных обязанностей персонала ОЭ и представлять собой постоянно действующую систему.

В соответствии со сложившейся практикой работа по оценке устойчивости производится периодически в сроки, определяемые руководителем предприятия. К работе привлекается инженерно-технический персонал ОЭ и при необходимости работники научно-исследовательских, проектных, строительных организаций и организаций-разработчиков оборудования и технологических процессов. Схема организации исследования устойчивости работы ОЭ показана на рис. 3.1.

Общее руководство исследованиями осуществляет руководитель ОЭ, приказом которого определяются рабочие группы исследователей. Обычно выделяется группа руководства во главе с главным инженером и расчётно-исследовательские группы по направлениям деятельности главных специалистов предприятия (группы главных специалистов). Эти группы осуществляют основной объём работ по оценке устойчивости своих служб и разработке мероприятий по её обеспечению в случае необходимости.

Основные задачи этих групп на примере групп главного механика, главного технолога и главного энергетика сводятся к следующему:

Группы главного механика:

- оценка уязвимости станочного и технологического оборудования к воздействию предполагаемых поражающих факторов;

- определение возможных потерь технологического и станочного оборудования, приборов и систем управления;
- определение способов сохранения и защиты особо ценного и уникального оборудования;
- определение сроков и объёма восстановительных работ, потребности в силах, средствах и материалах;
- разработка перечня наиболее важных узлов и деталей и необходимых объёмов их запасов для ведения восстановительных работ.



Рис. 3.1. Схема организации исследования устойчивости работы ОЭ

Группы главного технолога:

- описание технологического процесса с указанием изменений при переводе производства на режим работы в условиях ЧС (времени перевода, готовности, наличия документации и т.п.);
- оценка уязвимости технологического процесса;
- оценка возможности быстрой безаварийной остановки производства;

- разработка предложений по продолжению производства при частичном прекращении поставки сырья, полуфабрикатов, деталей и запчастей; оценка возможности замены недостающих поставок;
- разработка плана восстановления производства при приемлемых повреждениях и составление перечня технологического оборудования, которое может потребовать замены;
- разработка предложений по сохранению основной производственно- технологической документации.

Группы главного энергетика:

- оценка устойчивости энергетического оборудования и сетей к воздействию возможных поражающих факторов;
- оценка возможных последствий и потерь энергетического оборудования вследствие ЧС;
- определение способов сохранения и защиты энергетических источников, оборудования и сетей;
- определение сроков и объёмов восстановительных работ на оборудовании и сетях, потребности в силах, средствах и материалах;
- разработка перечня необходимых для проведения восстановительных работ запасных частей, узлов, деталей с указанием их требуемого количества.

Группа руководства обобщает результаты исследований расчётно-исследовательских групп и на их основе даёт общую оценку устойчивости работы ОЭ в целом, которая отражается в обобщённом докладе. Схема взаимодействия исследовательских групп в процессе работы и принятия решений по обеспечению устойчивости работы ОЭ приведена на рис.3.2.

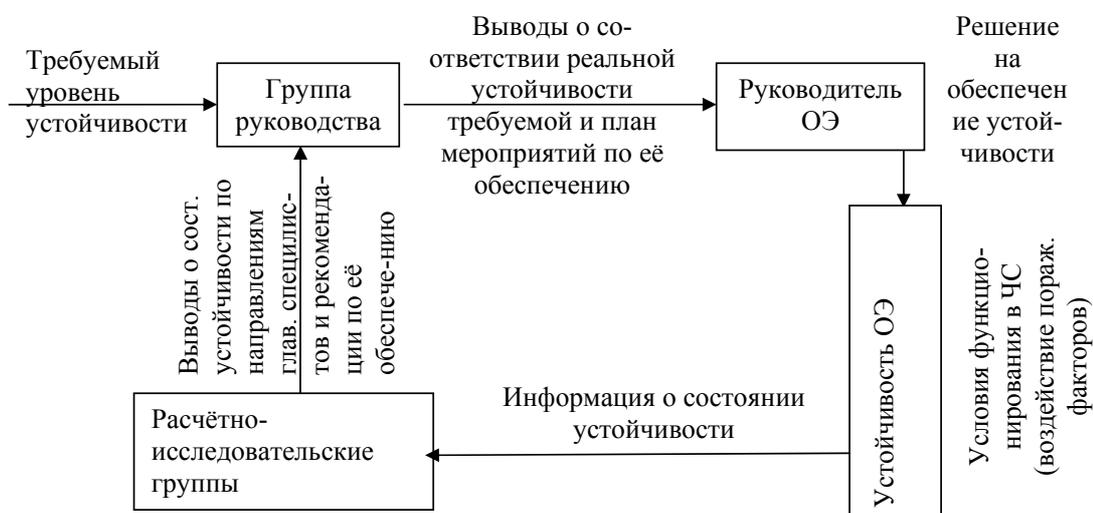


Рис. 3.2. Схема взаимодействия исследовательских групп и принятия решений по обеспечению устойчивости работы ОЭ в условиях ЧС

Оценка устойчивости осуществляется в соответствии с календарным планом, являющимся приложением к приказу руководителя ОЭ. Календарный план, как правило, предусматривает 4 этапа в проведении исследований: подготовительный, первый, второй и заключительный.

В подготовительный период проводится организационная работа, связанная с определением состава групп исследователей, их задач и сроков проведения исследования, изучением руководящих документов и справочных материалов, оценкой возможной обстановки на ОЭ при и после ЧС.

На первом этапе исследования проводится практическая работа в группах главных специалистов по оценке устойчивости структурных подразделений ОЭ, направленная на выявление наиболее слабых мест и определение участков, для которых необходимо разработать мероприятия по обеспечению устойчивости их работы. Первый этап заканчивается докладами старших расчётно-исследовательских групп группе руководства о результатах проделанной работы.

На втором этапе производится комплексная оценка устойчивости структурных подразделений и объекта в целом, разрабатываются организационные и инженерно-технические мероприятия, направленные на обеспечение устойчивости работы ОЭ в условиях возможных ЧС.

На заключительном этапе исследования составляется отчёт о проделанной работе.

Подготовительный этап длится (15...20) дней, первый- (1,5...2) месяца, второй- (10...15) дней и заключительный- (7...10) дней.

Для проверки правильности проведённых расчётов, разработанных предложений и рекомендаций на ОЭ могут быть проведены объектовые учения.

3.1.3. Факторы, влияющие на устойчивость ОЭ в условиях ЧС

ОЭ являются сложными техническими системами, в состав которых входят здания и сооружения, различного технологического оборудование, системы энергообеспечения, материально-технического снабжения, сбыта готовой продукции, связи, управления. Каждый из этих элементов исходной системы имеет свои особенности. Здания имеют разную конструкцию, этажность, размеры, перекрытия и т.п. Они различным образом размещены на территории ОЭ по отношению к источникам ЧС и друг другу. Технологическое оборудование различается типом, заводом-изготовителем, насыщенностью приборами и системами автоматического управления, длительностью и сложностью эксплуатации, надёжностью. Системы энергоснабжения могут иметь различные источники энергии, коммуникации и другие особенности. Системы материально-технического снабжения отличаются поставщиками и потребителями, поставляемыми

комплектующими изделиями и сырьём, сбываемой продукцией. Управление производством отличается степенью подготовки и ответственностью руководителей, обеспеченностью средствами связи и системами управления, их дублированием. Каждый ОЭ имеет разные финансовые и материальные возможности. Отмеченные обстоятельства определяют специфику ОЭ.

Однако, несмотря на это, устойчивость работы любого из них определяется рядом общих факторов. К числу таких факторов относятся: надёжность защиты производственного персонала; устойчивость основных производственных фондов и технологических процессов при действии поражающих факторов; надёжность энергообеспечения ОЭ; надёжность его материально-технического снабжения, сбыта и кооперативных связей с другими предприятиями; надёжность управления и подготовка к восстановлению нарушенного производства. Неудовлетворительное состояние любого из этих факторов неизбежно отразится на устойчивости ОЭ.

3.2. Методика детерминированной оценки устойчивости ОЭ к действию поражающих факторов

3.2.1. Общие положения и алгоритм оценки

Исследования проводятся на качественном и количественном уровнях. На качественном уровне осуществляется сбор и обработка данных, идентификация ОЭ и опасностей, которые могут ему угрожать. При идентификации ОЭ он рассматривается как система. Определяются его границы как системы, состав, функции, алгоритм работы. В результате структурного анализа выявляются основные цехи и подразделения, их роль в производственном процессе, влияние на количество выпускаемой продукции, её номенклатуру, качество в случае утраты устойчивости, другие производственные параметры.

При идентификации опасностей определяются приоритетные внешние и внутренние источники, факторы риска, возможные ЧС, характер их развития, поражающие факторы, прогнозируются причины ЧС и их возможные последствия.

На количественном уровне производится оценка параметров поражающих факторов и последствия их воздействия на отдельные элементы и ОЭ в целом, определяются пределы устойчивости элементов и объекта, оценивается способность сохранения устойчивости в конкретных условиях функционирования предприятия.

Оценка устойчивости производится последовательно к воздействию каждого из возможных поражающих факторов и сводится к выявлению зависимостей вида:

$$\begin{aligned}
 G_n &= f(\Delta P_\phi); G_n = f(I); G_n = f(V); G_n = f(U); \dots \\
 G_{\text{онф}} &= f(\Delta P_\phi); G_{\text{онф}} = f(I); G_{\text{онф}} = f(V); G_{\text{онф}} = f(U); \dots \\
 y_{\text{оэ}} &= \sum_{i=1}^n G_i(\Delta P_\phi); y_{\text{оэ}} = \sum_{i=1}^n G_i(I); \dots,
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

где G_n , $G_{\text{онф}}$, $y_{\text{оэ}}$ - соответственно потери производственного персонала, основных производственных фондов и ущерб, наносимый ОЭ в результате действия поражающих факторов;

ΔP_ϕ , I , V , U - соответственно избыточное давление на фронте ударной волны, интенсивность сейсмических и сейсмозрывных волн, скорость ветра при урагане, тепловой (световой) импульс и др. поражающие факторы;

i - объект воздействия поражающего фактора (производственный персонал, основные производственные фонды и т.д.).

При этом объекты исследования ставятся в различные условия воздействия поражающих факторов, при которых определяются величина и структура потерь, пределы устойчивости, оцениваются возможные последствия потерь, разрабатываются варианты организации производства в этих условиях.

Одна из таких зависимостей $G_{\text{онф}} = f(\Delta P_\phi)$, характеризующая выход из строя основных производственных фондов, при действии ударной волны мощного (с массой в несколько кт тротила) взрыва приведена на рис.3.3.

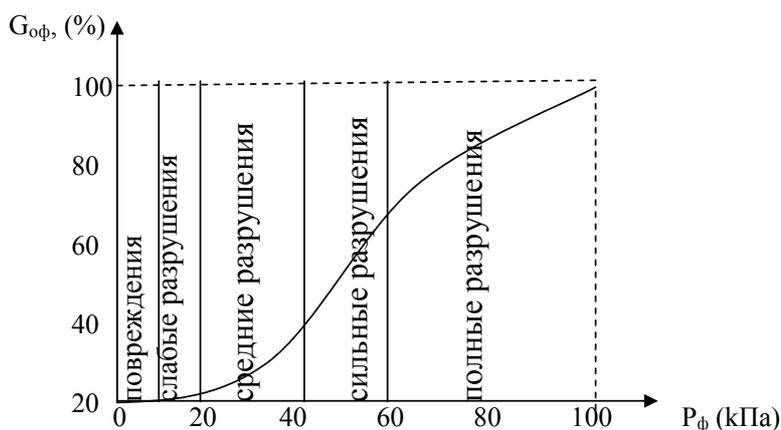


Рис. 3.3. Зависимость выхода из строя ОПФ при действии воздушной ударной волны.

3.2.2. Оценка защиты производственного персонала

Потери производственного персонала главным образом зависят от обеспеченности его средствами защиты.

Как известно, основными способами защиты являются укрытие людей в защитных сооружениях, проведение эвакуационных мероприятий и использование средств индивидуальной защиты (СИЗ). Надёжная защита достигается при комплексном использовании этих способов, что, как правило, имеет место на ОЭ. Поэтому оценка защиты производственного персонала складывается из оценки эффективности применения указанных способов в условиях конкретного ОЭ, наличия планов, необходимых материальных средств, обученности производственного персонала использованию средств защиты и действиям в условиях ожидаемых ЧС, надёжности и эффективности оповещения персонала об опасности.

На некоторых ПООЭ наиболее эффективным средством защиты являются устроенные вблизи рабочих мест специальные защитные сооружения, из которых можно при необходимости управлять технологическим процессом. На этих объектах оценивается возможность строительства таких сооружений, а, если они существуют, - их техническое состояние и готовность к использованию.

Инженерная защита, предполагающая использование защитных сооружений (ЗС) гражданской обороны, эффективна в военное время при угрозе применения оружия, а также в мирное время, если возможные для ОЭ ЧС не являются неожиданными, но время для принятия мер крайне ограничено и измеряется минутами. Например, при землетрясениях, когда основному толчку предшествует предвестник, или возможность взрыва, когда процесс, завершающийся им, уже начался.

Она необходима при высоких уровнях воздействий, когда даже кратковременное пребывание производственного персонала без средств защиты приводит к его поражению. Например, при высоких уровнях радиации и концентрации токсических веществ в момент прохождения радиоактивного или заражённого токсичными веществами облака воздуха перед последующей эвакуацией производственного персонала. При высоких и низких уровнях воздействий, когда укрытие в ЗС способствует снижению доз облучения и токсических доз до допустимых пределов при необходимости работы ОЭ в условиях заражения.

Если ЧС дают достаточно времени для принятия мер, и прекращение работы ОЭ допустимо, наиболее целесообразна эвакуация производственного персонала. В том и другом случае возможно использование средств индивидуальной и медицинской защиты.

При оценке состояния инженерной защиты рассматриваются вопросы обеспечения производственного персонала ЗС, их соответствие требованиям и действующим при ЧС поражающим факторам, расположение на территории ОЭ, состояние, наличие планов укрытия работающих смен, подготовки людей. При недостаточном количестве ЗС оценивается возможность укрытия необеспеченного ими производственного персонала в подвалах зданий и городских инженерных

сооружениях, расположенных вблизи предприятия. Рассматриваются планы строительства быстровозводимых и простейших ЗС, обеспеченность их строительства документацией, материалами, техникой, людьми. При угрозе выброса в окружающую среду радиоактивных и химически опасных веществ при ЧС, связанных с авариями на радиационно и химически опасных объектах, оцениваются защитные возможности производственных помещений и способы их улучшения.

Проверяется наличие необходимого количества СИЗ, их состояние, степень подготовки производственного персонала к продолжению производственной деятельности при условии использования СИЗ.

Рассматриваются планы эвакуации, степень их отработанности, реальность, обеспеченность необходимыми средствами, состояние путей, маршрутов эвакуации, аварийных входов и выходов, способы оповещения об опасности и необходимых действиях, подготовка к проведению эвакуации руководящего состава ОЭ и эвакуируемого персонала.

Существенную роль в защите производственного персонала играет его своевременное оповещение о ЧС. Поэтому в ходе оценки защиты проверяется наличие и техническое состояние средств оповещения: радиоузлов, аппаратуры управления на пунктах управления, радиоточек, уличных и цеховых сирен, световых табло в шумных цехах.

Все полученные в ходе оценки сведения систематизируются и подвергаются анализу с целью корректировки планов защитных мероприятий, если в этом есть необходимость. Мероприятия по совершенствованию защиты отражаются в отчёте группы руководства о проведённых исследованиях, сводном плане мероприятий и план-графике наращивания мероприятий по повышению устойчивости работы ОЭ в условиях ЧС. В заключение оцениваются потери, которые может понести ОЭ. Методики оценки потерь излагаются в специальных курсах. Некоторые сведения приведены в работах [4, 29, 31, 32, 42 и др.]. В таблице 3.1. приведены статистические данные по структуре поражения людей при разрушении зданий.

Минимальное количество j -го производственного персонала $N_{\min j}$, при котором ОЭ способен выполнять заданные функции в течение необходимого времени, может рассматриваться как предел его устойчивости по j -й категории персонала, а условие устойчивости ОЭ представлено соотношениями:

$$N_j - N_{nj} \geq N_{\min j} \quad \text{и} \quad \sum_j (N_j - N_{ij}) \geq \sum_j N_{\min j},$$

где N_j – нормативная численность j -го производственного персонала ОЭ;
 $N_{\min j}$ – минимальное количество произв. Персонала, при котором ОЭ способен выполнять заданные функции;

N_{nj} – количество потерь j -го персонала объекта при ЧС.

Оценку возможных потерь рассмотрим на примерах.

Табл. 3.1.

Структура возможных поражений людей в зонах разрушения зданий и сооружений городской застройки

Характер застройки	Зоны разрушения	Потери в %					
		Всего	Без-возвратные	Санитарные			
				Всего	Тяжесть поражения		
					Крайне тяжёлая и тяжёлая	Средняя	Лёгкая
Кирпичные жилые дома и здания производственного типа	Полного	90	80	10	5	5	-
	Сильного	50(14)	15(9)	35(5)	15(2)	5(2)	15(1)
	Среднего	40	15	25	10	8	7
	Слабого	15	-	15	-	-	15
Деревянные дома	Полного	75	55	20	10	10	-
	Сильного	35	5	30	-	5	25
	Среднего	20	-	20	-	-	20
	Слабого	5	-	5	-	-	5

Примечание.

В скобках приведены потери в зданиях производственного типа.

Пример 1.

Рабочая смена ОЭ составляет 790 чел. Из них в убежищах IV- класса может укрыться 450 чел. Других ЗС и подвальных помещений, которые могут быть использованы как укрытия, на территории ОЭ нет. Определить возможные потери при действии ударной волны с величиной избыточного давления на фронте $\Delta P_{\phi} = 100$ кПа, вызванной взрывом ядерного боеприпаса.

Решение.

Определим потери неукрытого персонала. Они составят $790 - 450 = 340$ чел. и будут являться безвозвратными, поскольку при $\Delta P_{\phi} = (60...100)$ кПа незащищённые люди получают тяжёлые травмы, как правило, не совместимые с жизнью.

Пользуясь справочником [4], выясняем, что при $\Delta P_{\phi} = 100$ кПа убежища IV класса получают слабые повреждения, при которых санитарные потери составляют 5%, т.е. $450 \cdot 0,05 = 23$ чел. Таким образом, из 790 чел. работающей смены ОЭ 340 погибнут и 23 чел. получают травмы.

Оценка возможных потерь при взрыве газопаровоздушных смесей может быть выполнена с использованием рекомендаций работ [30, 31].

Пример 2.

Определить возможные потери производственного персонала ОЭ при аварии на его очистных сооружениях, связанной с выбросом в окружающую среду 0,8 т хлора. Очистные сооружения занимают

территорию (40x35) м и располагаются на границе ОЭ, имеющего размеры (1,2x0,8) км. Разлив хлора может быть ликвидирован не ранее, чем через 15 мин после аварии. Рабочая смена ОЭ 582 чел., из них 32 чел. работают на открытой территории и 12 чел. обслуживают очистные сооружения. При работе в обычном режиме СИЗ находятся на складе ОЭ и на рабочих местах персонала, обслуживающего очистные сооружения. ЗС на ОЭ нет.

Решение.

Определим размеры района аварии и зоны химического заражения, руководствуясь рекомендациями работ [28, 29].

$$\text{Радиус района аварии } R_a \cong 50 \cdot \sqrt{Q_0} \cong 50 \sqrt{0,8} \cong 44 \text{ м.}$$

В соответствии с рекомендациями работы [28] в качестве исходных данных для расчёта глубины зоны заражения принимаем метеорологические условия в момент аварии- инверсия, скорость ветра 1 м/с, температура воздуха 20 °С.

Эквивалентное количество хлора в первичном облаке

$$Q_{\text{э1}} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0 = 0,18 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 = 0,144 \text{ т.}$$

Время испарения хлора

$$T = \frac{hd}{K_2 K_4 K_7} = \frac{0,05 \cdot 1,553}{0,052 \cdot 1 \cdot 1} = 1,49 \text{ ч} > N = 0,25 \text{ ч., } K_6 = N^{0,8} = 0,25^{0,8}$$

Эквивалентное количество хлора во вторичном облаке

$$Q_{\text{э2}} = (1 - K_1) K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7 Q_0 / hd = (1 - 0,18) 0,052 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,25 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,8 / (0,05 \cdot 1,553) = 0,145 \text{ т.}$$

$$\text{Глубина зоны заражения } \Gamma = \Gamma^I + 0,5 \Gamma^{II} = 1,46 + 0,5 \cdot 1,46 = 2,19 \text{ км.}$$

Предельно возможная глубина переноса воздушных масс

$$\Gamma_{II} = N \cdot v = 0,25 \cdot 5 = 1,25 \text{ км} < 2,19 \text{ км и, следовательно, глубина зоны заражения может составить } 1,25 \text{ км.}$$

Сравнение найденных размеров района аварии и глубины зоны заражения с размерами очистных сооружений и территории ОЭ показывает, что очистные сооружения окажутся полностью в районе аварии, а территория ОЭ при неблагоприятном направлении ветра, дующего в его сторону,- в зоне химического заражения. Концентрация хлора на границе района аварии достигает смертельного значения, а с приближением к месту аварии значительно превышает его. Поэтому следует предположить, что даже при условии использования СИЗ люди, работающие на очистных сооружениях успеют получить поражения. Из них в соответствии со статистическими данными, приведёнными в табл. 17 работы [29], 4 чел. погибнут, 5 получают поражения средней и тяжёлой степени и 3 чел. лёгкой степени. Из остального производственного персонала, если предположить, что работающие на открытой территории успеют укрыться в зданиях, получают поражения 15%, т.е. 86 чел. Из них со

смертельным исходом - 30 чел., средней и тяжёлой степени - 34чел. и легкой степени - 22 чел.

Таким образом, в целом на ОЭ получают поражения 98 чел., из них 34 погибнут, 39 получают поражения средней и тяжёлой степени и 25 чел. поражения лёгкой степени.

Пример 3.

ОЭ из примера 2 после радиационной аварии может оказаться в зоне радиоактивного заражения с показателем спада уровня радиации $n=0,5$, и уровнем радиации на 1 ч после аварии $P_1 = 2$ мГр/ч. Оценить достаточность защиты производственного персонала в начальном периоде аварийной ситуации, если он в это время продолжает работать в обычном режиме, находясь 8 ч в производственных зданиях, 12 ч в жилых 5-этажных домах, 2 ч (или 10 ч для производственного персонала, работающего на открытой территории) на открытом воздухе и 2 часа в городском транспорте.

Решение.

Определяем уровень радиации по истечении начального периода аварийной ситуации, т.е. через 10 суток.

$$P_{10} = P_1 / \sqrt{10 \cdot 24} = 2 / \sqrt{10 \cdot 24} = 0,13 \text{ мГр/ч.}$$

Пользуясь работой [8], находим коэффициенты ослабления радиации производственными и жилыми зданиями, транспортом, которые соответственно равны $K_{пз} = 7$; $K_{жз} = 27$; $K_T = 2$.

Находим коэффициент среднесуточной защищённости производственного персонала:

- работающего в зданиях

$$C_1 = \frac{24}{\sum_i \frac{t_i}{K_i}} = \frac{24}{\left(\frac{t_{пз}}{K_{пз}} + \frac{t_{жз}}{K_{жз}} + \frac{t_T}{K_T} + \frac{t_{ов}}{K_{ов}} \right)} = \frac{24}{\left(\frac{8}{7} + \frac{12}{27} + \frac{2}{2} + \frac{2}{1} \right)} = 5,23;$$

- работающего на открытом воздухе

$$C_2 = \frac{24}{\left(\frac{12}{27} + \frac{2}{2} + \frac{10}{1} \right)} = 2,1.$$

Определяем дозы облучения производственного персонала за этот период

- внешнего облучения:

$$D_1 = \frac{1}{(1-n)C_1} (P_{10} \cdot 10 \cdot 24 - P_1 \cdot 1) = \frac{1}{0,5 \cdot 5,23} (0,13 \cdot 10 \cdot 24 - 2 \cdot 1) \cong 11,2 \text{ мГр}$$

$$D_2 = \frac{1}{0,5 \cdot 2,1} (0,13 \cdot 10 \cdot 24 - 2 \cdot 1) \cong 27,8 \text{ мГр}$$

- с учётом внутреннего облучения, которое в этом периоде аварийной ситуации примерно равно внешнему,

$$D_{1\Sigma} = 22,4 \text{ мГр}; D_{2\Sigma} = 55,6 \text{ мГр.}$$

В соответствии с нормами радиационной безопасности НРБ-99 [11], найденные значения доз превышают пороговые значения (5...50) мГр и требуют укрытия первой группы и эвакуации второй группы производственного персонала. Следовательно, для обеспечения устойчивой работы ОЭ по этому фактору должны быть приняты дополнительные меры защиты персонала, по-видимому, связанные с усилением защитных свойств производственных зданий и изменением режима работы на открытой территории ОЭ.

3.2.3. Оценка устойчивости ОЭ к действию механических поражающих факторов

Действие механических поражающих факторов приводит не только к поражению производственного персонала, но и основных производственных фондов. Оно может также нарушить энергетическое и материально-техническое обеспечение ОЭ и дезорганизовать процесс управления им.

Оценка степени разрушения ОПФ при различных видах воздействий может производиться методами анализа справочных данных для рассматриваемого элемента или расчёта воздействия возможной нагрузки на него.

При использовании справочных данных, которые приводятся для мощных (ядерных) взрывов, в последние должны быть внесены коррективы. Для корректировки справочных данных может быть использована зависимость:

$$\Delta P_{фк} = 95 \frac{\left[1 + \left(\frac{7000}{G}\right)^2\right]^{1/6}}{\chi_{п}} + 390 \frac{\left[1 + \left(\frac{7000}{G}\right)^2\right]^{1/3}}{\chi_{п}^2} + 1300 \frac{\left[1 + \left(\frac{7000}{G}\right)^2\right]^{1/2}}{\chi_{п}^3}, \quad (3.2)$$

где $\Delta P_{фк}$ – скорректированная величина избыточного давления при взрыве заряда тротила массой менее 10 т, при которой имеют место различные степени поражения объекта,

G – масса ВВ (кг),

$\chi_{п}$ – константа уровня поражения, определяемая из табл. 3.2.

Табл.3.2.

Константы уровня поражения

$\Delta P_{фт},$ (кПа)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\chi_{п}$	23	13,5	8,2	6,4	5,4	4,7	4,3	4,0	3,7	3,5	3,3

$\Delta P_{\text{фт}}$ – табличное значение избыточного давления при мощных взрывах, при котором наблюдаются те же степени поражения, что и при $\Delta P_{\text{фк}}$.

Результаты оценки степени повреждения ОПФ используются для выявления наиболее слабых элементов, а также для определения пределов устойчивости различных видов ОПФ и на их основе предела устойчивости ОЭ в целом.

За предел устойчивости ОПФ к действию механических поражающих факторов (ударной волны, сейсмических и сейсмозрывных волн, волны прорыва, ветра и т.п.) обычно принимают максимальные (верхние пределы) нагрузок (избыточного давления, интенсивности, скорости ветра, высоты и скорости волны и т.п.), при которых здания, сооружения, наружные технологические и инженерные сети получают слабые, а внутренние технологическое оборудование и сети - средние разрушения.

Пример 1.

Промышленное здание с железобетонным каркасом получает слабые разрушения при величине избыточного давления на фронте ударной волны $\Delta P_{\text{ф}} = (20..30)$ кПа.

Пределом устойчивости здания является $\Delta P_{\text{ф}} = 30$ кПа

Пример 2.

Кирпичное здание получает слабые разрушения при интенсивности землетрясения $I = (5,5..6,0)$ баллов.

Пределом устойчивости здания является землетрясение интенсивностью $I = 6$ баллов.

Пример 3.

Станочное оборудование получает средние разрушения при величине избыточного давления 25..30 кПа.

Пределом устойчивости этого технологического оборудования является $\Delta P_{\text{ф}} = 30$ кПа.

При действии механических поражающих факторов на оборудование может оказываться комбинированное воздействие непосредственно нагрузки, создаваемой поражающим фактором, и обломков разрушающегося здания. В связи со сложностью учёта воздействия обломков его, как правило, заменяют приростом нагрузки, который при действии ударной волны принимается равным $\Delta P_{\text{ф}} = (1..5)$ кПа при обрушении лёгких и $(10..25)$ кПа при обрушении тяжёлых несущих конструкций, междуэтажных перекрытий, стен и перегородок.

В этом случае при определении предела устойчивости оборудования необходимо от верхнего предела нагрузки, приводящей к среднему разрушению, отнять величину максимального прироста нагрузки от воздействия и обломков.

Пример 4.

Станочное оборудование установлено в цехе с лёгким перекрытием. Определить предел устойчивости оборудования с учётом воздействия ударной волны и обломков.

Предел устойчивости станочного оборудования с учётом обрушения перекрытия равен $\Delta P_{\phi} = 30 - 5 = 25$ кПа.

В определении предела устойчивости не учитывается характер нагружения элементов ОПФ во времени, что объясняется сложностью такого учёта. При принятом подходе устойчивость элемента несколько занижается по сравнению с фактической, что лишь повышает надёжность произведённых оценок. Слабые разрушения зданий, сооружений, наружных технологических и инженерных сетей и средние разрушения внутреннего технологического оборудования и внутренних сетей могут быть ликвидированы собственными силами ОЭ в результате проведения соответственно текущих и средних ремонтов.

Для наглядности составляется таблица ОПФ, облегчающая анализ устойчивости ОЭ (табл.3.3).

Табл.3.3.

Таблица устойчивости основных производных фондов ОЭ

Наименование основных цехов и структурных подразделений ОЭ	Наименование основных производственных фондов	Степень разрушения при действии нагрузки								
		5	10	15	20	25	30	35	40	45
Цех №1	Здание кирпичное одноэтажное Торцовочный станок и т.д.									
Цех №2	Здание деревянное Лесопильная рама и т.д.									

Обозначения:

- слабое разрушение,
- среднее разрушение,
- сильное разрушение,
- полное разрушение,
- предел устойчивости.

Пределом устойчивости цеха является минимальное значение предела устойчивости его основных производственных фондов, а пределом устойчивости ОЭ - минимальное значение предела устойчивости его основных цехов и структурных подразделений, определяющих выполнение ОЭ заданных функций.

Пример.

Определить предел устойчивости ОЭ к воздействию воздушной ударной волны, если его основные цехи имеют следующие значения пределов устойчивости:

Цех №1 $\Delta P_{\phi} = 10$ кПа; Цех №2 $\Delta P_{\phi} = 20$ кПа; Цех №3 $\Delta P_{\phi} = 15$ кПа;
Цех №4 $\Delta P_{\phi} = 30$ кПа; Цех №5 $\Delta P_{\phi} = 15$ кПа.

В соответствии с приведённым выше определением предел устойчивости ОЭ к воздействию воздушной ударной волны ограничивается цехом №1 и равен 10 кПа.

Найденный в процессе исследований предел устойчивости может быть повышен. Однако его повышение целесообразно до такого значения, при котором основные цехи ОЭ будут примерно равнопрочны.

Справочные данные по возможным разрушениям различных объектов в зависимости от величины избыточного давления во фронте ударной волны при взрывах, интенсивности землетрясения, скорости ветра при ураганах, высоты и скорости волны прорыва при разрушениях плотин гидроузлов приведены в таблицах 3.4 ... 3.7.

Если элементы объекта или объект не являются типичными и справочные данные для них отсутствуют, степень повреждения таких объектов определяется расчётным путём.

При действии ударной волны нагрузки на объекте создаются давлением в ударной волне и скоростным напором. В зависимости от габаритов объекта и особенностей его конструкции та или иная степень его повреждения или вид воздействия будет вызываться либо избыточным давлением, либо скоростным напором, либо совместным действием обоих видов нагрузок. Характер изменения нагрузок в функции времени на различных поверхностях обтекаемого ударной волной объекта показан в работе [32].

При ураганах нагрузки создаются скоростным напором, определяющими параметрами которого являются плотность и скорость воздушных масс. При действии волны прорыва- гидропотоком, критическими параметрами которого в данном случае являются глубина потока и скорость течения. При землетрясениях нагрузки определяются сейсмической волной. Критическими параметрами в данном случае являются ускорение (скорость) и период колебаний грунта.

Зная нагрузки, форму, габариты и прочностные характеристики объекта, можно оценить характер и степень его повреждений.

Табл. 3.4.

Поражающее действие взрыва

Объекты	Избыточное давление, соответствующее степени разрушения, кПа		
	слабой	средней	сильной
1	2	3	4
Здания			
Промышленные с металлическим или железобетонным каркасом	20-40	40-50	50-60
То же, бескаркасной конструкции и с лёгким металлическим каркасом	10-20	20-35	35-45
Многоэтажные административные с металлическим или железобетонным каркасом	20-30	30-40	40-50
Кирпичные многоэтажные (3 и более этажа)	8-10	10-20	20-30
Кирпичные малоэтажные	8-15	15-25	25-35
Деревянные	6-8	8-12	12-20
Остекление промышленных и жилых зданий	0,6-1	1-2	2-3
Остекление из армированного стекла	1-2	2-3	3-6
Сооружения			
Тепловая электростанция	10-15	15-20	20-25
Распределительные устройства и вспомогательные сооружения электростанций	10-15	15-20	20-25
Здания фидерных и трансформаторных подстанций из кирпича или блоков	10-20	20-40	40-60
Галереи энергетических коммуникаций на металлических (железобетонных) эстакадах	10-15	15-20	20-25
Котельные, регуляторные станции и другие сооружения в кирпичных зданиях	7-15	15-25	25-35
Водонапорные башни	10-20	20-40	40-60
Металлические вышки	20		50-60
Открытые склады с железобетонными перекрытиями			200

1	2	3	4
Резервуары			
Наземные для ГСМ (пустые)	15-20	20-30	30-40
Наземные для ГСМ (заполненные)		70	
Частично заглубленные (пустые)	10-30	30-50	50-100
Подземные	30-50	50-100	100-200
Газгольдеры	15-20	20-30	30-40
Мосты и дороги			
Мост металлической конструкции с пролетом: 30-40 м	100-150	150-200	200-225
Мост мет. констр. с пролетом: 100 и более м	40	60	60-100
Мост железобетонный с пролетом 25 м	50-100	100-150	150-200
Мост деревянный	20-50	50-80	100
Шоссейная дорога с асфальтовым или бетонным покрытием	300	1000	3000
Взлетно-посадочная площадка аэродрома	400	1500	3000
Железнодорожные пути	100-200	200-300	300-500
Защитные сооружения			
Отдельно стоящие убежища, рассчитанные на 350 кПа	400-600	600-750	750
Отдельно стоящие убежища, рассчитанные на 100 кПа	100-150	150-200	200
Отдельно стоящие убежища, рассчитанные на 50 кПа	50-60	60-80	80-100
Подвальные, рассчитанные на 100 кПа	70-100	100-150	150
Подвальные, рассчитанные на 50 кПа	30-40	40-100	100
Подвал без усиления несущих конструкций	20-30	30-100	100
Деревоземляные ПРУ, рассчитанные на 30 кПа	30-50	50-80	80
Транспорт			
Тепловозы и электровозы	50-70	70-100	100-150
Железнодорожные вагоны и цистерны	20-40	40-60	60-90
Гусеничные тягачи и трактора	30-40	40-60	60
Грузовые автомобили и автоцистерны	20-40	40-50	50

1	2	3	4
Самолеты	9-10	10-15	15-25
Транспортные суда	30-60	60-80	80-100
Трубопроводы			
Наземные	20	50	130
Подземные стальные с диаметром > 350 мм	200-350	350-600	600-1000
Подземные стальные с диаметром < 350 мм	600-1000	1000-1500	1500-2000
Подземные чугунные, асбоцементные и керамические	200-600	600-1000	1000-2000
Подземные водо-, газо- и канализационные сети	400-600	600-1000	1000-1500
Трубопроводы на эстакаде	20-30	30-40	40-50
Смотровые колодцы и задвижки	200	300	1000
Линии электропередач			
Воздушные высоковольтные	20-40	50-70	80-120
Воздушные низковольтные	20-60	60-100	100-160
Подземные кабели	800	800-1000	1000-1500
Наземные кабели	10-30	30-50	70-100
Линии связи			
Стационарные воздушные	20-50	50-70	80-120
Шестовые воздушные	20-30	30-100	100
Антенные устройства	10-20	20-40	>40
Оборудование			
Крановое оборудование	20-30	30-50	50-70
Станочное оборудование	25-40	40-60	60-70
Токарно-карусельные и токарно-расточные станки	10-30	30-50	50-70
Продольно-фрезерные и строгальные станки	15-25	25-35	35-40
Рольганги и цепные транспортеры	20-30	30-50	50-70
Тяжелые станки и гидравлические прессы на 200т	-	120-150	-
Ленточные транспортеры	10-15	15-25	25-30
Пульты управления	5-10	10-20	20-30

Табл. 3.5.

Поражающее действие землетрясения

Объекты	Интенсивность землетрясения в баллах, характеризующая степень разрушения		
	слабое	среднее	сильное и полное
1	2	3	4
Здания и сооружения			
Промышленные с металлическим или железобетонным каркасом и крановым оборудованием грузоподъемностью 25-50т	6-7,5	7,5-9	9
Промышленные с металлическим или железобетонным каркасом и крановым оборудованием грузоподъемностью 60-100т	6-7,5	7,5-8	8-8,5
Промышленные с легким металлическим каркасом и бескаркасной конструкции	6-7,5	7,5-8	8-8,5
Многоэтажные с большой площадью остекления	6-7,5	7,5	9
Бетонные и железобетонные антисейсмической конструкции	6	6-7,5	7,5-9
Здания АЭС и ГЭС антисейсмической конструкции	7,5	7,5-9	9
Тепловые и атомные электростанции обычной конструкции	7-7,5	7,5-8	8-9
Многоэтажные кирпичные (3 и более этажей)	5-6	6-7,5	7,5
Многоэтажные кирпичные (каменные)	6-7	7-7,5	7,5-8
Остекление промышленных и жилых зданий	4	5	6
Остекление из армированного стекла	4	5	7,5
Наземные здания и сооружения с деревянным каркасом	5	6	6-7,5
Заглубленные здания и сооружения с деревянным каркасом (склады и т.п.)	7,5	7,5-8	9
Железобетонные и металлические наземные галереи ленточных конвейеров и эстакады	5-6	6-7	7-8
Деревянные наземные галереи ленточных конвейеров и эстакады	5-6	6-7	7-7,5

1	2	3	4
Подземные галереи ленточных конвейеров, подвалы и др. подземные помещения (без усиления)	7,5	9	9
Конструктивные элементы			
Окна: - остекление из обычного стекла	3	4	5
Окна: - из стеклоблоков	5-6	6-7	7-7,5
Переплеты: - деревянные	5	6	6-7
Переплеты: - трехслойные из легких материалов (дерева, пластмасс, металла и др.)	5	6-7	7-7,5
Внутренние стены и перегородки: - гипсо (железо) бетонные	6	7	7,5
Внутренние стены и перегородки деревянные	5	6	6-7
Штукатурка	4	5	6
Покрытия (кровля): - из ж/б панелей	7-7,5	7,5-8	8-8,5
Покрытия (кровля): - деревянные из легких трехслойных панелей	6-7	7-7,5	7,5
Покрытия (кровля): - из досок, асбоцементных, стальных и алюминиевых листов	5	6	7
Перекрытия (междуэтажные и чердачные) ж/б	6-7,5	7,5-8	8-8,5
Стены наружные: кирпичные, из бетонных и шлакобетонных блоков (несущие) многоэтажных бескаркасных зданий и сооружений (более 3 ^х этажей)	5-6	6-7	7-7,5
Стены наружные: кирпичные, из бетонных и шлакобетонных блоков (несущие) малоэтажных бескаркасных зданий и сооружений (менее 3 ^х этажей)	6-7	7-7,5	7,5-8
Двери и ворота деревянные	5-6	6-7	7-7,5
Каркас: - железобетонный или стальной: бескрановые здания и здания с мостовыми кранами: - грузоподъемностью до 10т	7-7,5	7,5-8	8-8,5
- грузоподъемностью до 30т	7,5-8	8-8,5	8,5-9
-деревянный	6-7	7	7-7,5
Железобетонные конструкции подвалов, подземных галерей, фундаментов	8-9	9-10	10-12

1	2	3	4
Сети коммунального хозяйства			
Подземные стальные трубопроводы на сварке - Ø350 мм	12	-	-
Подземные стальные трубопроводы на сварке - Ø >350 мм	10	11	12
Трубопроводы заглубленные до 0,7 м	9-10	11-12	-
Трубопроводы на металлических или железобетонных эстакадах	7,5	7,5-8	8-8,5
Смотровые колодцы и задвижки	9-11	11-12	-
Подземные сети (водопроводные, канализационные, тепловые в каналах)	9-11	12	-
Коллекторы из объемных бетонных блоков	7,5-8	8-8,5	8,5-9
Трубопроводы, проложенные на низких опорах	6-7,5	7,5-8	8-9
Электрические сети			
Кабельные подземные линии	12	-	-
Воздушные линии высокого напряжения	7-8	8-8,5	8,5-9
Воздушные линии низкого напряжения на деревянных опорах	7-8	8-8,5	8,5-9
Столбы линий связи и электропередач	6-7,5	7,5-8	8-9
Средства связи			
Радиорелейные линии и стационарные воздушные линии	7,5-8,5	8,5-9	9-10
Воздушные линии телефонно-телеграфной связи	7-8	8-8,5	8,5-9
Кабельные наземные линии	6-7,5	7,5-8,5	8,5-9
Радиомачты, мачты грозозащиты	6	6-7	7-8
Мосты, плотины			
Металлические мосты и путепроводы длиной до 45 м	9-10	10-12	-
Металлические мосты и путепроводы длиной до 100 м	8	8	9-11
Железобетонные мосты и трубопроводы с пролетом до 20 м	9	9-11	12
Бетонные плотины	12	-	-
Земляные плотины шириной 80-100 м	9-11	12	-
Земляные плотины шириной 10-20 м	9-12	-	-
Пирсы на деревянных сваях, плавучие причалы	-	8	-

1	2	3	4
Набережные стенки на деревянных сваях, пирсы на ж/б сваях	-	11	-
Набережные стенки на ж/б сваях	-	12	-
Мосты деревянные	6-7,5	7,5-8	8-9
Мосты каменные	-	-	8
Стапели, набережные ряжевые стенки, ряжевые пирсы	-	12	-
Сухие и плавучие доки	-	10	-
Средства транспорта			
Подвижной ж/д состав и энергопоезда	6-7,5	7,5-8	8-9
Тепловозы и электровозы	8,5	8,5-9	9-10
Грузовые автомобили и автоцистерны	7,5	7,5-8	-
Легковые автомобили	7	8	10

Табл. 3.6.

Поражающее действие урагана

Объекты	Скорость ветра, соответствующая степени разрушения, м/с		
	слабой	средней	сильной
Промышленные здания	25-30	30-50	50-70
Кирпичные малоэтажные здания	20-25	25-40	40-60
Трансформаторные подстанции закрытого типа	35-45	45-70	70-100
Наземные металлические резервуары	30-40	40-55	55-70
Газгольдеры	30-35	35-45	45-55
Ректификационные колонны	25-30	30-40	40-55
Подъемно-транспортное оборудование	35-40	40-50	50-60
Трубопроводы наземные	35-45	45-60	60-80
Воздушные линии низкого напряжения	25-30	30-45	45-60
Кабельные наземные линии связи	20-25	25-35	35-50

Табл. 3.7.

Поражающее действие волны прорыва

Объекты	Степень поражения					
	слабая		средняя		сильная	
	h _г ,м	v _м ,м/с	h _г ,м	v _м ,м/с	h _г ,м	v _м ,м/с
Кирпичные здания (4 и более эт.)	2,5	1,5	4	2,5	6	3
Кирпичные здания (1-2 этажа)	2	1	3	2	4	2,5
Промышленные здания с легким металлическим каркасом и бескаркасные	2	1,5	3,5	2	5	2,5
Промышленные здания с тяжелым металлическим каркасом или ж/б каркасом	3	1,5	6	3	8	4
Бетонные и ж/б здания	4,5	1,5	9	3	12	4
Деревянные дома (1-2 этажа)	1	1	2,5	1,5	3,5	2
Сборные деревянные дома	1	1	2,5	1,5	3	2

Широкое распространение нашли также методики расчёта, основанные на использовании эмпирических данных, полученных в ходе модельных и полигонных испытаний объектов. Одна из таких методик в качестве примера приводится ниже [7]. Методика предлагает для определения величины избыточного давления на фронте воздушной ударной волны, при котором наступают те или иные степени повреждения промышленных, административных и жилых зданий, использовать следующие эмпирические зависимости:

- для промышленных зданий

$$\Delta P_{\phi} = 14 K_n \prod_{i=1}^n K_i \quad [\text{кПа}], \quad (3.3)$$

- для административных и жилых зданий

$$\Delta P_{\phi} = 23 K_n \prod_{i=1}^n K_i \quad [\text{кПа}]. \quad (3.4)$$

В формулах (3.3) и (3.4) K_n – коэффициент, характеризующий степень разрушения здания, равный 1 – для полных разрушений; 0,87 – для сильных разрушений; 0,56 – для средних разрушений и 0,35 для слабых разрушений,

$$\prod_{i=1}^n K_i = K_k K_m K_v K_c K_{кр}$$

где K_k – коэффициент, учитывающий влияние типа конструкции на устойчивость здания и соответственно равный 1 – для бескаркасных конструкций, 2 – для каркасной конструкции, 3,5 – для монолитной конструкции из железобетона;

K_m – коэффициент, учитывающий влияние на устойчивость вида использованного строительного материала. Коэффициент K_m равен 1 – для дерева, 1,5 – для кирпича, 2 – для слабо армированного железобетона ($\mu < 0,3$) и 3 – для нормально армированного железобетона ($\mu > 0,3$), где μ коэффициент армирования железобетона

$$\mu = \frac{M_c}{M_c - M_b}, \quad M_c \text{ и } M_b - \text{масса стальной арматуры и бетона в}$$

строительном материале;

$$K_v = \frac{H_{зд} - 2}{3[1 + 0,43(H_{зд} - 5)]} - \text{коэффициент, учитывающий высоту}$$

здания, где $H_{зд}$ высота здания в метрах;

K_c – коэффициент, учитывающий сейсмостойкость конструкции здания. K_c равен 1 – для несейсмостойких конструкций, 1,5 – для сейсмостойких конструкций;

$K_{кр}$ – коэффициент, учитывающий грузоподъемность кранового оборудования промышленного здания.

$$K_{кр} = 1 + 4,65 \cdot 10^{-3} Q,$$

где Q – грузоподъемность крана в тоннах.

Пример.

Определить величины избыточного давления во фронте воздушной ударной волны, при которых промышленное здание получит различные степени разрушения. Здание каркасной конструкции, несейсмостойкое, стены кирпичные, высота здания 10 м, грузоподъемность мостового крана $Q = 5$ т.

Решение.

Пользуясь исходными данными, определяем величины коэффициентов и величину избыточного давления для различных степеней разрушения здания:

- для полных разрушений:

$$K_n = 1; K_k = 2; K_m = 1,5; K_v = \frac{10 - 2}{3[1 + 0,43(10 - 5)]} = 0,846; K_c = 1;$$

$$K_{кр} = 1 + 4,65 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 1,023$$

$$\Delta P_\phi = 14 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 0,846 \cdot 1 \cdot 1,023 = 36,4 \text{ кПа}$$

- для сильных разрушений

$$K_n=0,87; \Delta P_\phi=14 \cdot 0,87 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 0,846 \cdot 1 \cdot 1,023=31,6 \text{ кПа}$$

- для средних разрушений

$$K_n=0,56 \Delta P_\phi=36,4 \cdot 0,56=20,4 \text{ кПа}$$

- для слабых разрушений

$$K_n=0,35 \Delta P_\phi=36,4 \cdot 0,35=12,7 \text{ кПа}$$

Для объектов, имеющих небольшие размеры и быстро обтекаемых ударной волной основная нагрузка так же, как и при ураганах, создается скоростным напором. Действие скоростного напора может привести к смещению объектов относительно основания, их отбрасыванию, опрокидыванию или ударной перегрузке. При смещении объектов, например станков, будет иметь место обрыв кабелей, трубопроводов, повреждение кожухов, измерительных приборов, нарушение горизонтальности, центровки и других параметров, что в целом соответствует по своему характеру слабым и средним повреждениям. При отбрасывании объекта, что происходит при значительном превышении действующей силой F силы трения $F_{тр}$, он будет подвергаться ударам. При этом возможны сильные повреждения, а иногда и полное разрушение объекта, в результате деформации опорных устройств, появление в них трещин, деформирования и заклинивания движущихся частей и т.п. Те же последствия характерны и при опрокидывании объектов. Величина действующей при этом нагрузки на объект равна:

$$F = \Delta P_{ск} \cdot S, \quad (3.5)$$

где
$$\Delta P_{ск} = \frac{\rho_\phi V_\phi^2}{2} C_x, \quad (3.6)$$

S и C_x – соответственно площадь лобовой поверхности (миделя) и коэффициент аэродинамического сопротивления объекта.

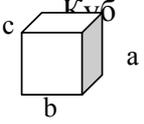
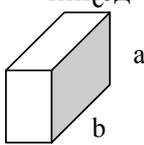
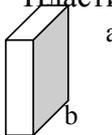
Значения C_x для тел различной формы приводятся в справочниках. Для некоторых из них они приведены в таблице 3.8. Для тел, имеющих сложную форму, могут быть приблизительно рассчитаны по формуле:

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n C_{xi} \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i},$$

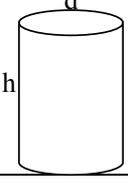
где C_{xi} и S_i – соответственно коэффициент аэродинамического сопротивления и площадь миделя i -й части сложного тела.

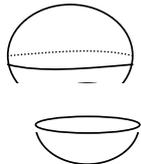
Табл. 3.8.

**Коэффициенты аэродинамического сопротивления C_x для тел
различной формы при $\Delta P_{\phi} < 50 \text{ кПа}$**

Геометрическая форма тела	Графическое изображение	Соотношение сторон	C_x	Направление движения ударной волны
Куб		$a=b=c$	1,6	Перпендикулярно грани
Параллелепипед		$b=c=0,36a$	1,3	Перпендикулярно грани ab
		$a=c=0,06b$	1,2	Перпендикулярно грани ab
		$a=b=0,33c$	0,85	Перпендикулярно грани ab
		$a=b=0,33c$	1,3	Перпендикулярно грани ac
Пластина		$a=b$	1,45	Перпендикулярно пластине
		$a=0,06b$	1,25	Перпендикулярно пластине



Диск			1,6	Перпендикулярно диску
		$\frac{h}{d}=1$	0,4	Перпендикулярно оси цилиндра
		$\frac{h}{d}=9$	0,46	Перпендикулярно оси цилиндра
		$d=0,36h$	0,73	Перпендикулярно оси цилиндра



Сфера			0,25	
-------	--	--	------	--

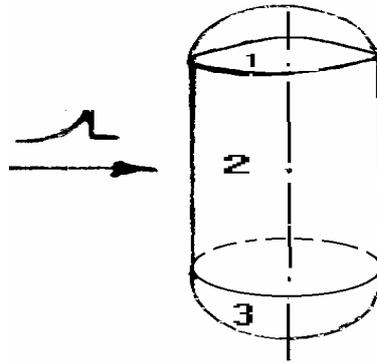
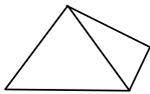


Рис.3.4 а Сложное тело

Полусфера			0,3	Параллельно плоскости основания
Пирамида			1,1	Параллельно основанию

Пример.

Тело состоящие из цилиндра и двух полусфер, показанное на рис 3.4а, обтекается ударной волной в направлении перпендикулярном его оси. Определить коэффициент аэродинамического сопротивления тела, если диаметр цилиндра $d=1$ м, высота $h=9$ м.

Решение.

Определяем площадь миделя тел 1, 2 и 3.

$$S_1=S_3=\pi d^2/8=3,14 \cdot 1^2/8=0,3925 \text{ м}^2, S_2=d \cdot h=1 \cdot 9=9 \text{ м}^2.$$

$$\sum_{i=1}^n S_i = S_1 + S_2 + S_3 = 0,3925 + 9 + 0,3925 = 9,785 \text{ м}^2 .$$

Находим коэффициент аэродинамического сопротивления тела:

$$C_{xT} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{xi} S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} = \frac{0,3 \cdot 0,3925 + 0,46 \cdot 9 + 0,3 \cdot 0,3925}{9,785} = 0,447$$

Для ударной волны избыточное давление скоростного напора может быть приблизительно также определено через избыточное давление на фронте ударной волны с помощью зависимости:

$$\Delta P_{ck} \cong \frac{2,5 \Delta P_{\phi}}{\Delta P_{\phi} + 7 P_0} . \quad (3.7)$$

Схема нагружения объекта и действующие силы показаны на рис 3.46.

Условие смещения незакрепленного объекта:

$$F > F_{mp}; \Delta P_{ck} C_x S > fmg, \quad (3.8)$$

Где m – масса объекта, g – ускорение свободного падения, F_{mp} - сила трения, f – коэффициент силы трения. Значения f приведены в таблице 3.9.

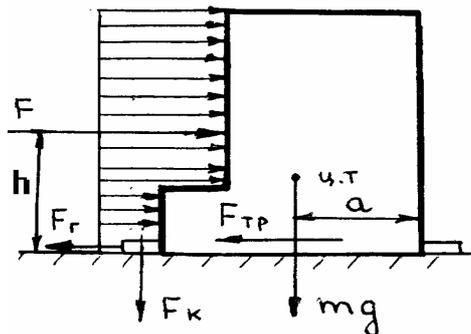


Рис 3.46. Схема нагружения объекта ударной волной и скоростным напором

Из выражения (3.8) может быть найдена величина избыточного давления скоростного напора, при превышении которого произойдет

смещение объекта.

$$\Delta P_{ck} \geq \frac{fmg}{C_x S} \quad (3.9)$$

Зная ΔP_{ck} , нетрудно, пользуясь выражениями (3.7) и (3.6), определить величину избыточного давления на фронте ударной волны и скорость воздушного потока, при котором возможно смещение объекта.

$$\Delta P_{\phi} \geq 0,2 \Delta P_{ck} + 0,4 \sqrt{\left(\frac{\Delta P_{ck}}{2}\right)^2 + 17,5 \cdot \Delta P_{ck} \cdot P_0}, \quad (3.10)$$

$$V_{\phi} \geq \sqrt{\frac{2 \Delta P_{ck}}{\rho_{\phi}}}, \quad (3.11)$$

Для закрепленных объектов смещение будет иметь место при выполнении условия $F > F_{TP} + F_r$, где F_r – горизонтальная составляющая силы крепления объекта, определяемая как суммарное усилие болтов, работающих на срез.

Условие опрокидывания незакрепленного объекта:

$$Fh \geq mga; \Delta P_{ck} C_x Sh \geq mga, \quad (3.12)$$

где h – высота приложения силы F , определяемая при простой форме площади миделя S как расстояние от ее центра тяжести до опорной поверхности объекта, a – плечо момента массы объекта. При сложной форме площади миделя она разбивается на простые площади S_i с соответствующими высотами h_i своих центров тяжести и находится по

формуле: $h = \frac{\sum_{i=1}^n h_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$.

Табл. 3.9.

Коэффициенты трения между поверхностями различных материалов

Наименование трущихся материалов	Коэффициент трения
Коэффициенты трения скольжения	
Сталь по стали	0,15
Сталь по чугуну	0,3
Металл по линолеуму	0,2 ... 0,4
Чугун по бетону	0,35
Металл по дереву	0,6
Металл по бетону	0,2 ... 0,5
Резина по твердому грунту	0,4 ... 0,6
Резина по линолеуму	0,4 ... 0,6
Резина по дереву	0,5 ... 0,8
Резина по чугуну	0,8
Дерево по дереву	0,4 ... 0,6
Кожа по чугуну	0,3 ... 0,5
Кожа по дереву	0,4 ... 0,6
Коэффициенты трения качения стального колеса по:	
Рельсу	0,05
Кафельной плитке	0,1
Линолеуму	0,15 ... 0,2
Дереву	0,12 ... 0,15

Аналогично предыдущему из зависимости (3.12) может быть определена величина избыточного давления скоростного напора, а из зависимостей (3.6) и (3.7) скорость воздушного потока и избыточное давление на фронте ударной волны, при которых произойдет опрокидывание объекта:

$$\Delta P_{ck} \geq \frac{mga}{c_x Sh} \quad (3.13)$$

Опрокидывание закрепленного объекта будет иметь место при выполнении условия:

$$Fh \geq mga + F_k 2a, \quad (3.14)$$

где F_k – реакция крепления объекта, определяемая как суммарное усилие болтов, работающих на разрыв.

Ударная перегрузка (инерционное разрушение) типична для оборудования, имеющего чувствительные к ударным ускорениям элементы, – измерительных приборов, компьютеров и т.п. В этом случае при нагружении объекта ударной волной на него действует сила

$$F_{лоб} \cong (\Delta P_\phi + \Delta P_{ck})S. \quad (3.15)$$

Учитывая, что сила инерции равна сумме действующих на объект сил и реакций связи (для незакрепленного объекта силы трения), можно написать

$$ma = F_{лоб} - F_{Tp}, \text{ а с учетом, что } F_{Tp} \ll F_{лоб}, \\ a = F_{лоб} / m.$$

Сравнивая полученную величину ускорения с допустимой для данного объекта и используя ранее приведенные зависимости (3.6) и (3.7), можно найти значения ΔP_{ck} и ΔP_ϕ , при которых объект получит инерционное разрушение. Допустимые перегрузки $n_g = \frac{a_g}{g}$ указываются в технических условиях для каждого конкретного объекта. Инерционные перегрузки, как правило, связаны с сильными повреждениями объекта.

Пример 1.

Определить при какой величине избыточного давления ΔP_ϕ произойдет смещение незакрепленного токарного станка относительно бетонного фундамента и получение им средних повреждений. Длина станка $l=3000$ мм, ширина $b=1000$ мм, высота $H=1000$ мм, масса 500 кг.

Решение.

Коэффициент трения чугуна по бетону $f=0,35$ (см. табл. 3.9). Предполагаем, что ударная волна падает перпендикулярно длинной стороне станка. Тогда площадь мишени $S=l \cdot H=3,0 \cdot 1,0=3,0$ м², коэффициент аэродинамического сопротивления $C_x=1,3$, поскольку станок может быть аппроксимирован параллелепипедом (см. табл 3.8).

Давление скоростного напора, приводящее к смещению станка

$$\Delta P_{ск} \geq \frac{fmg}{C_x S} = \frac{0,35 \cdot 500 \cdot 9,81}{1,3 \cdot 3,0} = 0,44 \text{ кПа}$$

Избыточное давление на фронте ударной волны

$$\Delta P_{\phi} \geq 0,2\Delta P_{ск} + 0,4\sqrt{\left(\frac{\Delta P_{ск}}{2}\right)^2 + 17,5\Delta P_{ск}P_0} = 0,2 \cdot 0,44 + 0,4\sqrt{\left(\frac{0,44}{2}\right)^2 + 17,5 \cdot 0,44 \cdot 101} = 11,2 \text{ кПа}$$

Пример 2.

Определить при каком значении избыточного давления ΔP_{ϕ} произойдет опрокидывание станка, приведенного в предыдущем примере, и получение им сильных повреждений.

Решение. Высота приложения силы $h=H/2=0,5$ м. Площадь миделя $S=1 \cdot H=3,0$. плечо силы тяжести $a=b/2=0,5$ м.

Давление скоростного напора, при котором возможно опрокидывание станка

$$\Delta P_{ск} = \frac{mga}{C_x Sh} = \frac{500 \cdot 9,81 \cdot 0,5}{1,3 \cdot 3,0 \cdot 0,5} = 1,3 \text{ кПа}$$

Избыточное давление на фронте ударной волны

$$\Delta P_{\phi} \geq 0,2 \cdot 1,3 + 0,4\sqrt{\left(\frac{1,3}{2}\right)^2 + 17,5 \cdot 1,3 \cdot 101} \cong 19,2 \text{ кПа}$$

Пример 3.

Определить величину избыточного давления, при которой прибор получит инерционное повреждение. Габариты прибора: длина $l=0,5$ м, ширина $a=0,25$ м, высота $H=0,2$ м. Масса прибора 20 кг. Допустимое ускорение при ударе $a_g=50$ м/с².

Решение. Лобовая сила, не приводящая к ударной перегрузке $F_{лоб}=ma_g=20 \cdot 50=1000$ н.

Лобовое давление, при превышении которого прибор получит инерционное повреждение

$$\Delta P_{лоб} = \frac{F_{лоб}}{S} = \frac{F_{лоб}}{lH} = \frac{1000}{0,5 \cdot 0,2} = 10 \text{ кПа}$$

Из выражения $\Delta P_{лоб} = \Delta P_{\phi} + \Delta P_{ск} = \Delta P_{\phi} + \frac{2,5\Delta P_{\phi}^2}{\Delta P_{\phi} + 7P_0}$, определяем

величину избыточного давления

$$\Delta P_{\phi} = \frac{-(7P_0 - \Delta P_{лоб}) + \sqrt{(7P_0 - \Delta P_{лоб})^2 + 4 \cdot 3,5 \cdot \Delta P_{лоб} \cdot P_0}}{7} =$$

$$= \frac{-(7 \cdot 101 - 10) + \sqrt{697^2 + 4 \cdot 3,5 \cdot 7 \cdot 10 \cdot 101}}{7} \cong 9,7 \text{ кПа}.$$

Таким образом, при превышении $\Delta P_{\phi}=9,7$ кПа прибор получит сильное повреждение.

При действии механических поражающих факторов поражаются не только люди и основные производственные фонды (ОФП), но и оборотные средства, без которых производство невозможно. Оборотные средства

разнообразны. К ним относятся готовая продукция, полуфабрикаты, комплектующие, сырье, материалы и т.д. В результате действия поражающих факторов оборотные средства так же, как и ОФП, могут получать различные степени повреждения или утрачиваться. Последствия действия оцениваются в соответствии с изложенным выше. Количественной характеристикой последствий действия на оборотные средства поражающих факторов для ОЭ являются пределы его устойчивости по оборотным средствам. В качестве таких пределов можно рассматривать минимальные количества j -х оборотных средств, при которых возможно продолжение производства в течении заданного времени. Условие устойчивости при этом записывается в виде $N_{об j min} \leq (N_{об j} - N_{об j y})$, где $N_{об j min}$ – предел устойчивости ОЭ по j -м оборотным средствам; $N_{об j y}$ – утраченное при ЧС количество j -х оборотных средств; $N_{об j}$ – нормативное количество i -х оборотных средств.

Условие устойчивости ОЭ по i -му поражающему фактору может быть записано в виде: $\Pi_i^n > \Pi_i$, где Π_i^n - предел устойчивости ОЭ по i -му поражающему фактору; Π_i - возможная величина нагрузки, создаваемая i -м поражающим фактором.

3.2.4. Оценка устойчивости ОЭ к потерям

3.2.4.1. Оценка устойчивости ОЭ к возникновению пожаров

Пожар – сложное, многогранное явление и поэтому оценка устойчивости ОЭ к пожарам носит многокритериальный характер, требует наличия обширной, полной и достоверной информации об объекте. Оценка устойчивости ОЭ к пожарам включает оценку его устойчивости к возникновению пожара и оценку устойчивости при пожаре.

Устойчивость ОЭ к возникновению пожара определяется устойчивостью к действию источников зажигания и противопожарным состоянием объекта.

Устойчивость к действию источников зажигания зависит от наличия потенциальных источников зажигания, их энергетических возможностей, горючей среды и ее расположения относительно источников зажигания.

Потенциальными источниками зажигания на ОЭ являются искровые разряды, в том числе молнии и их вторичные проявления в результате индукционного, электромагнитного воздействия и заноса высокого потенциала; токи короткого замыкания; электрические искры; искры из труб котельных, транспортных средств; нагретые тела; факелы пламени при горении материалов, технологических установок, сооружений; в военное время обычное и зажигательное оружие, а при применении ядерного оружия световое излучение ядерного взрыва. Основными параметрами источников зажигания, характеризующими их

пожароопасные свойства, являются плотность (интенсивность) теплового потока и время существования.

При оценке энергетических возможностей светового излучения обычно используют комплексную характеристику – световой импульс, представляющий собой произведение интенсивности излучения на время существования светящейся области (огненного шара):

$$U = J * t_c, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2}, \text{ где } t_c = \sqrt[3]{q}, \text{ с}; \quad (3.16)$$

q – тротиловый эквивалент взрыва, кг.

Величина светового импульса на расстоянии r от места взрыва определяется по формуле:

$$U = \frac{116,7}{r^2} q \delta e^{-kr}, \quad (3.17)$$

где δ - коэффициент, характеризующий вид взрыва и принимаемый равным 1 при воздушном взрыве и 0.5 при наземном взрыве;

$k \approx \frac{4}{D}$, (км^{-1}) – усредненный коэффициент поглощения излучения атмосферой; D – дальность видимости, км.

Основу зажигательного оружия составляют зажигательные вещества и смеси, способные воспламениться и устойчиво гореть с выделением большого количества тепловой энергии. Зажигательные вещества и смеси могут гореть в присутствии кислорода воздуха (напалм, белый фосфор) и без доступа воздуха (термит и термитные составы). Их зажигающий эффект связан с передачей большого количества тепла горючему веществу, с которым они находятся в процессе горения в контакте, и тепловым облучением от образующегося факела пламени, не контактирующих с ними веществ. Количество выделяющегося при сгорании зажигательных веществ и смесей тепла может быть определено по формуле:

$$Q = Q_v * m, \text{ Дж},$$

Где Q_v – теплота сгорания зажигательного вещества, Дж/кг;

m – масса сгоревшего зажигательного вещества, кг.

Время горения металлизированных зажигательных смесей (пирогелей) составляет порядка (1...3) минут. В табл. 3.10 приведены температуры, которые развиваются при горении некоторых зажигательных смесей и веществ [39].

Табл. 3.10.

Температуры горения некоторых зажигательных веществ и смесей

Зажигательные вещества и смеси	Температура горения, °С
Напалмы (студнеобразные вещества из жидкого углеводородного горючего и загустителя)	1000...1200

Пирогели (металлизированные зажигательные смеси)	1600...2000
Самовоспламеняющаяся зажигательная смесь (загущенный полиизобутеленом триэтилалюминий с добавкой натрия, калия, магния или фосфора.	1100...1300
Термит (смесь порошкообразных окислов железа с гранулированным алюминием)	≈ 3000
Белый фосфор	≈ 1000
Электрон (сплав 96% магния, 3% алюминия и 1% других элементов)	≈2800

Источники зажигания в виде факела пламени кроме непосредственного контакта с горючей средой так же, как и световое излучение ядерного взрыва, действуют на нее, излучая тепловой поток.

Плотность теплового потока зависит от температуры факела, его характерных размеров, удаления от факела и теплофизических свойств среды, в которой распространяется излучение. Температура факелов пламени некоторых горючих веществ и теплотворных процессов приведена в табл. 3.11, заимствованной из работы [30].

Табл. 3.11.

Температура пламени некоторых горючих веществ и теплотворных процессов

Горючее вещество	Температура пламени (тления или нагрева), °С	Время горения, мин.
Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости	880	-
Древесина и пиломатериалы	1000	-
Природные и сжиженные газы	1200	-
Газовая сварка металла	3150	-
Газовая резка металла	1350	-
Тлеющая сигарета	420...460	26...30
Тлеющая спичка	620...640	0,33

Время излучения определяется временем существования факела и зависит от физико-химических свойств горящего вещества, его количества, условий горения и принятия мер по прекращению существования факела. При свободном горении время излучения равно:

$$\tau_{\text{изл}} = \frac{M}{V_m * F}, \text{ с}, \quad (3.18)$$

где M – масса горящего вещества, кг;

V_m – скорость выгорания горящего вещества, кг/(м²с);

F – площадь горения, м.

Теплообмен излучением в замкнутой системе (такой системой может быть, например, помещение), состоящей из источника зажигания (факела пламени) и облучаемой поверхности (горючей среды) произвольной формы, произвольно расположенными в пространстве при постоянстве лучистых потоков во времени и отсутствии поглощения излучения средой между ними описывается уравнением теплообмена, в соответствии с которым интенсивность облучения поверхности (среды) равна

$$J = 5,7 \varepsilon_{np} \left[\left(\frac{T_{\phi}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{св}}{100} \right)^4 \right] \cdot \varphi_{сф}, \frac{Вт}{м^2}, \quad (3.19)$$

где 5,7 – коэффициент излучения абсолютно черного тела Вт/(м²К⁴),

$\varepsilon_{np} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{E_{\phi}} - 1 \right) \varphi_{\phi.с.} + \left(\frac{1}{E_c} - 1 \right) \varphi_{с.ф.}}$ – приведенная степень черноты

системы факел пламени – горючая среда;

ε_{ϕ} , ε_c – степень черноты факела и среды: при горении дерева $\varepsilon_{\phi}=0,7$, нефтепродуктов $\varepsilon_{\phi}=0,85$. Значения ε_c приводятся в справочниках и другой литературе по теплотехнике и теплопередаче [10, 14, 24, 25 37 и др.].

$\varphi_{\phi.с.}$, $\varphi_{с.ф.}$ – средние по поверхности коэффициенты облученности факела на среду и среды на факел;

T_{ϕ} , $T_{св}$ – температуры факела и самовоспламенения среды, °К.

В условиях открытых систем для определения интенсивности облучения горючей среды чаще всего используют эмпирическую зависимость:

$$J = \varepsilon_c \chi q_w \left(\frac{r}{D} \right)^{-2}, \frac{Вт}{м^2}, \quad (3.20)$$

где χ – коэффициент, характеризующий источник излучения. При объемном источнике $\chi=0.08$, плоском – 0.02;

$q_w = Q_v V_m$ – удельная теплота источника излучения, Вт/м²;

ε_c – коэффициент поглощения излучения средой (воздухом), $\varepsilon_c = e^{-kr}$ (для расстояний r , имеющих практическое значение, $\varepsilon_c \approx 1$).

Q_v – теплота сгорания горючего материала, Дж/кг. Теплота сгорания и скорость выгорания некоторых горючих материалов приведены в табл. 3.12.;

Д – характерный размер источника излучения (факела пламени). Определяется как корень квадратный из площади излучаемой поверхности источника $D = \sqrt{F}$, где $F = ab$, если факел пламени может быть аппроксимирован цилиндром и $F = \frac{1}{2} ab$, если он может быть аппроксимирован конусом; а и b соответственно горизонтальный и вертикальный размеры факела, м. При горении дома размер «а» принимается равным длине дома, «в» - высоте дома от поверхности земли до конька крыши. Штабеля пиленого леса – «а» - длине штабеля, «в» - $(2 \dots 2,5) H_{ш}$, где $H_{ш}$ – высота штабеля [33]. Горючей жидкости, разлитой по поверхности земли или воды – «а» - диаметру пятна жидкости, «в» - $(1,75 \dots 2,5)a$ [34]. Во всех случаях излучающая поверхность, обращенная к облучаемому объекту, рассматривается как прямоугольник. При горении нефтепродуктов в резервуарах со свободной поверхностью размер «а» принимается равным диаметру резервуара, «в» - $1,5 \cdot a$ при горении легковоспламеняющихся нефтепродуктов и «а» при горении горючих жидкостей. Излучающая поверхность представляется равнобедренным треугольником [34].

Действие искровых разрядов проявляется в контакте горючей среды с каналом разряда. Температура в канале молнии достигает $20000 \text{ }^\circ\text{C}$, а время ее действия составляет около 100 мкс. Диаметр главного канала молнии может быть от 10 до 25 см. В общем случае длительность искрового разряда изменяется в широких пределах от 10^{-6} до 10^{-5} с. Энергия искрового разряда, возникающего в результате индукционного и электромагнитного воздействия атмосферного электричества, на производственное оборудование, может достигать 250 мДж и более, при заносе высокого потенциала 100 Дж и более. При увеличении мощности источника искровой разряд переходит в дуговой. При дуговых разрядах температура газа в канале дуги достигает $5000 \dots 6000 \text{ }^\circ\text{C}$.

Электрические искры, образующиеся при коротком замыкании электропроводки, электросварке, плавлении электродов ламп накаливания, представляют собой капли расплавленного металла. Размер капель при коротком замыкании и плавлении нитей накаливания ламп достигает 3 мм, а при электросварке 5 мм. Температура капель зависит от вида металла и равна температуре его плавления. Методика расчета количества теплоты, которое источники зажигания способны отдать горючей среде, приведена в работе [30].

В соответствии с методикой количество теплоты, отдаваемое каплей горючему веществу, вычисляется по формуле:

$$Q = V_k \rho_k c_t (t_k - t_{ce}), \text{ Дж}, \quad (3.21)$$

где $V_k = \frac{\pi \cdot d_k^3}{6} = 0,524 d_k^3$ - объем капли, м^3 ; d_k – диаметр капли, м; ρ_k – плотность металла, $\text{кг}/\text{м}^3$; c_t – удельная теплоемкость металла при

температуре $0,5(t_k+t_{ce})$, Дж/(кг·°C); t_{ce} – температура воспламенения горючей среды, °C;

$$t_k = \frac{Q_k}{m_k c_{II}}, \text{ температура капли в конце полета, } ^\circ\text{C};$$

C_n – удельная теплоемкость металла капли при температуре $0,5(t_k+t_n)$, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$;

t_n – температура плавления металла, °C;

$m_k = V_k \rho_k$ – масса капли, кг;

$Q_k = Q_n - (Q_{кр} + Q_{охл})$ – тепловой запас капли в конце полета, Дж;

$Q_n = m_k \cdot c_n \cdot t_n$ – количество теплоты в начале полета капли, Дж;

$Q_{кр} = m_k \cdot c_{кр}$ – количество теплоты, затраченное на кристаллизацию капли металла, Дж;

$Q_{охл} = \alpha \cdot S_k \cdot \tau_n \cdot (t_n - t_k^1)$ – количество теплоты, затраченное на нагрев воздуха при полете капли, Дж;

C_{in} – удельная теплоемкость металла при температуре t_n , Дж/(кг·°C);

$C_{кр}$ – удельная теплота кристаллизации металла капли, Дж/кг;

$S_k = \pi d_k^2$ – площадь поверхности капли, м²;

τ_n – время полета капли до соприкосновения с горючим веществом, с;

$t'_k = 800$ °C – первоначально принимаемая температура капли в конце полета;

$$\alpha = \frac{Nu \lambda_g}{d_k} - \text{коэффициент теплоотдачи капли, Вт/(м}^2\text{К)};$$

$\lambda_g = 22 \cdot 10^{-3}$ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К);

$Nu = 0,62 \cdot Re^{0,5}$ – критерий Нуссельта;

$Re = \frac{w_k d_k}{\nu}$ – число Рейнольдса;

$w_k = 0,5 \sqrt{2gH}$ – средняя скорость полета капли при свободном падении, м/с; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения;

H – высота падения, м;

$\nu = 15,1 \cdot 10^{-6}$ – коэффициент кинематической вязкости воздуха при температуре 20°C, м²/с;

Если температура капли t_k отличается от первоначально принятой $t'_k = 800$ °C на 5% и более, расчет $Q_{охл}$, Q_n и t_k повторяют, задавшись новым значением t_k .

Время передачи тепла горючему веществу определяется временем остывания капли и может быть найдено из соотношения:

$$\tau = \frac{1}{m} \ln\left(\frac{v'}{v''}\right), \text{ с,} \quad (3.22)$$

где m – коэффициент, характеризующий темп остывания, c^{-1} .
 Определяется экспериментально с использованием зависимости

$$m = \frac{\ln v_1 - \ln v_2}{\tau_2 - \tau_1}$$

по результатам двух измерений превышения температуры капли v_1 и v_2 над температурой окружающей среды, соответствующих моментам времени τ_1 и τ_2 , или рассчитываемый по формуле:

$$m = \psi \frac{\alpha F}{c_v},$$

где $\psi = \frac{v_F}{v_v} = 0..1$ – коэффициент, определяемый отношением средней

по поверхности F капли избыточной температуры v_F к средней по ее объему V температуры v_v ;

$$\alpha = \frac{Q}{(t_n - t)F\tau}$$

– коэффициент теплоотдачи, Вт/(m^2 град);
 Q – количество тепла, отдаваемое поверхностью F при изменении ее температуры от t_n до t в течение времени τ ;

c_v – объемная теплоемкость металла капли, Дж/(m^3 град);

v' и v'' – превышение температуры капли над температурой горючей среды в начале и в конце остывания.

При определенных условиях источниками зажигания могут стать искры статического электричества, энергия которых может быть определена по формуле:

$$Q_u = 0,5 \cdot C \cdot u^2, \text{ Дж}; \quad (3.23)$$

где C – емкость системы заряженное тело-земля, Ф;

u – напряжение между заряженным телом и землей, в.

Разность потенциалов u измеряют электрометрами в реальных условиях производства.

Большую опасность как источник зажигания представляет «контактная» электризация людей, работающих с движущимися диэлектрическими материалами. При соприкосновении человека с заземленным предметом могут возникать искры с энергией от 2,5 до 7,5 мДж. Зависимость энергии электрического разряда с тела человека и от потенциала зарядов статического электричества показана на рис. 3.5. [30].

Искры могут возникать от удара и трения. Размеры искр от удара и трения, представляющие собой раскаленную до свечения частичку металла или камня, обычно не превышают 0,5 мм. Температура их находится в пределах температуры плавления металла. Температура искр, образующихся при соударении металлов, способных вступать в химическое взаимодействие друг с другом с выделением значительного количества тепла, может превышать температуру плавления и поэтому определяется экспериментально или расчетным путем.

Количество теплоты, отдаваемое искрой, имеющей температуру t_n , горючей среде при температуре самовозгорания (самовоспламенения) горючей среды $t_{св}$, вычисляется по формуле (3.21), а время остывания по формуле:

$$\tau = \frac{F_0}{\lambda_n} \cdot d_u^2 \cdot \rho_u \cdot c_u, \quad (3.24)$$

где F_0 - критерий Фурье, определяемый как функция критерия Био и отношения температур $\Theta_{II} = \frac{t_n - t_{св}}{t_n - t_a}$, где t_a - температура воздуха, °С;

d_u - диаметр искры, м;

ρ_u - плотность металла искры при температуре $t_{св}$, кг/м³;

c_u - теплоемкость металла искры при температуре $t_{св}$, Дж/(кг·°К).

Критерий Био вычисляют по формуле:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot d_u}{\lambda_u},$$

где α - коэффициент теплоотдачи, вычисляемый в данном случае по формуле $\alpha = 188 \sqrt{W_u}$; Вт/(м²·°К);

$W_u = \sqrt{2gH}$, м/с - скорость полета искры, образующейся при ударе свободно падающего тела. При ударе о вращающееся тело ее вычисляют по формуле $W_u = 2\pi nR$, где n - частота вращения тела, с⁻¹, а R - его радиус, м. При работе с ударным инструментом W_u принимают равной 16 м/с, а высекаемой обувью с металлическими набойками или гвоздями - 12 м/с;

λ_n - коэффициент теплопроводности металла искры при температуре $t_{св}$, Вт/(м²·°К).



Рис. 3.5. Зависимость энергии электрического разряда от потенциала зарядов статического электричества.

Зависимость $F_0=f(Bi, \Theta_{II})$ приведена на рис. 3.6. На графике r - расстояние от оси тела, генерирующего искру, R – радиус тела.

Пожарная опасность искр котельных, транспортных средств и т.п. в значительной мере определяется их размером и температурой. Искры пожароопасны при диаметре 2мм и температуре около 1000°C , диаметре 3 мм и температуре 800°C , диаметре 5 мм и температуре 600°C . Количество теплоты, имеющееся в искре в начале, вычисляют по формуле:

$$Q_u = m_u \cdot C_{t_u} \cdot t_u, \text{ Дж}, \quad (3.25)$$

где m_u – масса искры, кг;

C_{t_u} – удельная теплоемкость материала искры при температуре, соответствующей по пожароопасности ее диаметру t_u , Дж/(кг·°К);

t_u - температура искры, °К.

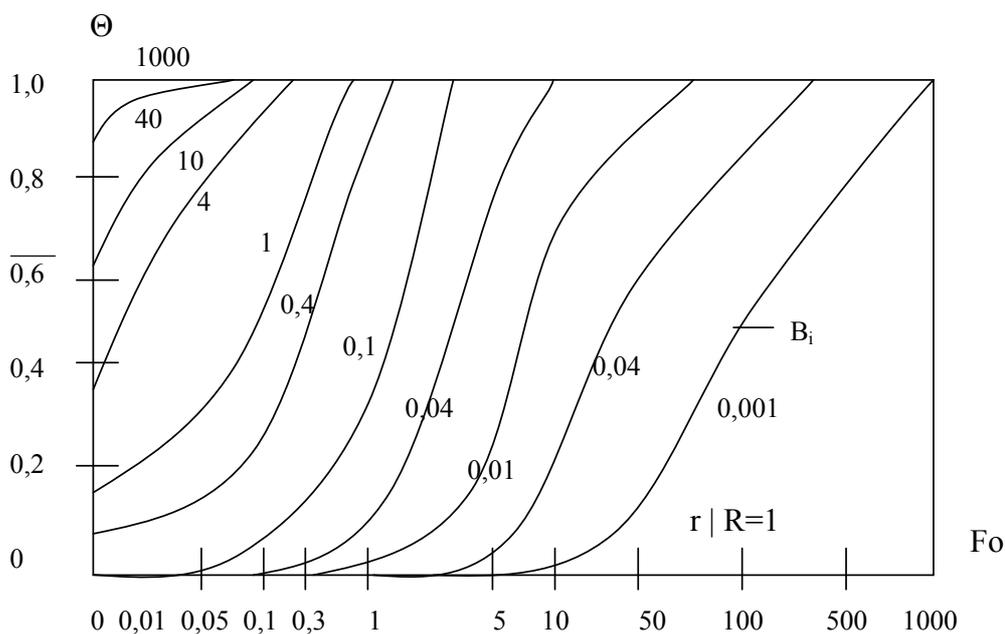


Рис. 3.6. Зависимость критерия Фурье от критерия Био и отношение температур Θ

Для определения времени остывания искры (частицы металла) используется зависимость (3.24.) При расчете диаметр искры принимают равным 3 мм, а скорость ее полета вычисляют по формуле:

$$W_u = \sqrt{0,5 W_g^2 + 5H}, \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad (3.26)$$

где W_g – скорость ветра, м/с;

H – высота трубы, м.

Источником зажигания может стать провод, нагреваемый током короткого замыкания или током при перегрузке сети. Количество теплоты, которое при этом будет передано горючей среде, может быть вычислено с использованием зависимостей (3.21) и (3.22). При этом температура проводника, нагреваемого током короткого замыкания, вычисляется по формуле:

$$t_{np} = t_n + \frac{I_{кз}^2 R \cdot \tau_{кз}}{c_{np} m_{np}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3.27)$$

где t_n и c_{np} – начальная температура ($^\circ\text{C}$) и теплоемкость (Дж/(кг \cdot °К)) проводника;

$I_{кз}$ – ток короткого замыкания, А;

R – сопротивление проводника, Ом;

$\tau_{кз}$ – время короткого замыкания, с

m_{np} – масса проводника, кг.

Если температура проводника и время короткого замыкания превышают температуру самовоспламенения $t_{св}$ и время, необходимое для нагрева горючей среды до температуры $0,8t_{св}$, проводник является реальным источником зажигания этой горючей среды.

Температуру нагрева электропровода при перегрузке вычисляют по формуле

$$t_{np} = t_{cp} + \left(\frac{I_{\phi}}{I_6} \right)^2 (t_n + t_{cp}), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.28)$$

где t_{cp} и t_n – температура среды и нормативная температура провода, $^\circ\text{C}$;

I_{ϕ} и I_6 – фактический и допустимый ток провода, А.

Лампы накаливания как источники зажигания представляют опасность при их разрушении с образованием искр и длительном контакте с горючей средой. Для расчёта передаваемой горючей среде энергии и времени её передачи лампами и другими нагретыми телами могут быть использованы формулы (3.21) и (3.22).

Температура нагрева колбы электрической лампы накаливания зависит от её мощности, размеров и расположения в пространстве. Зависимости максимальной температуры на колбе горизонтально расположенной лампы от её мощности и времени приведены на рис. 3.7.

Интенсивность теплового потока источников зажигания, воспламеняющих горючую среду при контакте с ней, определяется по формуле

$$J = \frac{Q}{F \cdot \tau}, \text{ Вт/м}^2, \quad (3.29)$$

где Q – количество отдаваемого источником тепла, Дж;

F – площадь поверхности источника, м^2 ; τ – время передачи тепла, с.

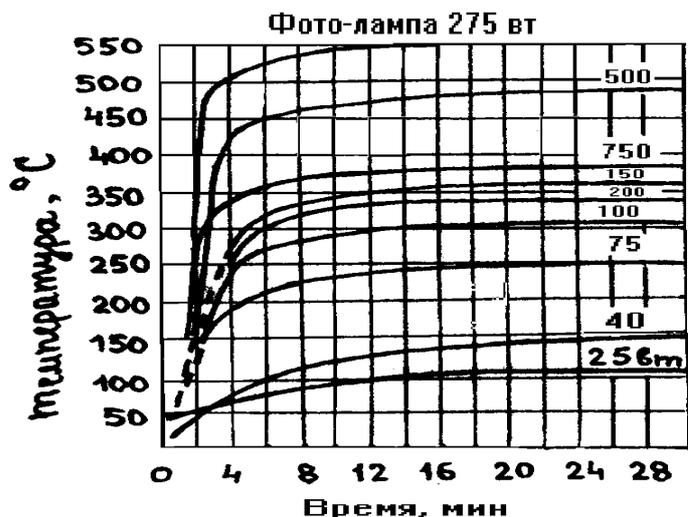


Рис. 3.7. Зависимость максимальной температуры на колбе лампы от мощности и времени

Для капли металла она с учётом формулы (3.21) может быть представлена в виде

$$J = 0,167 \cdot \frac{d_k \cdot \rho_k \cdot C_t \cdot (t_k - t_{св})}{\tau}, \text{ Вт/м}^2, \quad (3.30)$$

а для искрового разряда и провода, по которому протекает ток короткого замыкания, если их представить в виде стержня с длиной, равной толщине горючего материала, через который они проходят, по формуле

$$J = 0,25 \cdot \frac{d_k \cdot \rho_t \cdot C_t \cdot (t_k - t_{св})}{\tau}, \text{ Вт/м}^2, \quad (3.31)$$

где d_k — диаметр канала разряда (провода), м;
 ρ_t и C_t — плотность воздуха (провода), кг/м^3 , и теплоёмкость воздуха (материала провода) при температуре $0,5(t_k + t_{св})$, Дж/кг·град;

t_k и $t_{св}$ — температура канала (провода) и самовозгорания горючего материала, °C.

В других случаях может быть использована формула

$$J = \frac{V_{уз}}{F_{уз} \cdot \tau} \cdot \rho_{уз} \cdot C_t \cdot (t_{уз} - t_{св}), \text{ Вт/м}^2, \quad (3.32)$$

где $V_{уз}(\text{м}^3)$ и $F_{уз}(\text{м}^2)$ — объём и площадь поверхности источника зажигания;
 $\rho_{уз}(\text{кг/м}^3)$ и $C_t(\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{град}))$ — плотность и теплоёмкость источника зажигания;

$t_{уз}$ и $t_{св}$ — соответственно температура источника зажигания и самовозгорания горючего материала, °C. Величина теплового импульса, передаваемого горючему материалу за время контакта τ с ним

$$U_T = \frac{Q}{F} \text{ или } U_T = J \cdot \tau.$$

Возможность возникновения пожара на ОЭ определяется не только наличием потенциальных источников зажигания, но и пожароопасностью имеющихся на нём горючих материалов, которая зависит от физико-химических свойств материалов и их агрегатного состояния.

Горение различных, в том числе и твёрдых материалов, происходит, как правило, в газовой фазе. Газы горят послойно от зоны горения до полного выгорания горючей смеси. Горение горючих жидкостей имеет место в тонком светящемся слое газов, в который с поверхности поступают горючие пары, а из воздуха диффундирует кислород. При горении твёрдых материалов газы образуются в результате их разложения (пиролиза) при нагреве или испарении (для плавящихся материалов).

Основными температурными показателями пожароопасности твёрдых материалов являются температуры самонагрева $t_{сн}$, самовозгорания $t_{св}$ и окружающей среды t , при которой при благоприятных условиях аккумуляции тепла достигается температура самовозгорания. При достижении температуры $t_{сн}$ в материале начинаются экзотермические физико-химические превращения и он начинает нагреваться. Температура $t_{сн}$ зависит не только от свойств вещества, но и от условий, и поэтому не может являться константой. При достижении температуры самовозгорания $t_{св}$ горение возникает обязательно, независимо от условий её достижения. Поэтому температура $t_{св}$ является специфическим показателем, определяемым физико-химическими свойствами вещества и имеющим характер его константы. Возникновение горения при температуре $t_{св}$ может носить характер самовоспламенения или тления. Температурным показателем пожароопасности горючих материалов является также температура воспламенения $t_{в}$. Температура $t_{в}$ характеризует минимальную температуру, при которых интенсивность выделения газообразных горючих продуктов разложения достаточна для их зажигания внешним источником и поддержании самостоятельного горения вещества при его устранении. Температура $t_{в}$ так же, как и температура $t_{сн}$, зависит не только от свойств вещества, но и от условий, при которых происходит нагревание, и поэтому также не является его физической константой. При достижении температуры $t_{в}$ в процессе нагревания горючего вещества источником зажигания его воспламенение произойдёт лишь в том случае, если теплоспоглощение превысит теплотери, что возможно лишь при определённых условиях. Таким образом, наиболее фундаментальным температурным показателем пожароопасности горючего вещества является температура самовозгорания.

Самовозгорание некоторых веществ происходит самопроизвольно при определённой температуре окружающей среды.

Минимальную температуру среды, при которой происходит

тепловое самовозгорание, вычисляют из выражения

$$\lg t_c = A_p + n_p \cdot \lg S, \quad (3.33)$$

а время нагревания вещества до момента самовозгорания из выражения

$$\lg \tau_c = \frac{1}{n_b} \cdot (A_b + \lg t_c), \quad (3.34)$$

где t_c – температура окружающей среды, °С;

τ_c - время нагрева, ч;

A_p, A_b, n_p, n_b - эмпирические константы;

S - удельная поверхность тел, 1/м.

$$S = \frac{F}{V} \left(\frac{1}{\ell} + \frac{1}{b} + \frac{1}{h} \right)$$

где F - полная наружная поверхность тела, м²;

V - объём тела, м³;

ℓ, b, h - размеры тела вдоль соответствующей координатной оси, м.

Для прямоугольного параллелепипеда: ℓ - длина, b - ширина, h - высота; для цилиндра: $\ell = b = D_{\text{ц}}$, h - высота; для шара: $\ell = b = h = D_{\text{ш}}$ и т.д.

Возникновение горения при воздействии внешних источников с температурой ниже $t_{\text{св}}$ относится к явлению самовозгорания, а при воздействии источников с температурой, равной $t_{\text{св}}$ и выше - явлению возгорания. Наиболее характерной отличительной особенностью возгорания является то, что горение в этом случае всегда начинается локально в месте действия внешнего источника зажигания. Дальнейшее развитие процесса горения зависит от скорости химического превращения горючей смеси и от скорости тепломассообмена между пламенем, ещё не сгоревшим горючим материалом и окружающей средой. Характеризуют этот процесс горючесть, т.е. способность распространять горение; скорость распространения пламени и скорость выгорания горючего вещества. По горючести материалы разделяют на три группы:

- негорючие (несгораемые), не способные гореть в воздухе нормального состава;
- трудногорючие (трудносгораемые), способные загораться под действием источника зажигания, но не способные самостоятельно гореть после его удаления;
- горючие (сгораемые) материалы, способные к самостоятельному горению в воздухе нормального состава.

Пожароопасные и теплофизические свойства некоторых веществ и материалов приведены в табл. 3.12.

Возможность возникновения пожара связана с потенциальным действием источников зажигания на горючие, а при определённых условиях и трудногорючие, вещества и материалы ОЭ, в число которых входят горючие вещества и материалы, используемые в производственном

процессе, а также горючие материалы строительных конструкций зданий и сооружений. Количество горючих материалов на ОЭ определяется его производственными потребностями и огнестойкостью зданий и сооружений. Пожароопасные свойства применяемых в технологическом процессе веществ и материалов определяют пожаровзрывоопасность производства.

Огнестойкость зданий и сооружений кроме возгораемости материалов, из которых они построены, включает в себя понятие огнестойкости строительных конструкций. Под огнестойкостью строительных конструкций понимается их свойство сохранять несущую и ограждающую способность в условиях пожара. Под потерей несущей способности подразумевается обрушение строительных конструкций. Признаком потери ограждающей способности строительной конструкции при пожаре принято считать образование в конструкции сквозных трещин или отверстий, повышение температуры на её обогреваемой стороне в среднем более чем на 140 °С или в любой точке этой поверхности более чем на 180 °С по сравнению с первоначальной температурой или более чем на 220 °С независимо от первоначальной температуры. Для оценки огнестойкости пользуются понятием предела огнестойкости. Под понятием предела огнестойкости подразумевается время, по истечении которого конструкция теряет несущую или ограждающую способность. Измеряется предел огнестойкости в часах и минутах.

В соответствии со строительными нормами и правилами [35] здания и сооружения по степени огнестойкости делятся на пять степеней (I-V). Степень огнестойкости характеризуется горючестью материалов и пределом огнестойкости конструкций здания или сооружения (несущих стен, стен лестничных клеток, перекрытий, перегородок, заполнений между стенами, брандмауэров).

В зависимости от характера технологического процесса, пожароопасности используемого в нём сырья и полуфабрикатов, их количества предприятия и помещения по пожаровзрывоопасности в соответствии с нормативным документом [36] делятся на пять категорий (А, Б, В, Г, Д).

К категории А (взрывоопасной) относятся предприятия (помещения), в которых имеются горючие газы, легко воспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) с температурой вспышки менее или равной 28 °С и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчётное избыточное давление в помещениях более 5 кПа. К таким предприятиям относятся нефтеперерабатывающие, химические предприятия, предприятия по производству искусственного топлива, взрывчатых веществ, склады и базы для их хранения и т.п. предприятия.

Табл. 3.12.

Пожароопасные и теплофизические свойства

некоторых горючих веществ и материалов (Ошибки в формуле

Вещество или материал	Плотность ρ , кг/м ³	Удельная теплоемкость, C_p , кДж/(кг·град)	Коэффициент тепло- проводности, λ , вт/(м·град)	Теплота сгорания, Q_v , МДж/кг	Температура, °С		Линейная скорость выгорания, $V_{пл} = V_m / \rho$, 10 ⁻⁴ м/с	Массовая скорость выгорания, V_m , кг/(м ² ·с)
					Воспламе- нения, t_b	Самовоспла- менения, $t_{св}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Бумага	700...1150	1,51	0,14	13,4			0,7...1,1	0,08
Дермантин	—	—	—	21,5	238	360	—	—
Древесина сосновая Вдоль волокон	500	2,3	0,18	18,4... 20,9	255	399	0,3	0,015
Поперек волокон	500	2,3	0,09	18,9..20,9	255	399	0,3	0,015
Каменный уголь	1200...1500	—	—	31,4..36,8	350	500	—	—
Резина	1200	1,38	0,16	33,4	270	400	0,093	0,0112
Текстолит	1300...1400	1,47...1,51	0,23...0,34	20,9	—	—	0,048... 0,052	0,0067
Органическое стекло	1180	—	0,184	27,7	260	460	0,136	0,016
Хлопок, ветошь	80	1,5	0,042	17,6	260	372	—	—
Штاپельное волокно	—	—	—	13,8	235	460	0,84	0,0067

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фанера клееная	600	2,3	0,12	20,3	238... 255	360...427	0,283	0,017
Рубероид	600	1,68	0,17	29,5	303	400	—	—
Толь	600	1,68	0,17	15,7	210	407	4,0	0,24
Плиты ДВП и ДСП	200...1000	2,3	0,06...0,15	17,35...20,9	222	345	—	—
Пенополистирол	40...150	1,34	0,05...0,038	31,0...42,0	210...310	440	0,95... 3,58	0,0143
Пенопласт ПВХ	100...125	1,26	0,04...0,052	20,0	400...426	500	2,1...14,3	0,021...0,18
Линолеум ПВХ	1400...1800	1,47	0,23...0,38	14,2...18,0	300	450...600	—	—
Пенополиуретан	40...80	1,47	0,029...0,041	20,0...30,0	325...345	600...650	2,38...3,3	0,01...0,026
Ацетон	791	2,03	0,15...0,17	28,7	-20...+6	500	0,6	0,0472
Пенопласт Резольно- формальдегидный	40...100	1,68	0,038...0,047	21,0	450...460	510...545	—	—
Битумы нефтяные, строительные и кровельные	1000...1400	0,17... 1,68	0,27	—	285...351	368...397	—	—
Резиновый линолеум (релин)	1200	1,38	0,16	17,6... 27,2	300	410	—	—
Бумажно-слоистый пластик	1300...1500	1,68	0,047	21,0	335	495	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пенопласт «Минора»	100...125	—	—	18,0	397	540	—	—
Строительные материалы на основе эпоксидных олигомеров	100	1,68	0,047	21,0	400	530	0,58... 0,66	0,0058... 0,0066
Бензин	680...720	1,42	0,11...0,145	43,7	-36...+7	230	0,53...0,56	0,0383
Керосин	810...840	2,09	0,141...0,149	43,0	4...35	290	0,575...0,6	0,0483
Метиловый спирт	792	2,43	0,205...0,214	26,4	6...39	475	—	—
Этиловый спирт	790	2,3	0,172...0,19	30,2	11...40	400	0,03	0,03
Мазут	910...990	—	0,115...0,119	39,7	—	240	0,35...0,385	0,035
Нефть	760...850	—	—	—	—	300	0,235...0,263	0,020
Толуол	866	1,63	0,112...0,141	38,0	7...30	550	0,442	0,0383
Бензол	879	0,96	0,12...0,151	40,8	-15...12	626	0,436	0,0383
Прессованные материалы из поливинилхлорида	1350...1430	1..2,13	0,15...0,17	17,1..18,1	270...290	550...580	2,1...14,3	0,28..2,0
Прессованные материалы из полистирола	1050...1070	1,34	0,093...0,162	34,6... 40,8	295...365	405...475	0,078...0,136	0,0083... 0,0143
Стеклопластики	1200...1400	0,84	0,056	20,0	—	420	0,42...0,67	—

К категории Б (взрыво и пожароопасной) относятся производства, в которых применяются горючие пыли или волокна, ЛВЖ с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовываться взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчётное избыточное давление взрыва в помещении более 3 кПа. Типичными представителями категории Б являются цехи и производства по приготовлению и транспортировке угольной пыли и древесной муки, мукомольные предприятия.

Категория В (пожароопасная) - это предприятия (помещения), в которых имеются горючие и трудногорючие жидкости, твёрдые горючие и трудногорючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть. По количеству горючих веществ и расстоянию между ними категория В делится на В1, В2, В3 и В4. К предприятиям категории В относятся практически все предприятия деревообрабатывающей промышленности и подавляющее количество текстильных предприятий.

К категории Г относятся производства, имеющие дело с негорючими веществами и материалами в горячем, раскалённом или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистой теплоты, искр и пламени; а также с горючими газами, жидкостями или твёрдыми веществами, которые сжигаются или утилизируются. Эта категория включает в себя термические, кузнечные, литейные производства, котельные и т.п.

К категории Д относятся производства, связанные с негорючими веществами и материалами в холодном состоянии, т.е. все машиностроительные, приборостроительные и им подобные производства.

Достижение температуры самовоспламенения $t_{св}$, характеризующей начало горения горючего материала, происходит при передаче единице его поверхности в единицу времени определённого количества энергии, т.е. при определённой интенсивности теплового потока. Поэтому интенсивность теплового потока может быть выбрана в качестве критерия возгораемости горючих материалов, а её минимальное значение, при котором происходит возгорание пожароопасных материалов ОЭ в диапазоне возможного времени действия потенциальных источников зажигания, в качестве предела устойчивости объекта к их действию. Условия устойчивости при этом могут быть записаны в виде:

- к действию излучающих источников в условиях замкнутых систем

← Формат: Список

$$J_n > 5,7 \cdot \varepsilon_{np} \left[\left(\frac{T_\phi}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{св}}{100} \right)^4 \right] \varphi_{с.ф.}, \quad (3.35a)$$

- действию излучающих источников в условиях открытых систем

$$J_n > \varepsilon \cdot \chi \cdot q_v \cdot \left(\frac{r}{D} \right)^{-2}, \quad (3.35б)$$

- к действию источников зажигания, находящихся в контакте с горючей средой,

$$J_n > \frac{V_{из}}{F_{из} \cdot \tau} \cdot p_{из} \cdot C_t \cdot (t_{из} - t_{св}), \quad (3.35в)$$

где $J_n = J_{min}$ - предел устойчивости ОЭ к действию источника зажигания.

Значения интенсивности теплового потока, при которых происходит возгорание горючих материалов, определяются экспериментально. Некоторые из них приведены в таблице 3.13.

Табл.3.13.

Минимальные интенсивности теплового потока и время, при которых происходит возгорание горючих материалов, кВт/м²

Материал	Продолжительность действия, мин.		
	3	5	15
Древесина (сосна влажностью 12%)	18,8	16,9	13,9
Древесно-стружечная плита плотностью 417 кг/м ³	13,9	11,9	8,3
Торф брикетный	31,5	24,4	13,2
Торф кусковой	16,6	14,35	9,8
Хлопок- волокно	11,0	9,7	7,5
Слоистый пластик	21,6	19,1	15,4
Стеклопластик	19,4	18,6	17,4
Пергамин	22,0	19,75	17,4
Резина	22,6	19,2	14,8
Уголь	-	35,0	35,0

При отсутствии справочных данных величину интенсивности теплового потока, при которой происходит возгорание горючего материала, можно определить с достаточной для практики точностью, исходя из следующих соображений. Количество тепла, необходимое для возгорания горючего материала, очевидно должно быть равно сумме количества тепла, расходуемого на его нагревание от начальной температуры t_0 , до температуры самовозгорания $t_{св}$ при отсутствии теплопотерь, и количества тепла, теряемого материалом за время нагревания вследствие теплообмена с окружающей средой. Для интенсивности теплового потока этот факт может быть записан в виде:

$$J = J_n + J_{тп} = \frac{\delta_T \cdot p \cdot C_t \cdot (t_{св} - t_0)}{\tau_n} + \alpha (t_{ср} - t_0),$$

где J_n - интенсивность теплового потока при нагревании материала без теплопотерь, Вт/(м²·град);

$J_{тп}$ - интенсивность теплопотерь, Вт/(м²·град);

$t_{cp} = \frac{t_0 + t_{cs}}{2}$ - средняя температура горючего материала за время нагревания (теплоотдачи), °С;

C_t - теплоёмкость материала при температуре t_{cp} , Дж/(кг·град);

ρ - плотность материала, кг/м³;

δ_m - толщина прогретого слоя материала, м;

τ_n - время нагревания, с;

α - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·град). Величина коэффициента теплоотдачи предполагается постоянной в течение всего времени нагревания.

Коэффициент теплоотдачи может быть определён из условия достижения критического режима, характеризующегося равенством скоростей теплоприхода и теплопотерь, при котором происходит самовоспламенение, т.е. при

$$\frac{\delta_T \cdot \rho \cdot C_t \cdot (t_{cs} - t_0)}{\tau_n} = \alpha(t_{cp} - t_0)$$

Отсюда $\alpha = \frac{\delta_T \cdot \rho \cdot C_t}{\tau_n}$

Подставив выражение для коэффициента "α" в выражение для "J" и произведя преобразования, получим формулу для расчёта интенсивности теплового потока, при которой происходит возгорание горючего материала.

$$J = 1,5 \frac{\delta_T \cdot \rho \cdot C_t \cdot (t_{cs} - t_0)}{\tau_n}, \text{ Вт/м}^2, \quad (3.36)$$

Формулы, существующие для расчёта глубины прогретого слоя δ_m сложны, содержат большое количество не приводимых в справочниках и трудно поддающихся определению параметров и поэтому не пригодны для практических целей. В этой связи зависимость (3.36) может быть использована только для термических тонких материалов, т.е. материалов, толщина которых соизмерима с толщиной прогретого слоя ($\delta_m = \delta_m$). К их числу с определённой осторожностью можно отнести плёнки, плитки, плиты и т.п. материалы.

В ряде случаев определение интенсивности теплового потока вызывает затруднение в связи с отсутствием справочных данных и трудностью расчёта коэффициентов теплоотдачи α и темпа охлаждения m . К числу таких случаев относится, в частности, оценка действия на горючую среду источников зажигания, находящихся с ней в контакте.

При решении подобных задач в качестве критерия возгораемости горючей среды удобно использовать не интенсивность теплового потока, а тепловой импульс. Пределом устойчивости ОЭ в данном случае будет

минимальная величина теплового импульса $U_{\min}=U_n$, при котором происходит возгорание имеющихся на ОЭ горючих материалов.

Условие устойчивости при этом может быть записано в виде:

$$U_n > U = \frac{V_{uz}}{F_{uz}} \cdot \rho_{uz} \cdot C_t \cdot (t_{uz} - t_{св}), \text{ кДж/м}^2 \quad (3.37)$$

где U_n - предел устойчивости ОЭ к действию данного источника зажигания.

При отсутствии данных по "J" и "U" и необходимости грубой экспресс- оценки в качестве предела устойчивости может быть выбрана минимальная температура самовоспламенения имеющихся на ОЭ горючих материалов $t_{св\min}$, а условие устойчивости представлено в виде:

$$t_{св\min} > t_{uz\max},$$

где $t_{uz\max}$ - температура самого высокотемпературного источника зажигания из всех источников зажигания, которые потенциально могут действовать на горючий материал с температурой самовоспламенения $t_{св\min}$.

В качестве критерия возгораемости горючих материалов при действии на них светового излучения ядерного взрыва, имеющего для каждого боеприпаса определённую длительность, выбран световой импульс

$$U = J_c \cdot t_c,$$

где J_c - интенсивность светового излучения, кВт/м²;

$$t_c = \sqrt[3]{q} - \text{длительность свечения, с;}$$

q - тротиловый эквивалент взрыва, кг.

Значения световых импульсов, при которых происходит возгорание горючих материалов, приведены в табл. 3.14.

Таблица 3.14 может быть использована для определения интенсивностей тепловых потоков, при которых происходит возгорание приведённых в ней материалов, при оценке действия других источников зажигания, если длительность их действия близка к длительности светового излучения ядерных взрывов.

За предел устойчивости ОЭ к действию светового излучения ядерного взрыва условно принимают минимальную величину светового импульса, при которой происходит возгорание его наиболее пожароопасного материала, а условие устойчивости записывают в виде

$$U_n > U = \frac{116,7}{r^2} \cdot q \cdot \delta \cdot e^{-k}, \quad (3.38)$$

где U_n - предел устойчивости ОЭ к действию светового излучения ядерного взрыва.

Табл. 3.14.

Световые импульсы, вызывающие возгорание материалов, кДж/м²

Материал	Мощность взрыва, кт		
	100	1000	10000
Древесина сосновая свежеструганная сухая	670	880	1000
Доски, окрашенные в белый цвет	1670	1760	1880
Доски, окрашенные в тёмный цвет	250	330	420
Кровля мягкая (толь, рубероид)	590	670	840
Стружка потемневшая сухая, солома, сено, бумага тёмная	170	210	250
Сухая потемневшая древесина, обтирочные материалы, сухие опавшие листья, сухая растительность	330	460	580
Шторы х/б серые, ткань грубая коричневая	330	420	500
Спецодежда новая из синей х/б ткани	460	500	580
Бумага белая	330	-	420
Резина	250	-	420
1	2	3	4
Брезент палаточный	420	-	500
Шерстяные обивочные материалы, ковры	1250	-	1450
Х/б ткань светлая (бязь)	500	-	750
Конвеерная прорезиненная ткань	500	-	630

Пример1.

Определить предел устойчивости ОЭ к действию светового излучения ядерного взрыва, если горючими материалами на нём являются рубероид, потемневшая древесина, бумага белая, хлопчатобумажная ткань, конвеерная прорезиненная ткань, брезент. Оценить также выполнение условия устойчивости при наземном взрыве мощностью 100 кт на расстоянии 50 км от объекта при хорошей прозрачности атмосферы (D=50 км).

Решение.

1. Пользуясь табл.3.13, определяем величины световых импульсов, при которых происходит возгорание горючих материалов ОЭ и его предел устойчивости:

- рублид- 590 кДж/м²,
- потемневшая древесина 250 кДж/м²,
- белая бумага 330 кДж/м²,
- хлопчатобумажная ткань 330 кДж/м²,
- конвейерная прорезиненная ткань 500 кДж/м²,
- брезент 420 кДж/м².

В соответствии с определением предела устойчивости для данного ОЭ он равен $V_{п} = 250 \text{ кДж/м}^2$ и определяется потемневшей древесиной.

2. Находим величину светового импульса при наземном ядерном

$$\text{взрыве } V = \frac{116,7}{r^2} \cdot q \cdot \delta \cdot e^{-kr} = \frac{116,7}{50} \cdot 100 \cdot 0,5 \cdot e^{-\frac{4}{50} \cdot 50} = 127,4 \text{ кДжс / м}^2.$$

3. Проверяем выполнение условия устойчивости

$$V_{п} = 250 \text{ кДж/м}^2 > V = 127,4 \text{ кДж/м}^2,$$

т.е. условие устойчивости выполняется и возгорания горючих материалов на ОЭ не произойдет.

Пример2.

Оценить устойчивость ОЭ к действию источника зажигания, возникающего при возгорании в технологической ёмкости с открытой поверхностью растворителя на основе ацетона. Количество растворителя в ёмкости, используемого в течение рабочей смены в цехах, $M=33 \text{ кг}$. Диаметр ёмкости $d=1 \text{ м}$. Размеры цехов: длина - $l=20 \text{ м}$, ширина $b=7 \text{ м}$, высота $h=7 \text{ м}$. В отделке цеха № 1 использованы древесно- волокнистые плиты, цеха № 2- слоистый пластик, цеха № 3- стеклопластик.

Решение.

Устанавливаем вид и максимально возможную длительность существования источника зажигания.

В соответствии с условиями задачи источник зажигания представляет собой факел пламени конусообразной формы высотой $h_{ф}=1,5d$ [34]. Длительность его существования определяется продолжительностью выгорания растворителя со скоростью $V=0,0472 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$ (табл. 3.12) и может быть определена по формуле:

$$\tau = \frac{M}{F \cdot V} = \frac{M}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V} = \frac{33 \cdot 4}{3,14 \cdot 1^2 \cdot 0,0472} = 890 \text{ с} \cong 15 \text{ мин}$$

2. Пользуясь табл. 3.13, находим интенсивности тепловых потоков, при которых происходит возгорание горючих материалов цехов, и по ним предел устойчивости ОЭ к действию источника зажигания:

- древесно-волокнистые плиты - $8,3 \text{ кВт/м}^2$,
- стеклопластик - $17,4 \text{ кВт/м}^2$,
- слоистый пластик - $15,4 \text{ кВт/м}^2$.

Таким образом, устойчивость ОЭ определяется цехом № 1, в отделке

Формат: Список

которого использованы древесно-волоконистые плиты, и равен $J_n=8,3$ кВт/м².

3. Находим интенсивность теплового потока, облучающего поверхность цеха №1.

Предварительно определяем:

Площадь факела пламени

$$F_\phi = \pi \cdot \frac{d}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + (h_\phi)^2} = 3,14 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{0,5^2 + 1,5^2} = 2,48 \text{ м}^2$$

Площадь поверхности цеха

$$F_n = 2 \cdot (l \cdot b + l \cdot h + b \cdot h) = 2 \cdot (20 \cdot 7 + 20 \cdot 7 + 7 \cdot 7) = 658 \text{ м}^2.$$

Температура факела пламени $T_\phi = 1153$ °К (табл. 3.11),

температура самовоспламенения ДВП $T_{св} = 618$ °К (табл. 3.11).

Коэффициент черноты факела пламени $\varepsilon_\phi = 0,85$ [37], облучаемой поверхности $\varepsilon_n = 0,9$ [14].

Приведённая степень черноты системы факел - поверхность цеха [14]

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_\phi + \frac{F_\phi}{F_n}} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_n} - 1\right)} = \frac{1}{0,85 + \frac{2,48}{658} \cdot \left(\frac{1}{0,9} - 1\right)} = 0,85 \quad ; \quad \varphi_{\phi n} = \frac{F_\phi}{F_n}.$$

С учётом полученных данных

$$J = 5,7 \cdot \varepsilon_{np} \cdot \left[\left(\frac{T_\phi}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{св}}{100}\right)^4 \right] \varphi_{\phi n} = 5,7 \cdot 0,85 \cdot \left[\left(\frac{1153}{100}\right)^4 - \left(\frac{618}{100}\right)^4 \right] \cdot \frac{2,48}{658} =$$

$$= 296 \text{ вт} / \text{м}^2 = 0,296 \text{ кВт} / \text{м}^2$$

4. Проверяем выполнение условия устойчивости:

$J_n = 8,3 \text{ кВт} / \text{м}^2 > J = 0,296 \text{ кВт} / \text{м}^2$, что свидетельствует об устойчивости цеха №1, а следовательно, и ОЭ к действию рассматриваемого источника зажигания.

Пример 3.

Оценить устойчивость ОЭ к действию источника зажигания, которым является капля расплавленного металла, образующаяся при коротком замыкании электропроводки. Капля может упасть на бумагу, поливинилхлоридный пластик, древесно-стружечные плиты, плитки из полистирола.

Толщина горючих материалов: бумаги - $\delta = 0,2 \cdot 10^{-3}$ м; поливинилхлоридного пластика - $0,6 \cdot 10^{-3}$ м; древесно-стружечных плит - $1,6 \cdot 10^{-2}$ м; плиток из полистирола - $2 \cdot 10^{-3}$ м. Высота прокладки электропроводки $H = 3$ м. Провода медные. Температура в помещениях $t_0 = 20$

°С.

Решение.

1. Пользуясь табл. 3.12 и справочником [14], находим необходимые для оценки исходные данные:

- источник зажигания: температура плавления меди $t_{п}=1083$ °С; теплоёмкость меди $C_t=0,38+1,189 \cdot 10^{-4} \cdot t$, кДж/(кг·град); удельная теплота кристаллизации меди $C_{кр}=214$ кДж/кг.

- теплофизические параметры горючих материалов (табл. 3.12):

Горючие материалы	теплоёмкость, С, кДж/(кг·град)	температура само-воспламенения, $t_{св}$, °С	плотность, ρ , кг/м ³
Бумага	1,51	360	700
ПВХ- пластик	1,0	550	1350
ДСП	2,3	345	200
Полистирол. плитки	1,34	405	1050

2. Рассчитываем величины тепловых импульсов, при которых происходит возгорание горючих материалов, и определяем предел устойчивости ОЭ. Горючие материалы считаем термически тонкими.

$$U_б = 1,5 \cdot C \cdot \rho \cdot \delta \cdot (t_{св} - t_0) = 1,5 \cdot 1,51 \cdot 700 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot (360 - 20) = 108 \text{ кДж/м}^2;$$

$$U_{ПВХ} = 1,5 \cdot 1 \cdot 1350 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot (550 - 20) = 644 \text{ кДж/м}^2;$$

$$U_{ДСП} = 1,5 \cdot 2,3 \cdot 200 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot (345 - 20) = 3588 \text{ кДж/м}^2;$$

$$U_{ПС} = 1,5 \cdot 1,34 \cdot 1050 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot (405 - 20) = 1625 \text{ кДж/м}^2;$$

Предел устойчивости ОЭ к действию источника зажигания определяется бумагой и равен $U_б = 108$ кДж/м².

3. Определяем величину теплового импульса, передаваемого каплей металла бумаге

$$\text{Объём капли } V_k = 0,524 d_k^3 = 0,524 (3 \cdot 10^{-3})^3 = 14,148 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3.$$

$$\text{Масса капли } m_k = \rho_k \cdot V_k = 8930 \cdot 14,148 \cdot 10^{-9} = 0,1263 \cdot 10^{-3} \text{ кг}.$$

Количество теплоты в капле в начале полёта

$$Q_n = m_k \cdot C_{tn} \cdot t_n = 0,1263 \cdot 10^{-3} (0,38 + 1,189 \cdot 10^{-4} \cdot 1083) \cdot 1083 = 69,6 \text{ Дж}.$$

Количество теплоты, затраченное на кристаллизацию капли металла

$$Q_{кр} = m_k \cdot C_{кр} = 0,1263 \cdot 10^{-3} \cdot 214 \cdot 10^3 = 27,0 \text{ Дж}.$$

Средняя скорость полёта капли

$$W_k = 0,5 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 0,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3} = 3,84 \text{ м/с}$$

$$\text{Число Рейнольдса } Re = W_k \cdot \frac{d_k}{\nu} = \frac{3,84 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{15,1 \cdot 10^{-6}} = 762,9$$

$$\text{Критерий Нуссельта } N_u = 0,62 \cdot Re^{0,5} = 0,62 \cdot 762,9^{0,5} = 17,12.$$

Коэффициент теплоотдачи капли

$$\alpha = \frac{N_u \cdot \lambda_6}{d_k} = \frac{17,12 \cdot 22 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-3}} = 125,54 \text{ вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$$

Количество теплоты, затраченное на нагрев воздуха при полёте капли

$$\begin{aligned} Q_{охл} &= \alpha \cdot S_k \cdot \tau (t_n - t'_k) = \alpha \cdot \pi \cdot d_k^2 \cdot \frac{H}{W_k} (t_n - t'_k) = \\ &= 125,54 \cdot 3,14 \cdot (3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \frac{3}{3,84} \cdot (1083 - 800) = 0,784 \text{ Дж} \end{aligned}$$

Тепловой запас капли в конце полёта

$$Q_k = Q_n - (Q_{кр} + Q_{охл}) = 69,6 - (27,0 + 0,784) = 41,82 \text{ Дж.}$$

Уточнённое значение температуры капли в конце полёта

$$\begin{aligned} t_k &= \frac{Q_k}{m_k \cdot C_k} = \frac{Q_k}{m_k \cdot \left(0,38 + 1,189 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{800 + 1083}{2} \right) \cdot 10^{-3}} = \\ &= \frac{41,82}{0,1263 \cdot 10^{-3} \cdot 0,492 \cdot 10^3} = 673^\circ \text{C}. \end{aligned}$$

Отклонение найденного значения t_k от принятого $t'_k = 800^\circ \text{C}$:

$$\frac{800 - 673}{800} \cdot 100\% = 15,9\% > 5\%.$$

Повторяем расчёт $Q_{охл}$, Q_k и t_k .

$$Q_{охл} = 125,54 \cdot 3,14 \cdot (3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \frac{3}{3,84} (1083 - 673) = 1,14 \text{ Дж.}$$

$$Q_k = 69,6 - (27,0 + 1,14) = 41,46 \text{ Дж.}$$

$$t_k = \frac{41,46}{0,1263 \cdot 10^{-3} \left(0,38 + 1,189 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{673 + 1083}{2} \right) \cdot 10^3} = 678^\circ \text{C}$$

Тепловой импульс, отдаваемый каплей бумаге

$$\begin{aligned} U &= 0,167 \cdot d_k \cdot \rho_k \cdot C_t (t_k - t_{ca}) = 0,167 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 8930 \left[0,38 + 1,189 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{678 + 360}{2} \right] \cdot \\ &\cdot (678 - 360) \approx 629 \text{ кДж} / \text{м}^2 \end{aligned}$$

4. Проверяем выполнение условия устойчивости

$U_n = 108 \text{ кДж}/\text{м}^2 < U = 629 \text{ кДж}/\text{м}^2$, т.е. условие устойчивости не выполняется и ОЭ к действию этого источника зажигания устойчивостью не обладает.

Информация об устойчивости ОЭ к действию источников зажигания является важной, но не достаточной для ответа на вопрос о возможности пожара. Возможность возникновения или не возникновения пожара на ОЭ

зависит не только от его устойчивости к действию источников зажигания, но и от ряда других факторов, которые объединяются понятием пожарной безопасности. Под пожарной безопасностью понимают состояние объекта, исключающее с определённой вероятностью возникновение пожара. Пожарная безопасность обеспечивается предотвращением пожаров и пожарной защитой. Предотвращение пожара кроме обеспечения устойчивости к действию источников зажигания достигается исключением их образования, исключением образования горючей среды, а также поддержанием параметров среды в пределах, исключающих горение.

В ходе исследования устойчивости поэтому изучаются вопросы применения и эксплуатации машин, механизмов и технологических установок ОЭ; их состояние; наличия и состояния молниезащиты зданий и сооружений; наличия условий самовозгорания горючих материалов; возможности нагрева машин, механизмов, веществ, материалов сверх допустимых температур, образования искр и др. При исследовании пожарной защиты изучают обеспеченность ОЭ средствами пожаротушения и пожарной техникой, автоматическими установками пожарной сигнализации и пожаротушения; их состояние; состояние путей эвакуации обеспеченность противопожарной документацией; пожарно-техническую подготовку персонала.

При детерминированной оценке устойчивости противопожарное состояние ОЭ в качественном отношении принято оценивать критерием K_{nc} [25], который представляют в виде:

$$K_{nc} = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 - K_7, \quad (3.39)$$

где K_1 - критерий комплексной оценки показателей, характеризующих выполнение требований пожарной безопасности, предписанных органами Госпожнадзора, а также пожаротехническими комиссиями,

$$K_1 = 25 P_{no} + 8 P_{ntk}, \quad (3.40)$$

где $P_{no} = n_{в.но} / n_{н.но}$ – показатель, характеризующий степень выполнения требований пожарной безопасности на объекте по предписанию Госпожнадзора,

$P_{ntk} = n_{в.нтк} / n_{н.нтк}$ - показатель, характеризующий степень выполнения требований пожарной безопасности на объекте согласно актам пожаротехнических комиссий,

$n_{в.но}$ и $n_{в.нтк}$ – число выполненных мероприятий соответственно Госпожнадзора и пожаротехнической комиссии,

$n_{н.но}$ и $n_{н.нтк}$ – число предложенных к выполнению Госпожнадзором и пожаротехнической комиссией мероприятий,

$P_{птк} = 1$, если на ОЭ пожаро-технической комиссии нет;

$$K_2 = 9 P_m + 5 P_c + 10 P_{a,y} + 2 P_z + 2 P_k, \quad (3.41)$$

где $P_m = n_{o,m} / n_{n,m}$ – показатель, характеризующий обеспечение объекта автоматическими средствами пожаротушения,

$n_{o,m}$ и $n_{n,m}$ – соответственно площадь помещений (m^2), оборудованных и

подлежащих оборудованию автоматическими средствами пожаротушения согласно перечням зданий и сооружений, подлежащих оборудованию средствами автоматического пожаротушения и сигнализации,

$P_c = n_{o.c} / n_{n.c}$ – показатель, характеризующий обеспечение объекта автоматическими средствами пожарной сигнализации,

$n_{o.c} / n_{n.c}$ – соответственно площадь помещений (m^2), оборудованных и подлежащих оборудованию средствами автоматической пожарной сигнализации в соответствии с перечнем,

$P_{a.y} = n_{раб.а.у} / n_{общ.а.у}$ – показатель, характеризующий состояние средств автоматического пожаротушения и сигнализации,

$n_{раб.а.у}$ и $n_{общ.а.у}$ – соответственно число установок в рабочем состоянии и общее количество установок на объекте,

$P_z = n_{раб.г} / n_{общ.г}$ – показатель, характеризующий состояние пожарных гидрантов,

$n_{раб.г}$ и $n_{общ.г}$ – соответственно количество гидрантов в рабочем состоянии и их общее количество на объекте,

$P_k = n_{раб.к} / n_{общ.к}$ – показатель, характеризующий состояние внутренних пожарных кранов,

$n_{раб.к}$ и $n_{общ.к}$ – соответственно количество кранов в рабочем состоянии и их общее количество на объекте,

$$K_3 = P_u + P_o + P_э, \quad (3.42)$$

где P_u – показатель, характеризующий обеспеченность объекта инструкциями и знаками пожарной безопасности. $P_u = 3$ при полном обеспечении ОЭ инструкциями и знаками,

P_o – показатель, характеризующий состояние противопожарного режима при проведении на объекте огнеопасных работ. $P_o = 3$, если все огнеопасные работы проводятся по разрешению, и $P_o = 4$, если при проведении работ загораний не происходит,

$P_э$ – показатель, характеризующий соответствие путей эвакуации на объекте требованиям пожарной безопасности. $P_э = 3$, если содержание путей эвакуации соответствует требованиям инструкций, $P_э = 2$, если пути эвакуации обеспечены указателями пожарной безопасности,

$$K_4 = 5 P_{нто} + P_{днд} + P_{рс}, \quad (3.43)$$

где $P_{нто} = n_{ф.нто} / n_{м.нто}$ – показатель, характеризующий деятельность пожаро-технических комиссий,

$n_{ф.нто}$ и $n_{м.нто}$ – соответственно фактическое и минимальное число проверок, произведенных и предусмотренных "Положением о пожаро-технических комиссиях",

$P_{днд}$ – показатель, характеризующий боеготовность добровольных пожарных дружин (ДПД) на объекте. $P_{днд} = 1$, если члены ДПД знают свои обязанности, и средства пожаротушения содержатся в исправном состоянии,

$P_{рс}$ – показатель, характеризующий уровень пожаро-технической

подготовки рабочих и служащих. $P_{pc} = 1,5$, если имеется приказ руководителя ОЭ о проведении инструктажей и они проводятся в соответствии с приказом, имеется специальное помещение для проведения инструктажей,

$$K_5 = 5 + 4 P_6, \quad (3.44)$$

где $P_6 = n_{зв} / n_{не}$ – показатель снижения пожарной опасности за счёт замены легковоспламеняющихся жидкостей и горючих веществ негорючими,

$n_{зв}$ и $n_{не}$ – соответственно количество пожароопасных веществ, применяемых в смену, заменённых на пожаробезопасные и количество веществ, подлежащих замене на пожаробезопасные,

K_6 – сумма баллов за выполнение мероприятий: организацию соревнований ДПД и встреч с работниками пожарной охраны –1,0; оформление стендов – 1,0; показ кинофильмов на противопожарные темы – 1,0,

$K_7 = 20$ – для объектов, на которых за отчётный период произошёл пожар, и $K_7 = 6$ – за каждый случай загорания.

Величина критерия K_{nc} , при которой не происходит пожаров, может быть принята за предел устойчивости ОЭ по противопожарному состоянию, а условие устойчивости представлено в виде:

$$K_{nc} \geq K_{nc n}, \quad (3.45)$$

где $K_{nc n}$ – предел устойчивости ОЭ по противопожарному состоянию.

3.2.4.2. Оценка устойчивости ОЭ при пожаре

Устойчивость ОЭ должна обеспечиваться не только к возникновению пожара, но и при пожаре, т.е. объект должен выполнять заданные функции или восстанавливать их при утрате в приемлемое время после ликвидации пожара. Время восстановления заданных функций (для промышленного объекта – производства) определяется в мирное время законами рыночной экономики, в военное время нормативными сроками, при назначении которых исходят из требований, предъявляемых войной. Выполнение заданных функций обеспечивается, если решаются задачи защиты производственного персонала от опасных факторов пожара и исключения неприемлемого ущерба, который может быть нанесен пожаром основным производственным фондам. Возможность решения той и другой задачи определяется масштабом (площадью) пожара, который может иметь место на объекте, и эффективностью применяемых средств противопожарной защиты.

Площадь пожара зависит от большого количества факторов, которые учитываются при ее оценке. В их число входят пожарная нагрузка, продолжительность свободного горения, время локализации пожара, а также ряд особенностей помещения или здания (его объем, высота,

этажность и др.). Существенную роль в размерах пожаров играют пути распространения огня.

Пожарная нагрузка, под которой понимают количество горючих материалов, приходящихся на единицу площади объекта, определяется огнестойкостью зданий и сооружений, пожаровзрывоопасностью помещений и производства, количеством горючих материалов и веществ, находящихся на объекте. Сгораемая отделка потолков и стен, коридоров, лестничных клеток вместе с пустотами в конструкциях, вытяжными каналами, шахтами лифтов, кабельными трассами, мусоропроводами являются путями распространения огня при пожаре.

Время свободного горения определяет площадь, охваченную огнем к моменту начала тушения пожара и сложность последующей борьбы с ним. В соответствии со статистическими данными средняя продолжительность свободного горения в городах составляет 0,26 часа, на технологических установках химической промышленности 0,148 часа, при крупных пожарах до 0,5 часа [40].

Продолжительность тушения пожара зависит от времени свободного горения, профессиональной подготовки пожарных подразделений, эффективности применяемых средств пожаротушения, площади пожара. Продолжительность тушения пожара $\tau_{п}$, время свободного горения $\tau_{св}$ и площадь пожара $F_{п}$ связаны эмпирическими зависимостями вида [40]:

$$\tau_{т} \approx 64,8 + 1,28 \tau_{св}, \text{ мин} \quad (3.46)$$

$$\tau_{т} \approx 60,1 + 0,34 F_{п}, \text{ мин} \quad (3.47)$$

где $F_{п}$ в м^2 .

Для оценки возможности борьбы с пожаром проверяется соответствие фактической огнестойкости строительных конструкций требуемой, обусловленной условиями потенциального пожара.

$$P_{ф} \geq P_{т} = K_0 \frac{g}{\beta_c V_e} \quad (3.48)$$

Или с учетом тушения пожара

$$P_{ф} \geq P_{т} = K_0 \left(\frac{F_r I_r}{Q_{с.т.}} \tau_{нт} + \tau_{св} \right), \quad (3.49)$$

где K_0 – коэффициент безопасности (огнестойкости) $K_0=1,5 \dots 2$ – для вертикальных несущих конструкций; $K_0=1,0 \dots 1,2$ – для горизонтальных конструкций и $K_0=2,5$ для противопожарных преград;

g – удельная пожарная нагрузка, $\text{кг}/\text{м}^2$;

β_c – коэффициент, характеризующий изменение скорости горения веществ. Для деревянных изделий и горючих жидкостей $\beta_c=1$;

V_e – весовая скорость выгорания горючего материала, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$;

F_r – возможная площадь поверхности горения, м^2 ;

I_r – интенсивность подачи средств тушения, $\text{л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

$Q_{с.т.}$ – гарантированный расход средств пожаротушения, л/с;

$\tau_{н.т.}$ – нормативное время тушения мин.

Невыполнение условий (3.48), (3.49) ведет к перегреву строительных конструкций, их прогоранию и обрушению, а следовательно, к дальнейшему распространению пожара и угрозе поражения людей, ведущих с ним борьбу. Так для стальных конструкций критической температурой являются 718°C . Поэтому оценке подвергается также способность средств пожаротушения снизить температуру в охваченном огнем помещении ниже критической и тем самым предотвратить потерю несущей и ограждающей способности строительными конструкциями. Продолжительность прогрева строительных конструкций до критической температуры и, следовательно, время их возможного обрушения определяется из уравнения теплового баланса.

$$C_k \cdot \rho_k \cdot \delta_k \cdot \Delta t_k = \alpha \cdot \Delta t_g \cdot \tau, \quad (3.50)$$

где C_k , ρ_k , δ_k – соответственно теплоемкость, Дж/(кг·град), плотность, кг/м³ и толщина, м конструкции;

$$\Delta t_k = t_{кр} - t_n, \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$t_{кр}$ и t_n – критическая и начальная температура конструкции, $^{\circ}\text{C}$;

α – коэффициент теплоотдачи, Дж/(м²·с·град);

Δt_g – разность конечной и начальной температур воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

τ – время достижения конструкцией критической температуры, с;

С учетом необходимости количественной оценки устойчивости ОЭ при пожаре и большой информационной значимости площади пожара, она может быть выбрана в качестве одного из критериев устойчивости. При этом за предел устойчивости ОЭ по этому критерию может быть принята максимальная площадь пожара в минимальном по размерам основном производственном помещении, при которой не происходит остановки производства или оно восстанавливается в приемлемые сроки. Условие устойчивости может быть представлено в виде:

$$F_n \leq F_n^n, \quad (3.51)$$

где F_n^n – предел устойчивости по площади пожара, м²;

F_n – возможная площадь пожара, м²;

Для расчета возможной площади пожара при горении горючих, легковоспламеняющихся жидкостей, твердых горючих и трудно горючих материалов используется следующий метод [30].

Вычисляют продолжительность начальной стадии пожара $t_{\text{нсп}}^{\text{пр}}$ в зависимости от объема помещения V в м^3 , высоты помещения H в м и количества приведенной пожарной нагрузки g в $\text{кг}/\text{м}^2$, используя графики, приведенные на рис 3.8 и 3.9.

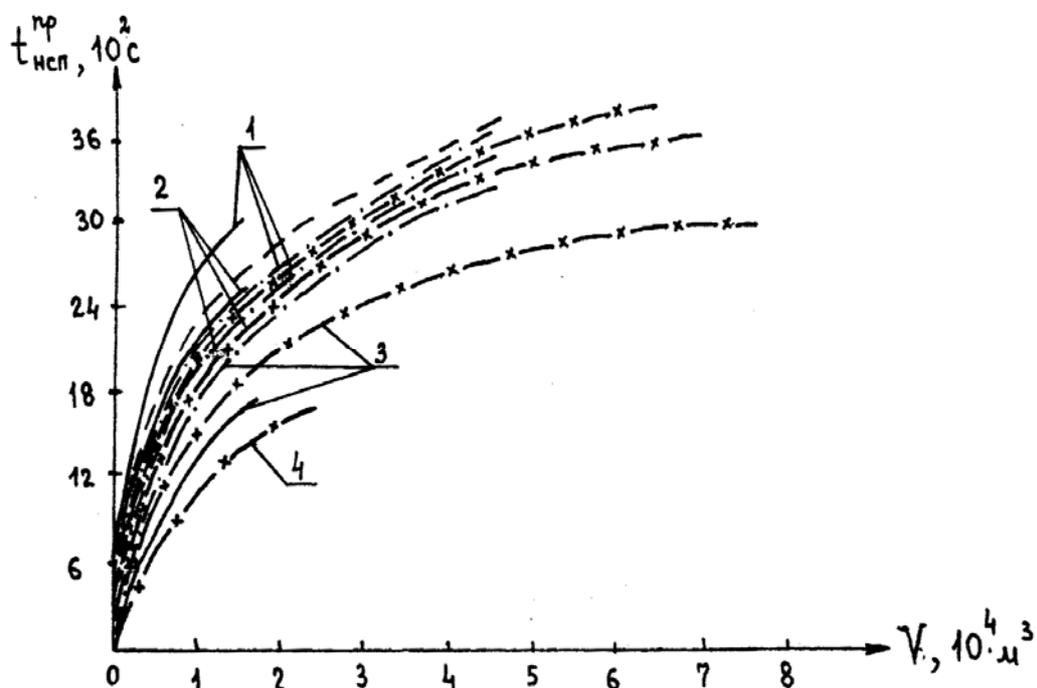


Рис 3.8. Зависимость $t_{\text{нсп}}^{\text{пр}} = f(V, H, g)$.

— $H=6,6$ м: 1- $g=(2,4, \dots, 14)$ $\text{кг}/\text{м}^2$; 2- $g=(67, \dots, 119)$ $\text{кг}/\text{м}^2$; 3- $g=640$ $\text{кг}/\text{м}^2$.

— · — $H=7,2$ м: 1- $g=(60, \dots, 66)$ $\text{кг}/\text{м}^2$; 2- $g=(82, \dots, 155)$ $\text{кг}/\text{м}^2$; 3- $g=200$ $\text{кг}/\text{м}^2$.

— × — $H=8$ м: 1- $g=60$ $\text{кг}/\text{м}^2$; 2- $g=(140, \dots, 160)$ $\text{кг}/\text{м}^2$; 3- $g=(210, \dots, 250)$ $\text{кг}/\text{м}^2$;

4- $g=(500, \dots, 550)$ $\text{кг}/\text{м}^2$.

— — $H=4,8$ м: 1- $g=(68, \dots, 70)$ $\text{кг}/\text{м}^2$.

1 - $H=3$ м; 2 - $H=6$ м; 3 - $H=12$ м.

Количество приведенной нагрузки вычисляют по формуле

$$g = \sum_{i=1}^n g_i, \quad (3.52)$$

где $g_i = g_{mi} \frac{Q_{vi}}{13,8}$ - количество приведенной пожарной нагрузки, состоящей из i -го горючего или трудногорючего материала;

g_{mi} - количество горючего или трудногорючего i -го материала на единицу площади, кг/м²;

Q_{vi} - теплота сгорания i -го материала, мДж/кг.

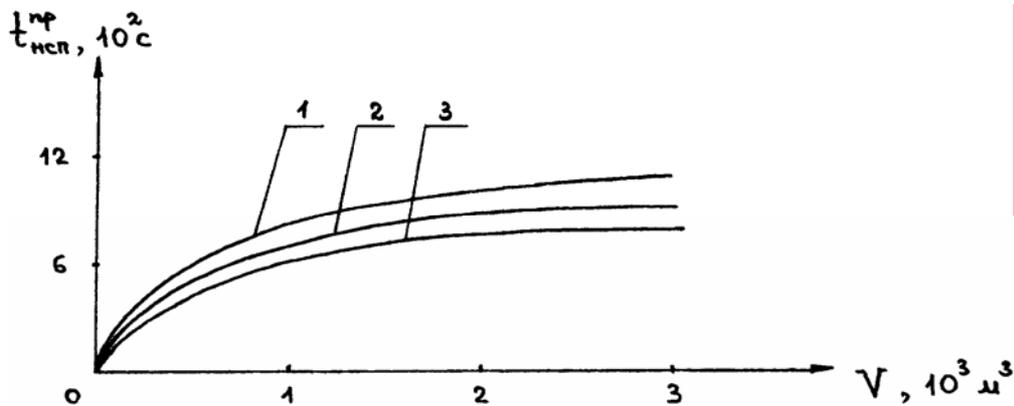


Рис 3.9. Зависимость $t_{нсн}^{пр} = f(V, H)$.

Продолжительность начальной стадии пожара:
для помещений с объемом $V \leq 3 \cdot 10^3 \text{ м}^3$

$$t_{нсн} = 0,94 \cdot 10^{-2} \cdot t_{нсн}^{пр} \left(\frac{1}{V_{всп} Q_{вс} V_n^2} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (3.53)$$

для помещений с объемом $V > 3 \cdot 10^3 \text{ м}^3$

$$t_{нсн} = 0,89 \cdot 10^{-2} \cdot t_{нсн}^{пр} \left(\frac{0,73 + 0,01g}{V_{всп} Q_{вс} V_n^2} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (3.54)$$

где $t_{нсн}^{пр}$ - продолжительность начальной стадии пожара в с., определяемая по графикам (рис 3.8 и 3.9)

$V_{всп}$ - средняя скорость выгорания пожарной нагрузки в начальной стадии пожара, кг/м²с, вычисляемая по формуле

$$V_{всп} = \frac{\sum_{i=1}^n g_{mi} V_{ei}}{\sum_{i=1}^n g_{mi}};$$

V_{ei} - скорость выгорания в начальной стадии пожара i -го материала пожарной нагрузки, кг/м²с;

$Q_{вс}$ - средняя теплота сгорания пожарной нагрузки, мДж/кг, которую вычисляют по формуле:

$$Q_{vc} = \frac{\sum_{i=1}^n g_{mi} Q_{vi}}{\sum_{i=1}^n g_{mi}} ;$$

V_n – линейная скорость распространения пламени, м/с. Допускается в качестве V_n принимать максимальное значение для составляющих пожарную нагрузку материалов.

$$\text{Площадь пожара: } F_n = \left(\frac{t_i}{t_{нсп}} \right)^2 F, \quad (3.55)$$

где t_i – время локализации пожара, с;

F – площадь занимаемая пожарной нагрузкой, м².

Если промежуток времени с возникновения пожара до начала пожаротушения равен или больше величины $t_{нсп}$, площадь пожара принимается равной площади, на которой расположена пожарная нагрузка.

При горении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей площадь пожара принимается равной площади предполагаемого разлива. При невозможности рассчитать среднюю площадь пожара допускается принимать данные по аналогичным объектам. В соответствии со статическими данными средние значения площади пожара в производственных зданиях составляют: I и II степени огнестойкости - 93,5 м², III и IV степени огнестойкости - 148,8 м², крупных пожаров на нефтеперерабатывающих заводах 1430 м² [40].

Пример.

Определить площадь пожара в производственном здании, пожарная нагрузка которого расположена на всей площади здания и определяется древесиной $g_{мд}=30$ кг/м², пенополистиролом $g_{мп}=20$ кг/м² и бумагой $g_{мб}=5$ кг/м². Размеры здания длина $L=20$ м, ширина $B=7$ м, высота $H=6$ м. Время локализации пожара автоматической системой пожаротушения 10 с.

Решение.

1. Находим объем помещения $V=L \cdot B \cdot H=20 \cdot 7 \cdot 6=840$ м³ и из графика (рис. 3.9.) $t_{нсп}^{np} = 7 \cdot 10^2$ с.

2. Определяем среднюю скорость выгорания пожарной нагрузки в начальной стадии пожара. Скорости выгорания отдельных видов горючих материалов находим, пользуясь таблицей 3.12.

$$V_{всп} = \frac{\sum_{i=1}^n g_{mi} V_{vi}}{\sum_{i=1}^n g_{mi}} = \frac{30 \cdot 0,015 + 20 \cdot 0,0143 + 5 \cdot 0,48}{30 + 20 + 5} = 0,057 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$$

3. Находим по таблице 3.12 теплоту сгорания i -х материалов и определяем среднюю теплоту сгорания пожарной нагрузки

$$Q_{vc} = \frac{\sum_{i=1}^n g_{mi} Q_{vi}}{\sum_{i=1}^n g_{mi}} = \frac{30 \cdot 18,4 + 20 \cdot 31 + 5 \cdot 13,4}{30 + 20 + 5} = 22,5 \text{ МДж/кг}$$

4. Вычисляем продолжительность начальной стадии пожара

$$t_{\text{нсп}} = 0,94 \cdot 10^{-2} t_{\text{нсп}}^{\text{пр}} \left(\frac{1}{V_{\text{всп}} V_{\text{п}}^2 Q_{vc}} \right)^{\frac{1}{3}} =$$

$$= 0,94 \cdot 10^{-2} \cdot 7 \cdot 10^2 \left(\frac{1}{5,7 \cdot 10^{-2} \cdot 22,5 \cdot 1,7 \cdot 10^{-2}} \right)^{\frac{1}{3}} = 24 \text{ с.}$$

5. Определяем площадь пожара

$$F_n = \left(\frac{t_i}{t_{\text{нсп}}} \right)^2 F = \left(\frac{t_i}{t_{\text{нсп}}} \right)^2 \cdot L \cdot B = \left(\frac{10}{24} \right)^2 \cdot 20 \cdot 7 = 24 \text{ м}^2.$$

Дальнейшие исследования направлены на выявление возможного характера распространения пожара по территории ОЭ и его превращения в массовый и сплошной пожары. Распространение пожара по территории ОЭ зависит от плотности его застройки, метеорологических условий и возможности борьбы с пожаром. Для оценки последней проверяется соответствие вместимости пожарных водоемов требуемой по необходимому расходу воды на тушение пожара в течение трех часов, расположение водоемов на территории, удобство подъездов к ним и забора воды из них, удобство подъезда к защищаемым объектам, наличие и исправность стационарных и подвижных средств пожаротушения.

Передача тепла от горящего здания к другим зданиям осуществляется за счет теплоизлучения и конвекции. Конвекция кроме передачи тепла, как правило, определяет и направление распространения пожара в результате переноса искр и горящих головней конвективными потоками. При этом очевидно, что вероятность возгорания соседних зданий существенным образом зависит от плотности застройки. Под плотностью застройки понимается отношение застроенной площади к общей площади, занимаемой ОЭ. Зависимости вероятности распространения пожаров от плотности застройки, вероятности передачи огня от расстояния по теплоизлучению и наличия ветра показаны на рис. 3.10 а,б,в.

Как следует из 3.10, при плотности застройки (6...7%) пожары обычно не распространяются, (7...20%) могут распространяться отдельные пожары, больше 20% вероятно возникновение массовых и сплошных пожаров, при которых пожары возникают более чем в 20% зданий и

сооружений ОЭ и в течение (1...2) часов без принятия мер по тушению происходит распространение огня на подавляющее большинство зданий, расположенных на территории. Как следует из рисунков 3.10 б и в благоприятны для для возникновения и развития пожаров сухая погода и сильные ветры, определяющие направление конвективных потоков. При больших разрывах между зданиями тепловая радиация пламени не является решающим фактором распространения пожара. Распространение огня в этих условиях зависит от скорости ветра, который «прижимает» нагретые продукты горения к негорящим зданиям.

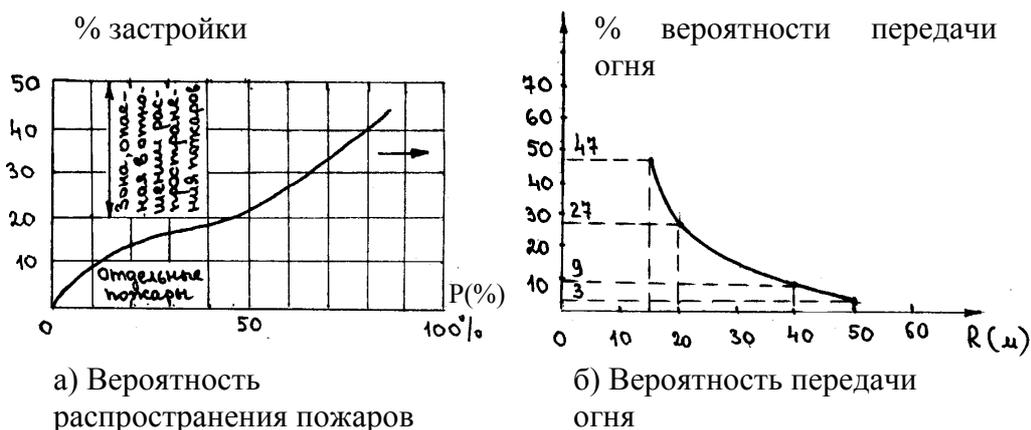


Рис. 3.10. Зависимости вероятности распространения пожаров от плотности застройки (а) и вероятности передачи огня от расстояния (б).

Расстояния, на которые могут переноситься искры, трудно поддаются расчету и могут достигать (200-500)м [10]. Поэтому возможность возгорания и возникновения пожара в соседних с горящим зданиях оценивается по теплоизлучению.

При этом фактические расстояния (противопожарные разрывы) между зданиями и другими объектами на территории ОЭ должны быть больше или равны требуемых в соответствии с условием:

$$r_{\phi} \geq r_T = \sqrt{\frac{c_0 \varphi_1 \varphi_2 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F_{nl}}{\pi J}}, \text{ м}, \quad (3.56)$$

где $c_0 \approx 14,2 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{К}^4)$ - приведенный коэффициент излучения;
 $\varphi_1 \varphi_2 \approx 0,5$ - произведение коэффициентов облученности, учитывающее взаиморасположение излучающей и облучаемой поверхностей; T_1, T_2 - температура пламени, равная при горении деревянных конструкций и жидкостей $\approx 1150 \text{ К}$, лесоматериалов - $\approx 1300 \text{ К}$, и максимально допустимая безопасная температура, при которой еще не происходит воспламенения сгораемых конструкций смежного здания ($T_2 \approx 513 \text{ }^\circ\text{К}$);

$F_{пл} = l_{пл} H_{пл}$ – возможная площадь пламени, м²;

$l_{пл}$ и $H_{пл}$ – соответственно горизонтальный и вертикальный размер пламени, м. $H_{пл} \approx H_{зд}$ – для деревянных зданий, $H_{пл} = 2 \cdot H_{он}$ – для зданий с несгораемыми стенами и $H_{пл} = (2 \dots 2,5) H_{шт}$ – для штабелей пиленого леса;

$H_{зд}$, $H_{он}$, $H_{шт}$ – высота здания, оконных проемов (поэтажно) и штабеля леса, м;

J – минимальная интенсивность облучения, кДж/(м²·ч).



Рис. 3.10. (в) Вероятность распространения пожаров от расстояния между смежными зданиями и наличия ветра.

Для выяснения общей обстановки, которая может сложиться на ОЭ, рассчитывают, пользуясь зависимостями (3.19) или (3.20), радиусы теплового поражения людей $r_{тпл}$ и объектов $r_{тпо}$ и строят картограмму пожарной обстановки. Наличие картограммы позволяет разделить территорию ОЭ на участки по пожарной опасности и определить районы, опасные в отношении быстрого распространения огня и образования массовых и сплошных пожаров. Примерный вид картограммы показан на рис. 3.11.

Обстановка, отображенная на картограмме, свидетельствует о возможности перерастания отдельных пожаров в цехах №1 и №2, №3 и №4 в массовый пожар.

Пожар сопровождается опасными факторами. Опасными факторами пожара (ОФП) являются открытый огонь и искры, повышенная температура окружающей среды и предметов, токсичные продукты горения, дым, пониженная концентрация кислорода, падающие части строительных конструкций, агрегатов, установок и т.п. Доминирующими факторами пожара, как свидетельствует статистика, являются дымообразование и токсичность.

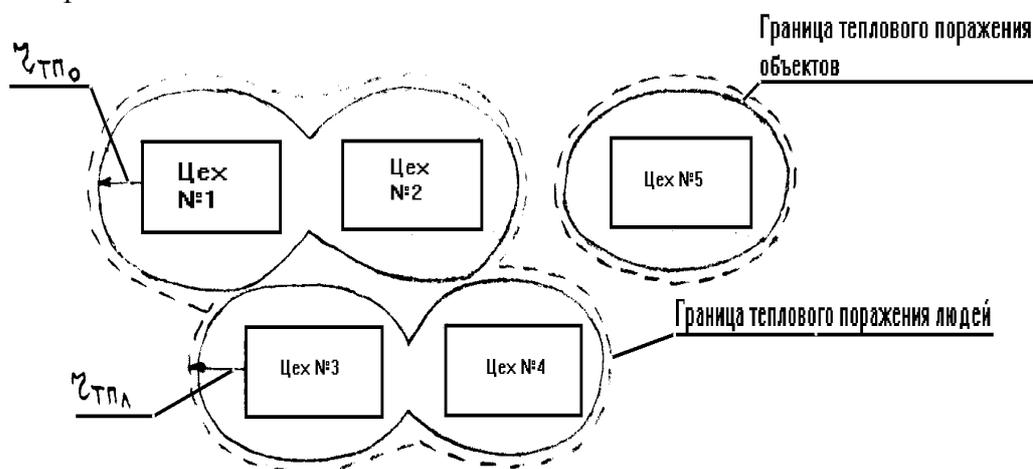


Рис. 3.11. Картограмма пожарной обстановки на ОЭ.

В начальной стадии пожара основную опасность для человека представляют высокие температуры, снижение концентрации кислорода в воздухе помещений и возможность потери видимости вследствие задымления. В стадии развившегося пожара к ним добавляются наличие больших концентраций токсичных веществ и обрушение конструкций. Поэтому на всех стадиях пожара необходима защита производственного персонала, которую следует рассматривать как одно из условий обеспечения устойчивости ОЭ при пожаре. При пожаре может производиться эвакуация людей до наступления критической фазы пожара по ОФП, а при ее нецелесообразности защита на объекте с использованием системы противодымной защиты и средств индивидуальной и коллективной защиты.

При исследовании устойчивости оцениваются обеспеченность и состояние средств индивидуальной и коллективной защиты, соответствие требованиям и возможность беспрепятственного движения людей по эвакуационным путям, наличие и эффективность системы противодымной защиты. Система противодымной защиты должна обеспечивать незадымление, снижение температуры и удаление продуктов горения в течение всего времени действия ОФП. В качестве предела устойчивости ОЭ по критерию защиты условно можно принять время эвакуации при

планировании эвакуации производственного персонала, а условие устойчивости записать в виде:

$$\tau_3 \leq \begin{cases} \Phi_{\text{крт}} \\ \Phi_{\text{кpO2}} \end{cases}, \quad (3.57)$$

где $\tau_3 = \begin{cases} \Phi_{\text{шпэ}} \\ \Phi_{\text{л}} \\ \Phi_{\text{дв}} \end{cases}$, время эвакуации, мин;

В соответствии с работой [33]:

$$\tau_{\text{шпэ}} = \frac{l}{V_1} + \frac{l_1}{V_1} + \frac{l_2}{V_2} + \frac{l_3}{V_1} - \quad (3.58)$$

- продолжительность эвакуации по протяженности путей эвакуации, мин;

$$\tau_{\text{л}} = \tau_{\text{нэ}} + \frac{N_э}{\delta \cdot f} + \frac{l_2}{V_2} + \frac{l_3}{V_1} - \quad (3.59)$$

- продолжительность эвакуации по пропускной способности лестниц, мин;

$$\tau_{\text{дв}} = \tau_{\text{нэ}} + \frac{N_э}{\delta \cdot f} - \quad (3.60)$$

- продолжительность эвакуации по пропускной способности дверей, мин;
 l, l_1, l_2, l_3 - расстояние от наиболее удаленного эвакуированного на первом этаже до ближайшего выхода; наибольшее расстояние от выхода в коридор или из балкона до ближайшей лестницы; длина пути по лестнице, принимаемая равной ее утроенной высоте, и длина пути от лестницы до наружного выхода, м;

v_1 и v_2 - скорость движения по горизонтали и по лестнице, м/мин;

$\tau_{\text{нэ}}$ - время до начала эвакуации через наружные двери, мин.;

$N_э$ - количество эвакуированных, чел.;

δ - суммарная ширина наружных дверей, м;

f - расчетная пропускная способность 1 пог. м дверей или лестниц, чел/(м·мин) ($f=60$ чел/(м·мин));

$$\Phi_{\text{крт}} = \sqrt[3]{\frac{V \cdot c \cdot (t_{\text{кр}} - t_n)}{(1 - \Psi) \pi \cdot Q_v \cdot V_g \cdot V_n^2}} - \quad (3.61)$$

- время наступления критической фазы пожара по температуре, мин;

c - теплоемкость продуктов сгорания, кДж/(м³град);

$t_{\text{кр}}, t_n$ - критическая для человека и начальная температура воздуха, °С ($t_{\text{кр}}=70^\circ\text{C}$);

Ψ - коэффициент, характеризующий потери тепла на нагрев конструкций и окружающих предметов, принимаемый при расчетах равным 0,5;

$$\Phi_{\text{кpO2}} = \sqrt[3]{\frac{V \cdot 0,07}{\pi \cdot W_{\text{O2}} \cdot V_g \cdot V_n^2}} \quad (3.62)$$

- время наступления критической фазы пожара по содержанию кислорода в воздухе помещения, мин;

W_{O_2} - расход кислорода на сгорание 1 кг горючих веществ, м³/кг.

При планировании защиты людей на объекте в качестве предела устойчивости по защите может быть принято время защитного действия средств защиты, а условие устойчивости представлено в виде

$$\tau_{сз} \geq \tau_n, \quad (3.63)$$

где $\tau_{сз}$ – предел устойчивости ОЭ по защите (время защитного действия средств защиты);

τ_n – продолжительность потенциальных пожаров на ОЭ.

3.2.5. Оценка устойчивости ОЭ в условиях химического и бактериологического заражения

Устойчивость работы ОЭ в условиях химического и бактериологического заражения зависит от степени поражения людей. В ходе работы оценивается возможная химическая и бактериологическая обстановка в районе ОЭ и, исходя из нее, возможные потери персонала и время, в течение которого территория предприятия будет представлять опасность для людей. Анализируется влияние заражения на процесс производства, материалы, сырье, готовую продукцию. Оцениваются возможные меры защиты людей: порядок оповещения об опасности, обеспеченность средствами защиты и их эффективность, эффективность защиты продуктов питания и воды, эффективность планов эвакуации, возможность герметизации производственных помещений, работы в условиях обсервации и карантина, возможность проведения работ по обеззараживанию территории предприятия, зданий и сооружений, оборудования и санитарной обработки людей. За предел устойчивости условно может быть принята концентрация аварийного химически опасного или отравляющего вещества ОВ, при которой возможно продолжение производственной деятельности в условиях химического заражения.

Из выражения для токсичной дозы

$$C_i^n = C_i = \frac{D_{нор_i}}{t \cdot K_{\phi, \min}}, \quad (3.64)$$

где $C_i = C_i^n$ - концентрация i -го аварийно химически опасного вещества (АХОВ) или ОВ на открытой территории ОЭ (предел устойчивости к действию i -го АХОВ или ОВ);

$D_{нор_i}$ - пороговая токсодоза i -го АХОВ или ОВ;

$$K_{\Phi_{j\min}} = \frac{C_i^1}{C_i} - \text{коэффициент фильтрации наименее защищенного } j\text{-го}$$

производственного участка (помещения);

C_i^1 - концентрация i -го АХОВ или ОВ внутри j -го помещения;

t – необходимое время работы в условиях заражения.

Если возможно продолжение работы в противогазах, то предел устойчивости может быть определен из соотношения

$$C_i^{\Pi} \cong \frac{C_{\text{пор}i}}{0,01 \cdot K_{\Phi_{j\min}}}, \quad (3.65)$$

где $C_{\text{пор}i}$ - пороговая концентрация i -го АХОВ или ОВ.

Условие устойчивости при химическом заражении может быть записано в виде:

$$C_i^{\Pi} \geq C_{\text{ивозм}i}$$

где $C_{\text{ивозм}i}$ - концентрация i -го АХОВ или ОВ, которая может иметь место на территории ОЭ при авариях на химически опасных объектах и применении оружия.

При определении предела устойчивости коэффициент фильтрации здания может быть определен по формуле

$$K_{\Phi} = \frac{(G_{\text{ок}} \cdot S_{\text{ок}} + G_{\text{сп}} \cdot S_{\text{сп}}) t}{c_{\text{в}} \cdot V}, \quad (3.66)$$

где $G_{\text{ок}}$ и $G_{\text{сп}}$ – соответственно воздухопроницаемость ограждающих конструкций здания (помещения) и его световых проемов, кг/(м²·ч);

$S_{\text{ок}}$ и $S_{\text{сп}}$ – площадь ограждающих конструкций и световых проемов, м²;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м³;

V – внутренний объем здания (помещения), м³.

Нормативные значения воздухопроницаемости ограждающих конструкций и световых проемов зданий и сооружений приведены в таблице 3.15 [58].

Табл. 3.15.

Нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций зданий и сооружений

Ограждающие конструкции	Нормативная воздухопроницаемость, G^H , кг/(м ² г)
- Наружные стены, перекрытия и покрытия жилых, общественных зданий и вспомогательных зданий и помещений промышленных предприятий	0,5
- Наружные стены, перекрытия и покрытия производственных зданий	1

Ограждающие конструкции	Нормативная воздухопроницаемость, G^H , кг/(м ² г)
- Окна и балконные двери жилых и общественных зданий, вспомогательных зданий и помещений промышленных предприятий; окна производственных зданий с кондиционированием воздуха; двери и ворота производственных зданий в районах со средней температурой наиболее холодной пятидневки свыше минус 40 °С	10
- То же с температурой минус 40 °С и ниже	8
- Зенитные фонари и окна производственных зданий с незначительными избытками явного тепла не более 23 Вт/м ³ в районах со средней температурой наиболее холодной пятидневки свыше минус 40 °С	15
- То же с температурой минус 40 °С и ниже	10
- Окна производственных зданий с избытками явного тепла более 23 Вт/м ³ в районах со средней температурой наиболее холодной пятидневки свыше минус 40 °С	30
- То же с температурой минус 40 °С и ниже	20

При отличии воздухопроницаемости ограждающих конструкций от нормативных значений она может быть определена по формуле

$$G_{ок} = \frac{\Delta P}{R_u}, \quad (3.67)$$

где $\Delta P = 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_n - \gamma_{в}) + 0,03 \gamma_n v^2$ (3.68) – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па;

H – высота здания (от поверхности земли до верха карниза), м;

$\gamma_n, \gamma_{в}$ – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, н/м³, определяемый по формуле

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}, \quad (3.69)$$

t – температура воздуха: внутреннего при определении γ_e и наружного при определении γ_n , °С;

v – скорость ветра, м/с;

R_u – сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций, м²·ч·Па/кг. Значение R_u для различных ограждающих конструкций приведены в таблице 3.16 [58].

Табл. 3.16.

Сопротивление воздухопроницанию материалов и конструкций

Материалы и конструкции	Толщина слоя, мм	Сопротивление воздухопроницанию, R_u, м²·ч·Па/кг
Бетон сплошной без швов	100	19620
Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной в один кирпич и более	250 и более	18
То же толщиной в полкирпича	120	2
Кладка из кирпича керамического пустотного на цементно-песчаном растворе толщиной в полкирпича	-	2
Кладка из легкобетонных камней на цементно-песчаном растворе	400	13
Известняк-ракушечник	500	6
Картон строительный без швов	1,3	64
Листы асбоцементные с заделкой швов	6	196
Обшивка из обрезных досок, соединенных в шпунт	20-25	1,5
Обшивка из обрезных досок, соединенных в шпунт	20-25	1,5
Обшивка из древесно-волоконистых листов с заделкой швов	10	3,3
Обшивка из гипсовой сухой штукатурки с заделкой швов	10	20
Пенобетон автоклавный без швов	100	1960
Пенополистирол	50-100	79
Рубероид	1,5	воздухопроницаем
Толь	1,5	490
Штукатурка цементно-песчаным раствором по каменной или кирпичной кладке	15	373

Сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции равно сумме сопротивлений отдельных слоев, т.е.

$$R_u = R_{u1} + R_{u2} + \dots + R_{un}. \quad (3.70)$$

Воздухопроницаемость окон, балконных дверей и фонарей производственных, жилых и общественных зданий определяется по формуле:

$$G = \frac{1}{R_u} \cdot \left(\frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (3.71)$$

где $\Delta P_0 = 10 \text{ Па}$ – разность давления воздуха, при которой определяется сопротивление воздухопроницанию R_u . Значения R_u для световых проемов приведены в табл. 3.17 [58].

Сопротивление воздухопроницанию световых проемов с металлическими переплетами и балконных дверей в 0,8 раз меньше значений, приведенных в таблице; окон без открывающихся створок равно $1 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$; зенитных фонарей – $0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$.

Табл. 3.17.

Сопротивление воздухопроницанию световых проемов

Заполнение светового проема	Число уплотненных притворов заполнения	Сопротивление воздухопроницанию R_u световых проемов с деревянными переплетами и уплотнением прокладками из, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$		
		пенополиуретана	губчатой резины	полушерстяного шнура
Одинарное остекление или двойное остекление в спаренных переплетах	1	0,26	0,16	0,12
Двойное остекление в отдельных переплетах	1	0,29	0,18	0,13
	2	0,38	0,26	0,18
Тройное остекление в раздельно-спаренных переплетах	1	0,30	0,18	0,14
	2	0,44	0,26	0,20
	3	0,56	0,37	0,27

Пример.

Определить предел устойчивости ОЭ, если необходима его работа в условиях заражения хлором в течение одного часа. Площадь ограждающих конструкций, световых проемов и объем здания наименее защищенного цеха соответственно равны 2400 м^2 , 200 м^2 и $10\,000 \text{ м}^3$. Нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций $1 \text{ кг} / \text{м}^2 \cdot \text{ч}$,

световых проемов $10 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$. Плотность воздуха $\rho_v=1,293 \text{ кг/м}^3$, пороговая токсодоза хлора $D_{\text{пор}}=0,6 \text{ мг} \cdot \text{мин/л}$. Противогазами производственный персонал не обеспечен.

Решение.

1. Определяем коэффициент фильтрации здания цеха

$$K_{\phi} = \frac{(1 \cdot 2400 + 10 \cdot 200) \cdot 1}{1,293 \cdot 10000} \cong 0,34$$

2. Находим предел устойчивости ОЭ по заражению его территории хлором.

$$C_{\text{Cl}_2}^{\text{п}} = \frac{0,6}{1 \cdot 60 \cdot 0,34} \cong 0,03 \text{ мг/л}$$

Ранее приведенные выражения для предела устойчивости 3.64 и 3.65 отражают условие непоражения производственного персонала. Однако ОЭ может продолжать работу, как правило, и при сокращенном его составе, т.е. при наличии определенных потерь. С учетом этого обстоятельства условие устойчивости может быть записано в виде, представленном в разделе 3.2.2, т.е.

$$N_j - N_{nj} > N_{\text{min}j} \text{ и } \sum_{i=1}^n (N_j + N_{nj}) \geq N_{\text{min}}$$

где i – количество j -х категорий производственного персонала, N_j и N_{nj} – соответственно штатная численность и количество потерь j -го персонала, $N_{\text{min}j}$ и N_{min} – минимальное количество j -го персонала ОЭ в целом, при котором возможно продолжение производственной деятельности.

Сведения о возможных потерях производственного персонала ОЭ при концентрациях АХОВ и ОВ, превышающих пределы устойчивости, определенные по формулам 3.64 и 3.65, приводятся в специальной литературе. В частности, некоторые сведения приведены в работах [29] и [39]. Ниже для удобства пользования приведена табл. 3.18 из работы [29].

При возникновении районов биологического заражения в зонах ЧС санитарные потери производственного персонала ОЭ зависят от своевременности и полноты проведения комплекса санитарно-гигиенических и противоэпидемических мероприятий. Под санитарными потерями при этом понимается число заболевших людей вследствие распространения инфекции на этапе развития эпидемического процесса и, следовательно, исключенных из производственного процесса. Потери производственного персонала при этом могут быть оценены с использованием зависимости

$$C_n = K \cdot I \cdot (1-H) \cdot (1-P) \cdot E,$$

где C_n – санитарные потери производственного персонала, чел., K – численность зараженного и контактировавшего производственного персонала, чел., I – контагиозный индекс, H – коэффициент

неспецифической защиты, P – коэффициент специфической защиты (коэффициент иммунности), E – коэффициент экстренной профилактики (антибиотико-профилактики).

Табл. 3.18.

Возможные потери людей в очаге химического поражения, %

Вид АХОВ	Район аварии					В зоне распространения облака				
	Процент обеспечения людей средствами индивидуальной защиты									
	0	20	50	70	100	0	20	50	70	100
Окись углерода	–	–	–	–	–	20	15	10	7	1,5
Хлор, аммиак, сернистый ангидрид	90-100	75	50	35	5-10	30	22	16	10	2
Фосген, синильная кислота	–	–	–	–	–	40	30	20	15	3

Примечание:

1. В зданиях и защитных сооружениях ГО с отключенной фильтровентиляцией потери в 2 раза меньше.
2. Ориентировочная структура поражения: легкой степени – 25%, средней и тяжелой степени, нуждающихся в госпитализации, – 40%, со смертельным исходом – 35%.

Величина « K » определяется в зависимости от установления инфекционной формы эпидемиологического очага. Принимается, что при высококонтагиозных инфекциях 50% производственного персонала подвергается заражению. При контагиозных и малоконтагиозных инфекциях заражение людей может составить (10-20)% от общего количества производственного персонала ОЭ.

Контагиозный индекс « I » представляет собой численное выражение готовности к заболеванию при первичном инфицировании каким-либо определенным возбудителем. Этот индекс показывает степень вероятности заболевания человека после инфицирования (контакта с больным).

Коэффициент неспецифической защиты « H » зависит от своевременности проведения санитарно-гигиенических и противоэпидемических мероприятий, защищенности воды и продуктов питания от заражения возбудителями, разобщения людей на мелкие группы при воздушно-капельных инфекциях, индивидуальных средств защиты от насекомых и других факторов. Он может составлять при

отличной санитарно-противоэпидемической подготовке производственного персонала 0,9; хорошей – 0,7; удовлетворительной – 0,5; неудовлетворительной – 0,2. Если ОЭ попал в зону катастрофы биологически опасного объекта, то в любом случае коэффициент «Н» будет равен 0,1.

Коэффициент специфической защиты «Р» учитывает эффективность различных видов вакцин, рекомендуемых для специфической профилактики инфекционных заболеваний в настоящее время.

Коэффициент экстренной профилактики «Е» соответствует защите антибиотиками от данного возбудителя болезни. Значения индекса «И», коэффициента «Р» для иммунизированного против соответствующей инфекции производственного персонала, и коэффициента «Е» приведены в табл. 3.19.

Если тип вспышки заболевания не установлен и не производилась иммунизация производственного персонала, коэффициент иммунитета с некоторым приближением можно считать равным 0,5. Если не проводилась экстренная профилактика, коэффициент «Е» принимается равным 1,0

Табл. 3.19.

Значения индекса «И» и коэффициентов «Р» и «Е»

Коэффициент, индекс Заболевание	Контагиозный индекс, <i>I</i>	Коэффициент иммунитета, <i>P</i>	Коэффициент экстренной профилактики, <i>E</i>
Бубонная чума	0,2	0,8	0,3
Дифтерия	0,2	0,65	0,5
Менингококковая инфекция	0,2	0,55	0,5
Бруцеллез	0,2	0,75	0,75
Сибирская язва	0,4	0,5	0,5
Брюшной тиф	0,4	0,5	0,4
Вирусный гепатит «А»	0,4	0,55	0,4
Туляремия	0,5	0,55	0,5
Ку-лихорадка	0,5	0,55	0,5
Сыпной тиф	0,5	0,55	0,6
Клещевой энцефалит	0,5	0,8	0,6
Сап	0,6	0,8	0,9

Коэффициент, индекс Заболевание	Контагиозный индекс, <i>I</i>	Коэффициент иммунности, <i>P</i>	Коэффициент экстренной профилактики, <i>E</i>
Мелиоидоз	0,6	0,8	0,75
Пситтакоз	0,6	0,8	0,9
Холера	0,6	0,5	0,2
Геморрагические лихорадки	0,7	0,75	0,3
Корь	0,75	0,65	–
Легочная чума	0,8	0,5	0,5
Скарлатина	–	0,55	0,75
Другие контактные инфекции	0,5–0,6	–	–

Оценка санитарных потерь возможна также табличным методом. В табл. 3.20 (по А.М.Мясенко) приведены ориентировочные санитарные потери при передаче инфекции аэрогенным путем.

Табл. 3.20.

**Ориентировочные санитарные потери
при передаче инфекции аэрогенным путем**

%	% персонала, принимающего средства экстренной профилактики										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	<u>65</u>	<u>65</u>	<u>65</u>	<u>65</u>	<u>65</u>	<u>65</u>	<u>65</u>	<u>65</u>	<u>65</u>	<u>65</u>	<u>65</u>
	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	58,3	53,9	49,4	44,8	40,3	36,7	31,2	26,6	22,1	17,5	13,0
10	<u>60</u>	<u>60</u>	<u>60</u>	<u>60</u>	<u>60</u>	<u>60</u>	<u>60</u>	<u>60</u>	<u>60</u>	<u>60</u>	<u>60</u>
	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	54,4	49,8	45,6	41,4	37,2	33,0	28,8	24,6	20,4	16,2	12,0
20	<u>55</u>	<u>55</u>	<u>55</u>	<u>55</u>	<u>55</u>	<u>55</u>	<u>55</u>	<u>55</u>	<u>55</u>	<u>55</u>	<u>55</u>
	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	49,5	45,6	41,8	37,9	34,0	30,2	26,3	22,4	18,5	14,6	11,0
30	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>50</u>
	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	45,4	41,1	38,3	34,0	31,1	27,2	24,3	20,4	17,5	13,6	10,0

	0	5	0	5	0	9	0	5	0	5	0
	<u>45,</u>										
40	<u>0</u>										
	40,	37,	34,	31,	27,	24,	21,	18,	15,	12,	9,0
	<u>0</u>	3	2	0	9	7	6	4	3	1	
	<u>40,</u>										
50	<u>0</u>										
	36,	33,	30,	27,	24,	22,	19,	16,	13,	10,	8,0
	<u>0</u>	2	2	6	8	0	2	4	6	8	
	<u>35,</u>										
60	<u>0</u>										
	31,	29,	26,	24,	21,	19,	16,	14,	11,	9,4	7,0
	<u>0</u>	5	0	6	1	7	2	8	3	9	
	<u>30,</u>										
70	<u>0</u>										
	27,	24,	22,	20,	18,	16,	14,	12,	10,	8,1	6,0
	<u>0</u>	9	8	7	6	5	4	3	3		
	<u>25,</u>										
80	<u>0</u>										
	22,	20,	19,	17,	15,	13,	12,	10,	8,5	6,7	5,0
	<u>0</u>	5	7	0	2	5	7	0	2		
	<u>20,</u>										
90	<u>0</u>										
	18,	16,	15,	13,	12,	11,	9,6	8,2	6,8	5,4	4,0
	<u>0</u>	0	6	2	8	4	0				

Примечание: числитель – % зараженных, знаменатель – % заболевших от общего количества производственного персонала.

В военное время при применении биологического оружия потери определяются количеством производственного персонала, не способным выполнять свои функциональные обязанности в результате воздействия первичного и вторичного аэрозоля биологического средства (БС), а также за счет эпидемического распространения заболевания. Потери зависят от степени достижения внезапности применения биологического оружия, типа примененного БС и степени запущенности производственного персонала.

Принято считать, что усредненные потери незащищенного производственного персонала от воздействия первичного аэрозоля БС $P_{нз}$ составят 75%, если ОЭ попадает в зону опасного заражения, 35% в зоне умеренного заражения и 10% в зоне слабого заражения. При попадании территории ОЭ во все зоны потери ею производственного персонала могут быть оценены с использованием зависимости

$$P_{нз} = \frac{(0,75 \cdot N_{он} + 0,35 \cdot N_{ум} + 0,1 \cdot N_{сл}) \cdot 100}{N},$$

где N – количество производственного персонала ОЭ; $N_{оп}$, $N_{ум}$, $N_{сл}$ – соответственно количество производственного персонала ОЭ, оказавшегося в зонах опасного, умеренного и слабого заражения.

В условиях биологического заражения также, как и при других видах заражения, важную роль играют защитные возможности производственных зданий и сооружений.

Степень защищенности производственного персонала учитывается с помощью коэффициента защищенности, представляющего собой отношение потерь незащищенного и защищенного персонала. Коэффициент этот равен произведению коэффициента фильтрации здания, один из способов определения которого приведен выше, и коэффициента, учитывающего защищенность людей средствами экстренной профилактики, т.е.

$$K_3 = K_{\phi} \cdot K_{эп}.$$

С учетом защищенности потери производственного персонала составят

$$П_3 = П_{нз} / K_3.$$

После прохождения первичного аэрозольного облака производственный персонал ОЭ может подвергаться воздействию вторичного аэрозоля. Заражение вторичным аэрозолем происходит поднятыми с поверхности почвы частицами БС, осевшими от первичного аэрозоля, ветром, при движении транспорта, техники и людей. Наиболее опасные условия создаются в летнее время при сухой почве. В зимнее время и в дождливую погоду образование вторичного аэрозоля маловероятно.

Порядок расчета потерь производственного персонала за счет эпидемического распространения заболевания приведен выше. При этом зараженным считается весь производственный персонал ОЭ. Заражены также производственные здания, сооружения, технологическое оборудование и транспорт объекта. Поэтому для обеспечения устойчивости ОЭ должны быть приняты не только меры по защите персонала, но и меры по дезинфекции указанных объектов.

Пример.

Оценить устойчивость ОЭ при обнаружении в районе его расположения случаев заболевания легочной чумой. Санитарно-эпидемиологическая подготовка производственного персонала оценивается как хорошая. Персонал иммунизирован против данного заболевания. При обнаружении случаев заболевания приняты меры экстренной профилактики. ОЭ способен функционировать при 90% количестве производственного персонала. Общее количество персонала $N=1300$ чел.

Решение.

Определяем численность зараженного и контактировавшего производственного персонала

$K=0,5 \cdot N=0,5 \cdot 1300=650$ чел., т.к. легочная чума является высококонтагиозным заболеванием.

Находим санитарные потери производственного персонала, пользуясь табл. 3.19

$$C_n = K \cdot I \cdot (1-H) \cdot (1-P) \cdot E = 650 \cdot 0,8 \cdot (1-0,7) \cdot (1-0,5) \cdot 0,5 = 38 \text{ чел.}$$

Количество производственного персонала, способного продолжать работу
 $N - C_n = 1300 - 38 = 1262$ чел.

Минимальное количество производственного персонала, достаточное для функционирования ОЭ

$$N_{min} = 0,9 \cdot N = 0,9 \cdot 1300 = 1170 \text{ чел.}$$

Таким образом, $N - C_n > N_{min}$ и ОЭ обладает в данных условиях необходимой устойчивостью.

3.2.6. Оценка устойчивости ОЭ в условиях радиоактивного заражения

Устойчивость работы ОЭ в условиях радиоактивного заражения определяется величиной дозы, которую может получить производственный персонал. Величина дозы в свою очередь зависит от мощности излучения, времени его действия и степени защищенности людей. Мощность излучения определяется составом и количеством выпавших радионуклидов и может быть уменьшена путем проведения дезактивации среды обитания производственного персонала. Время действия излучения зависит от необходимой продолжительности работы ОЭ в условиях заражения, а защищенность – от наличия средств индивидуальной и коллективной защиты и защитных свойств объектов, в которых могут находиться люди.

Каждый ОЭ обладает вполне определенными возможностями в этом отношении и, следовательно, определенной возможностью продолжать работу в условиях радиоактивного заражения, которое характеризуется уровнем радиации или плотностью заражения. Поэтому уровень радиации (плотность заражения) может быть принят в качестве критерия – предела устойчивости, индивидуального для каждого ОЭ, объективно отражая его возможность по продолжению производственной деятельности в условиях радиоактивного заражения. Таким образом, пределом устойчивости ОЭ при радиоактивном заражении условно можно считать уровень радиации на момент выпадения радиоактивных веществ, при котором ОЭ способен выполнять заданные функции. Из выражения для дозы следует, что в случае заражения при ядерном взрыве, аварии на АЭС с разрушением реактора и гипотетической аварии с продолжительностью работы ОЭ до 4-х суток

$$P_{\Pi}=P_{\text{в}}=\frac{(1-n)D_{\text{г}}^1 C}{t^{1-n} \cdot t_{\text{в}}^n - t_{\text{в}}}, \quad (3.72)$$

где $P_{\Pi}=P_{\text{в}}$ – предел устойчивости ОЭ, равный уровню радиации на момент выпадения радиоактивных веществ, при котором производственный персонал получает допустимую дозу облучения и ОЭ в силу этого способен выполнять заданные функции, мГр/ч, Гр/ч;

n – показатель спада уровня радиации;

$$C = \frac{24}{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{k_i}} - \text{среднесуточный коэффициент защищенности}$$

производственного персонала, определяемый принятым режимом радиационной защиты;

t_i и k_i – соответственно время пребывания людей в i -х условиях и коэффициент ослабления радиации в этих условиях;

$t_{\text{в}}$ – время выпадения радиоактивных веществ (начало облучения производственного персонала), ч ,

$$t_{\text{в}} = \frac{R}{V}, \text{ где } R - \text{удаление ОЭ от аварийной АЭС, км;}$$

V – средняя скорость ветра, км/ч;

$D_{\text{г}}^1$ – допустимая доза, получаемая за счет внешнего облучения, мГр, Гр;

Учитывая примерное равенство доз внешнего и внутреннего облучения на ранней и промежуточной стадиях аварии, $D_{\text{г}}^1 \cong 0,5 \cdot D_{\text{г}}$, где $D_{\text{г}}$ – суммарная доза облучения, устанавливаемая Нормами радиационной безопасности [11] в соответствующем периоде аварийной ситуации или допускаемая в военное время.

t – необходимая продолжительность работы ОЭ в условиях заражения.

При гипотетической аварии на АЭС и требуемой продолжительности работы ОЭ в условиях заражения до трёх месяцев, когда спад уровня радиации до 4-х суток после аварии определяется законом $P_t = P_{\text{в}} \left(\frac{t}{t_{\text{в}}} \right)^{-n}$, а

затем – законом радиоактивного распада J-131 $P_t = P_4 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{\text{J}}}}$, предел устойчивости ОЭ может быть определен из выражения:

$$P_{\Pi} = P_{\text{в}} = \frac{96^n \cdot C \cdot D_{\text{г}}^1}{1,44 \cdot t_{\text{в}}^n \left[\frac{(96 - 96^n \cdot t_{\text{в}}^{1-n})}{1,44(1-n)} + T_{\text{Jc}} \left(1 - 2^{-\frac{t}{T_{\text{Jc}}}} \right) \right]}, \quad (3.73)$$

96 – число часов в 4-х сумках, ч;

$T_{Jч}$ и $T_{Jс}$ – период полураспада йода J-131 соответственно в часах и в сутках ($T_{y}=8,05$ суток);

t – необходимая продолжительность работы ОЭ в условиях заражения сверх четырех суток после аварии, сутки.

При продолжительности работы ОЭ в условиях заражения более 3-х месяцев после гипотетической аварии на АЭС для определения предела его устойчивости может быть использована зависимость:

$$P_{\Pi} = P_B = \frac{96^n \cdot C \cdot D_g^1}{1,44 \cdot t_B^n \left[\frac{(96 - 96^n \cdot t_B^{1-n})}{1,44(1-n)} + T_{Jч} \left(1 - 2^{-\frac{86}{T_{Jс}}} \right) + 2^{-\frac{86}{T_{Jс}}} \cdot T_{Cсч} \left(1 - 2^{-\frac{t}{T_{Cсс}}} \right) \right]}, \quad (3.74)$$

где t – необходимая продолжительность работы ОЭ в условиях заражения сверх 3-х месяцев после аварии, сутки;

$T_{Cсч}$ и $T_{Cсс}$ - период полураспада цезия-137 соответственно в часах и в сутках ($T_{Cс}=30$ лет).

Условие устойчивости ОЭ

$$P_{\Pi} \geq P_{Ввозм} \quad (3.75)$$

где $P_{Ввозм}$ - возможная величина уровня радиации на территории ОЭ на момент выпадения радиоактивных веществ.

Возможность продолжения производственной деятельности в условиях радиоактивного заражения связана не только с предельными дозами облучения производственного персонала, но и иногда с невозможностью использования производственных помещений и технологического оборудования из-за их заражения. Значительная часть производственных сооружений и оборудования, оказавшихся в зоне заражения в результате аварии на Чернобыльской АЭС, была утрачена из-за неэффективности дезактивации, не позволившей снизить уровень их заражения до допустимых пределов.

Основным носителем радионуклидов является пыль, которая проникает в помещения через неплотности световых проемов (окна, двери, световые фонари и т.п.). Масса пыли, проникшей в помещение, может быть определена с использованием зависимости [58]:

$$m_{\Pi} \approx \frac{G_{сн} \cdot S_{сн} \cdot t \cdot C_{\Pi}}{C_{В}}$$

где $G_{сн}$ и $S_{сн}$ – соответственно воздухопроницаемость ($\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$) и площадь световых проемов помещения или здания, м^2 ;

t – необходимое время работы ОЭ после выпадения на его территории радионуклидов, ч;

C_{Π} - средняя концентрация пыли в воздухе вне помещения, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\rho_{в}$ – плотность воздуха вне помещения, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Плотность заражения помещения и расположенного в нем технологического оборудования при условии равномерного распределения пыли в воздухе

$$\begin{aligned} \text{в расп/см}^2 \cdot \text{мин:} \quad A_n &= \frac{3,7 \cdot 10^{10} \cdot 60 \cdot A_m}{10^{10} \cdot h \cdot \rho_n \cdot S_r} = \frac{222 \cdot G_{cn} \cdot S_{cn} \cdot C_{cn} \cdot A_m}{h \cdot \rho_s \cdot \rho_n \cdot S_r} \\ \text{в Бк/м}^2: \quad A_n &= \frac{3,7 \cdot 10^4 \cdot m_n \cdot A_m}{h \cdot \rho_n \cdot S_r} \end{aligned} \quad (3.76)$$

где A_T – плотность заражения ОЭ, ки/км²;

h – толщина слоя пыли на поверхности грунта, являющейся носителем радионуклидов, м;

ρ_n – плотность слоя пыли, кг/м³. При расчетах ρ_n рекомендуется принимать равной $2,5 \cdot 10^3$ кг/м³, т.е. плотности сухого песка [58];

S_r – площадь горизонтальных поверхностей строительных конструкций и технологического оборудования, на которых в силу своей специфической природы в основном оседает пыль, м².

За предел устойчивости ОЭ по заражению производственных помещений и технологического оборудования может быть условно принята плотность заражения его открытой территории, при которой зараженность наименее защищенного основного производственного помещения и расположенного в нем технологического оборудования является допустимой. Условие устойчивости ОЭ при этом по данному параметру запишется в виде:

$$A_{T_{\Pi}} > A_T, \text{ где } A_{T_{\Pi}} = \frac{A_{\text{пдоп}} \cdot h \cdot c_v \cdot c_{\Pi} \cdot S'_r}{222 \cdot S'_{\text{сп}} \cdot t \cdot G'_{\text{сп}} \cdot C_{\Pi}}$$

- предел устойчивости ОЭ по заражению производственных помещений, ки/км²;

$S'_r, G'_{\text{сп}}, S'_{\text{сп}}$ – площадь горизонтальных поверхностей строительных конструкций и технологического оборудования, воздухопроницаемость и площадь световых проемов наименее защищенного основного производственного помещения, м²; кг/м²·ч; м²;

A_m – плотность заражения открытой территории ОЭ при аварии на АЭС, ки/км²;

$A_{\text{п доп}}$ – допустимая плотность заражения помещения в расп/(см²·мин).

С учетом дезактивации предел устойчивости A_{T_n} может быть увеличен в «к» раз, где «к» – коэффициент, характеризующий среднее снижение плотности заражения производственных помещений и оборудования в результате проведения дезактивации.

Поскольку $P_T=f(A_T)$ и $P_T=P_v \cdot f(t)$, окончательно в качестве предела устойчивости ОЭ в условиях радиоактивного заражения может быть

принято меньшее из значений P_v , определенных как пределы устойчивости ОЭ по облучению производственного персонала и заражению производственных помещений и технологического оборудования.

Возможность воздействия на аргументы функций $D=f(P,t,C)$ и $A_{\text{п}}=f(G_{\text{СП}},S_{\text{СП}})$ определяет направления исследований устойчивости работы ОЭ в условиях радиоактивного заражения и меры по ее повышению.

В процессе исследований оцениваются возможности ОЭ по проведению дезактивации среды обитания и защите производственного персонала. Анализируются производственные программы и технологии на предмет определения минимально необходимого времени пребывания людей на открытом воздухе и в слабозащищенных производственных помещениях, защитные свойства зданий и сооружений, возможность их герметизации и оснащения эффективными системами вентиляции, возможность обеспечения производственного персонала незараженными продуктами питания и водой, другие вопросы. Прогнозируются возможные уровни радиации, которые могут иметь место при идентифицированных радиационных опасностях. При обнаружении превышения уровней сверх предела устойчивости прогнозируются возможные радиационные последствия и степень их влияния на устойчивость работы ОЭ.

Пример.

Определить предел устойчивости завода по облучению производственного персонала при работе в условиях радиоактивного заражения, если показатель спада уровня радиации равен 0,5. Суточный цикл жизнедеятельности производственного персонала определяется 2 часами нахождения на открытом воздухе, 2 часами нахождения в городском транспорте, 8 часами пребывания в одноэтажных производственных зданиях, 10 часами в жилых 5-ти-этажных зданиях и 4 часами укрытия в убежищах с коэффициентом ослабления 1000. Необходимая продолжительность работы в условиях заражения – 10 суток. Выпадение радиоактивных веществ на территории завода ожидается через 1 час после аварии на АЭС с разрушением реактора.

Решение.

Из справочника определяем коэффициенты ослабления радиации. Находим, что для производственных зданий $K=7$, жилых 5-ти-этажных зданий $k=27$, городского транспорта $k=2$. Находим коэффициент среднесуточной защищенности.

$$C = \frac{24}{\frac{2}{1} + \frac{2}{2} + \frac{8}{7} + \frac{10}{27} + \frac{4}{1000}} \cong 15,5.$$

Находим из НРБ-99 допустимое значение дозы облучения $D_g=50\text{мЗв}$ и, следовательно, $D'_g=25\text{мЗв}$.

Находим предел устойчивости завода

$$P_n = \frac{(1 - 0,5) \cdot 25 \cdot 15,5}{(10 \cdot 24)^{0,5} \cdot 1^{0,5} - 1} \cong 13,4 \text{ мЗв/ч}$$

3.2.7. Оценка устойчивости ОЭ при действии вторичных поражающих факторов

Исследование устойчивости работы ОЭ при действии вторичных поражающих факторов начинается с определения внешних и внутренних потенциально опасных элементов и объектов, на которых возможны аварии при применении оружия в военное время и действии на них поражающих факторов при стихийных бедствиях и авариях на других объектах в мирное время. Далее оцениваются сами вторичные факторы, время начала, продолжительность и характер их действия на ОЭ, возникающие очаги поражения, возможный ущерб. При оценке устойчивости оперируют теми же понятиями пределов, которые были изложены выше. Результаты исследований обычно представляют в виде таблицы. 3.21.

Табл. 3.21.

Формат: Список

Оценка действия вторичных поражающих факторов

Источник вторичного поражающего фактора	Месторасположение источника поражающего фактора относительно ОЭ	Характер воздействия на ОЭ	Район, характер и продолжительность воздействия	Возможный ущерб	Меры по снижению ущерба
Внутренние источники					
Окрасочная установка	Территория предприятия	Взрыв, возможен пожар	Цех № 1 сразу после взрыва	Средние разрушения цеха № 1 и его	При реконструкции предпри-

				технологического оборудования.	ятия вынос установки за пределы цеха
Внешние источники					
Городская водопроводная станция	1 км южнее предприятия	Заражение территории хлором с концентрацией от 0,6 до 2 мг/л	Через 0,5 часа	Прекращение производства на 2 часа, возможно поражение рабочих и служащих	Обеспечение противогАЗа ми всего персонала, укрытие на время заражения в убежище

3.2.8. Оценка устойчивости энергообеспечения ОЭ

Устойчивость энергообеспечения ОЭ зависит от устойчивости внешних и внутренних источников энергии и сетей. Поэтому задача оценки сводится к получению и анализу данных по устойчивости источников энергии и энергетических сетей, а также к определению времени, в течении которого ОЭ может работать автономно. Последнее зависит от наличия на объекте резервных источников энергообеспечения, их способности работать на различных энергоносителях, запасов энергоносителей и надежности их хранения. Время автономной работы является пределом устойчивости ОЭ при нарушении его внешнего энергоснабжения. Пределы устойчивости основных и резервных источников энергии, внешних и внутренних энергетических сетей к действию поражающих факторов определяются при оценке устойчивости основных производственных фондов исследуемого ОЭ и объектов поставщиков энергии.

За пределы устойчивости систем энергообеспечения к действию i-х поражающих факторов условно принимают пределы устойчивости их наиболее слабых элементов, а за предел устойчивости энергообеспечения ОЭ в целом – предел устойчивости наименее устойчивой энергосистемы. Оценке также подвергаются защищенность и возможные потери производственного персонала, обслуживающего энергосистемы.

3.2.9. Оценка устойчивости материально-технического обеспечения производства и сбыта готовой продукции

Устойчивость материально-технического обеспечения ОЭ и сбыта готовой продукции зависят от устойчивости работы смежников и поставщиков сырья, материалов, комплектующих изделий, энергоносителей и т.п., а также потребителей продукции в условиях ЧС; устойчивости инфраструктуры; наличия запасов и надежности их хранения. Поэтому при оценке материально-технического обеспечения ОЭ и сбыта продукции рассматриваются эти вопросы с целью определения «узких мест». В процессе оценки устанавливаются наиболее дефицитные материалы и изделия, прорабатываются вопросы создания их запасов и замены. Осуществляется поиск дублирующих поставщиков и потребителей, способов транспортировки, способов надежного хранения запасов и готовой продукции.

Пределом устойчивости ОЭ по материально-техническому обеспечению при нарушении поставок и сбыта является время, в течение которого ОЭ может работать автономно.

Определение пределов устойчивости систем материально-технического обеспечения и сбыта готовой продукции ОЭ к действию поражающих факторов аналогично определению предела устойчивости системы энергообеспечения.

3.2.10. Оценка устойчивости системы управления производством

При оценке устойчивости системы управления производством рассматриваются вопросы, связанные с подготовкой управленческого персонала, наличием и готовностью пунктов управления, их устойчивостью к действию поражающих факторов, устойчивостью средств связи и эффективностью организации управления в различных ситуациях. Рассматриваются различные варианты обеспечения устойчивости управления и его восстановления при нарушении. Определяются пределы устойчивости отдельных элементов и системы в целом к действию различных поражающих факторов.

Условие устойчивости систем энергообеспечения, материально-технического обеспечения, сбыта готовой продукции и управления производством:

$$\Pi_i^{\Pi} \geq \Pi_i,$$

где Π_i^{Π} и Π_i – соответственно предел устойчивости той или иной системы по i -му поражающему фактору и ожидаемая величина i -го поражающего фактора.

3.2.11. Оценка готовности ОЭ к восстановлению в случае получения повреждений

Оценка производится для случая получения ОЭ слабых и частично средних повреждений, которые могут быть устранены собственными силами предприятия.

При оценке рассматриваются варианты плана восстановительных работ при различных ЧС и повреждениях. Оцениваются объемы восстановительных работ, запасы материалов, необходимых для их проведения, условия хранения материалов, обеспеченность работ необходимой документацией, требуемое количество рабочей силы, средств, времени для их восстановления. Оценивается реальность сроков проведения восстановительных работ.

Объем ремонтно-восстановительных работ

$$V = G_з \cdot C_{\delta з} + G_{то} \cdot C_{\delta то} + G_{кэс} \cdot C_{\delta кэс} , \quad (3.77)$$

где $G_з$, $C_{\delta з}$, $G_{то}$, $C_{\delta то}$, $G_{кэс}$, $C_{\delta кэс}$ – соответственно относительная величина возможного ущерба и балансовые стоимости зданий (сооружений), технологического и энергетического оборудования.

Требуемое количество рабочей силы

$$R = \frac{G_з \cdot C_{\delta з}}{P_з} + \frac{G_{то} \cdot C_{\delta то}}{P_{то}} + \frac{G_{кэс} \cdot C_{\delta кэс}}{P_{кэс}} , \quad (3.78)$$

где $P_з$, $P_{то}$, $P_{кэс}$ – соответственно норма выработки на одного человека в год при ремонте зданий, технологического и энергетического оборудования.

Время необходимое для ремонтно-восстановительных работ

$$t_в = \frac{TR}{R'} , \quad (3.79)$$

где R' – ожидаемое количество рабочих после ЧС, которые могут быть привлечены к работам;

R – количество рабочих до ЧС (вероятностная потребность в рабочей силе для ведения восстановительных работ);

$T=12$ – количество месяцев в году.

При $t_в > t_{вд}$, где $t_{вд}$ – директивное время, ОЭ требуется помощь строительных организаций. В военное время $t_{вд}$ определяется потребностью в продукции ОЭ, в мирное время – законами рыночной экономики.

Мощность строительных организаций,

$$W = \frac{T \cdot V \cdot (t_в - t_{вд})}{t_в \cdot t_{вд}} . \quad (3.80)$$

Потребность в материалах

$$Q_i = V \cdot g_i, \quad (3.81)$$

где g_i – норма расхода i -х материалов на единицу объема ремонтно-восстановительных работ, ед/млн.руб

Уровень обеспечения материалами

$$\bar{Q}_i = \frac{Q'_i}{G_i}, \quad (3.82)$$

где Q'_i - математическое ожидание имеющихся на ОЭ i -ых материалов.

Время t_e , в течение которого ОЭ способны восстановить производство, можно рассматривать в качестве предела его устойчивости по этому фактору, а выполнение условия $t_e \leq t_{\text{год}}$ - готовности к ведению восстановительных работ.

Пример.

Определить объем ремонтно-восстановительных работ, потребные силы, средства и время для их выполнения на машиностроительном заводе.

Исходные данные для расчета:

$$C_{\text{з}} = 30 \text{ млн. руб.}; C_{\text{мо}} = 15 \text{ млн. руб.}; C_{\text{кэс}} = 5 \text{ млн. руб.};$$

$$P_{\text{з}} = 27,5 \text{ тыс.руб.}; P_{\text{мо}} = 30 \text{ тыс.руб.}; P_{\text{кэс}} = 27,5 \text{ тыс.руб.}.$$

$$G_{\text{з}} = 0,25; G_{\text{мо}} = 0,15; G_{\text{кэс}} = 0,1.$$

$$R' = 600 \text{ чел.}; t_{\text{год}} = 4 \text{ месяца}.$$

Объем ремонтно-восстановительных работ

$$V = 0,25 \cdot 30 + 0,15 \cdot 15 + 0,1 \cdot 5 = 10,25 \text{ млн.руб.}$$

Потребное количество рабочей силы

$$R = \frac{0,25 \cdot 30000}{27,5} + \frac{0,15 \cdot 15000}{30} + \frac{0,1 \cdot 5000}{27,5} \approx 367 \text{ чел/год}$$

$$\text{Время, необходимое для проведения работ } t_e = \frac{12 \cdot 367}{600} \approx 7,4 \text{ мес.}$$

Мощность строительно-монтажных организаций

$$W = \frac{12 \cdot 10,25(7,4 - 4)}{7,4 \cdot 4} \approx 14,1 \text{ млн.руб./год.}$$

Невыполнение условия $t_e \leq t_{\text{год}}$ – свидетельствует о неготовности ОЭ к ведению восстановительных работ в требуемые сроки собственными силами.

3.3. Вероятностная оценка устойчивости ОЭ

3.3.1. Общий подход к вероятностной оценке устойчивости ОЭ

Вероятностная оценка устойчивости ОЭ предполагает определение вероятности ее нарушения (или сохранения) в условиях ЧС. Общий подход к оценке изложен в работе [19].

Нарушение (потеря) устойчивости ОЭ зависит от возможности проявления опасных явлений в районе его расположения; интенсивности, порождаемых опасными явлениями поражающих факторов, действующих на объект; устойчивости объекта. Поэтому вероятность нарушения устойчивости ОЭ представляет собой произведение вероятности исходного события на условную вероятность получения объектом недопустимых (неприемлемых) повреждений при условии, что исходное событие было. Исходным событием в данном случае является критическая (ее можно также назвать пороговой) ситуация, при которой реализуются поражающие факторы опасного явления с параметрами, превышающими порог (предел) устойчивости ОЭ. Вероятность исходного события, таким образом, представляет собой произведение вероятности опасного явления на условную вероятность превышения поражающими факторами предела устойчивости ОЭ.

Недопустимыми повреждениями ОЭ или его элементов являются повреждения, при получении которых объект не может выполнять заданные функции.

Опасные явления, которыми могут быть природные явления (землетрясения, наводнения и т.п.), техногенные аварии и катастрофы, явления, связанные с применением оружия в военное время, являются редкими событиями. Поэтому их распределение во времени может быть представлено простейшим пуассоновским потоком случайных событий, обладающих свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последствия. Для такого потока случайное число X событий, происходящих за интервал времени Δt , определяется законом Пуассона

$$F(x) = P(X < x) = \sum_{n=0}^x P(n, \Delta t), \quad (3.83)$$

где $P(n, \Delta t) = \frac{(\bar{x}(\Delta t))^n}{n!} \exp(-\bar{x}(\Delta t))$ - вероятность n событий за

интервал времени Δt , $\bar{x}(\Delta t) = \Delta t \cdot \lambda$ - математическое ожидание числа проявлений опасного явления за время Δt (параметр распределения Пуассона), λ - интенсивность событий.

В общем случае опасные явления не всегда подчиняются закону Пуассона. Например, для землетрясений характерна цикличность, т.е. нарушение свойств последствия. Тем не менее при оценках воздействий

на ОЭ со сроком эксплуатации, соизмеримым с периодичностью явлений, их поток в первом приближении может считаться пуассоновским.

Для пуассоновского потока время между событиями подчиняется экспоненциальному закону и вероятность хотя бы одного проявления опасного явления за интервал времени Δt с учетом (3.83) определяется зависимостью:

$$P_{оя}(1, \Delta t) = 1 - R_{оя}(0, \Delta t) = 1 - \frac{(\lambda \Delta t)^0}{0!} \exp(-\lambda \Delta t) = 1 - \exp(-\lambda \Delta t), \quad (3.84)$$

где $R_{оя}(0, \Delta t)$ - вероятность невозникновения опасного явления в течение времени Δt .

Для редких событий при $\lambda \cdot \Delta t \ll 1$ вероятность хотя бы одного проявления опасного явления за время Δt может быть приближенно записана в виде:

$$P_{оя}(1, \Delta t) = \lambda \cdot \Delta t.$$

Уровни поражающих факторов опасного явления, определяющие их поражающее действие, будем характеризовать параметрами q_n . Из-за неопределенности взаимного положения источника опасности и ОЭ, а также других факторов, нагрузку от поражающих факторов, действующую на ОЭ, следует рассматривать как случайную величину Q_n , полной вероятностной характеристикой которой является функция распределения $F_n(q) = P(Q_n < q_n)$.

Критическую нагрузку, при которой устойчивость ОЭ еще не нарушается, обозначим через q_k . Она характеризует устойчивость ОЭ по отношению к рассматриваемому поражающему фактору. Из-за случайного разброса характеристик объектов, неопределенности их состояния в момент действия поражающего фактора и других не учитываемых обстоятельств критическую нагрузку также следует рассматривать как случайную величину Q_k . Вероятностной характеристикой критической нагрузки будет являться функция распределения $F_k(q) = P(Q_k < q_k)$, которую обычно называют физическим или условным законом поражения.

Очевидно, что устойчивость ОЭ может быть нарушена, если уровень поражающего фактора превышает критическую нагрузку, т.е. условие возможного нарушения устойчивости ОЭ должно быть записано в виде:

$$Q_n > Q_k. \quad (3.85)$$

Вероятность выполнения условия (3.58) является условной вероятностью возникновения критической ситуации, связанной с возможной потерей устойчивости ОЭ $P_{кc} = P(Q_n > Q_k)$ при условии, что опасное явление в районе ОЭ имело место. Если $D[Q_n] \gg D[Q_k]$, то разбросом критической нагрузки можно пренебречь, и считать ее детерминированной величиной $Q_k \equiv q_k$. Тогда $P_{кc} = P(Q_n > q_k)$.

Величина $P_{КС}$ в общем случае вычисляется по заданным законам распределения действующей нагрузки и устойчивости ОЭ.

Зависимость вероятности поражения объектов с устойчивостью Q_K от расстояния до возможного источника опасного явления $P_{КС}(r) = P(Q_H(r) > Q_K)$ называют координатным законом поражения. По заданному уровню вероятности $P_{КС}$ его можно аппроксимировать ступенчатым законом. Все объекты с устойчивостью Q_K внутри этой зоны будут получать недопустимые повреждения, т.е. терять устойчивость, с вероятностью не ниже $P_{КС}$. Если эта зона круг, то она будет характеризоваться радиусом зоны потери устойчивости $R_{ПУ}$. Угроза потери устойчивости для объекта наступает с его попаданием в эту зону.

Если возможно одновременное возникновение нескольких видов опасных явлений, то математическое ожидание числа критических ситуаций может быть определено по формуле $\bar{x}_\Sigma(\Delta t) = \sum_{j=1}^m \bar{x}_j(\Delta t) P_{КС_j}$, где m - число видов опасных явлений в районе ОЭ, $P_{КС_j} = P(Q_{H_j} > Q_{K_j})$.

Вероятность возникновения хотя бы одной критической ситуации в этом случае вычисляется по формуле

$$P_{КС_\Sigma}(1, \Delta t) = 1 - \exp(-\bar{x}_\Sigma(\Delta t)). \quad (3.86)$$

По разным причинам устойчивость ОЭ и действующие на них нагрузки с течением времени изменяются. Поэтому в общем случае случайные величины Q_K и Q_H должны быть представлены в виде некоторых зависимостей $Q_K(t)$ и $Q_H(t)$, а выражение (3.86) записано в виде

$$P_{КС_\Sigma}(1, \Delta t / t) = 1 - \exp\left[-\sum_{j=1}^m \bar{x}_j(\Delta t / t) P_{КС_j}(t)\right], \quad (3.87)$$

где $\bar{x}_j(\Delta t / t)$ - математическое ожидание числа опасных явлений j -го вида в районе ОЭ в рассматриваемое время, $P_{КС_j}(t) = P(Q_{H_j}(t) > Q_{K_j}(t))$.

Для определения вероятности $P_{КС_\Sigma}(1, \Delta t)$ при наличии соответствующих исходных данных могут быть использованы статистический, либо вероятностный методы. Статистический метод может быть применен для типовых ОЭ, размещенных и эксплуатируемых в примерно одинаковых условиях и при наличии достаточно представительной статистики. В этом случае

$$P_{КС_\Sigma}(1, \Delta t) = n / N, \quad (3.88)$$

где n и N соответственно число критических ситуаций и ОЭ, находящихся в эксплуатации в течение рассматриваемого интервала времени.

Для редких событий вероятность $P_{K\Sigma}(1, \Delta t)$ рассчитывается по формуле (3.86). При этом параметр Пуассона (математическое ожидание числа критических ситуаций) может быть определен с использованием зависимостей:

$$\bar{x}_{\Sigma}(\Delta t) = \lambda_{\Sigma} \cdot \Delta t \quad (3.89)$$

$$\text{и } \bar{x}_{\Sigma}(\Delta t) = \sum_{j=1}^m \frac{S_{\text{КН}j}}{S_{\text{ОЯ}j}} \bar{x}_j(\Delta t) = \sum_{j=1}^m \frac{S_{\text{КН}j}}{S_{\text{ОЯ}j}} \lambda_j \cdot \Delta t. \quad (3.90)$$

В формуле (3.89) $\lambda_{\Sigma} = \frac{K}{\sum_{i=1}^n t_i}$ - интенсивность критических

ситуаций, K - число критических ситуаций на ОЭ рассматриваемого типа за время $\Delta T \gg \Delta t$, в течение которого интенсивность остается неизменной; $\sum_{i=1}^n t_i$ - суммарная наработка всех ОЭ в течение времени ΔT , объекто-лет; t_i - время эксплуатации i -го ОЭ.

В формуле (3.90) $S_{\text{ОЯ}j}$ - площадь района, в пределах которого проявляется j -е опасное явление; $S_{\text{КН}j}$ - площадь зоны района проявления j -го опасно-го явления, где действуют поражающие факторы, превышающие предел устойчивости ОЭ. Применение формулы (3.90) оправдано в предположении, что местонахождение ОЭ, очагов или эпицентров опасного явления распределено внутри области $S_{\text{ОЯ}}$ равномерно, а зона $S_{\text{КН}} \ll S_{\text{ОЯ}}$ и они не пересекаются.

Достижение и даже превышение поражающим факторами предела устойчивости ОЭ еще не означает потери объектом устойчивости. Это происходит с определенной вероятностью, которая может быть определена с использованием структурно-логических схем (деревьев событий), в данном случае деревьев устойчивости и неустойчивости, показанных на рисунках 3.12 и 3.13.

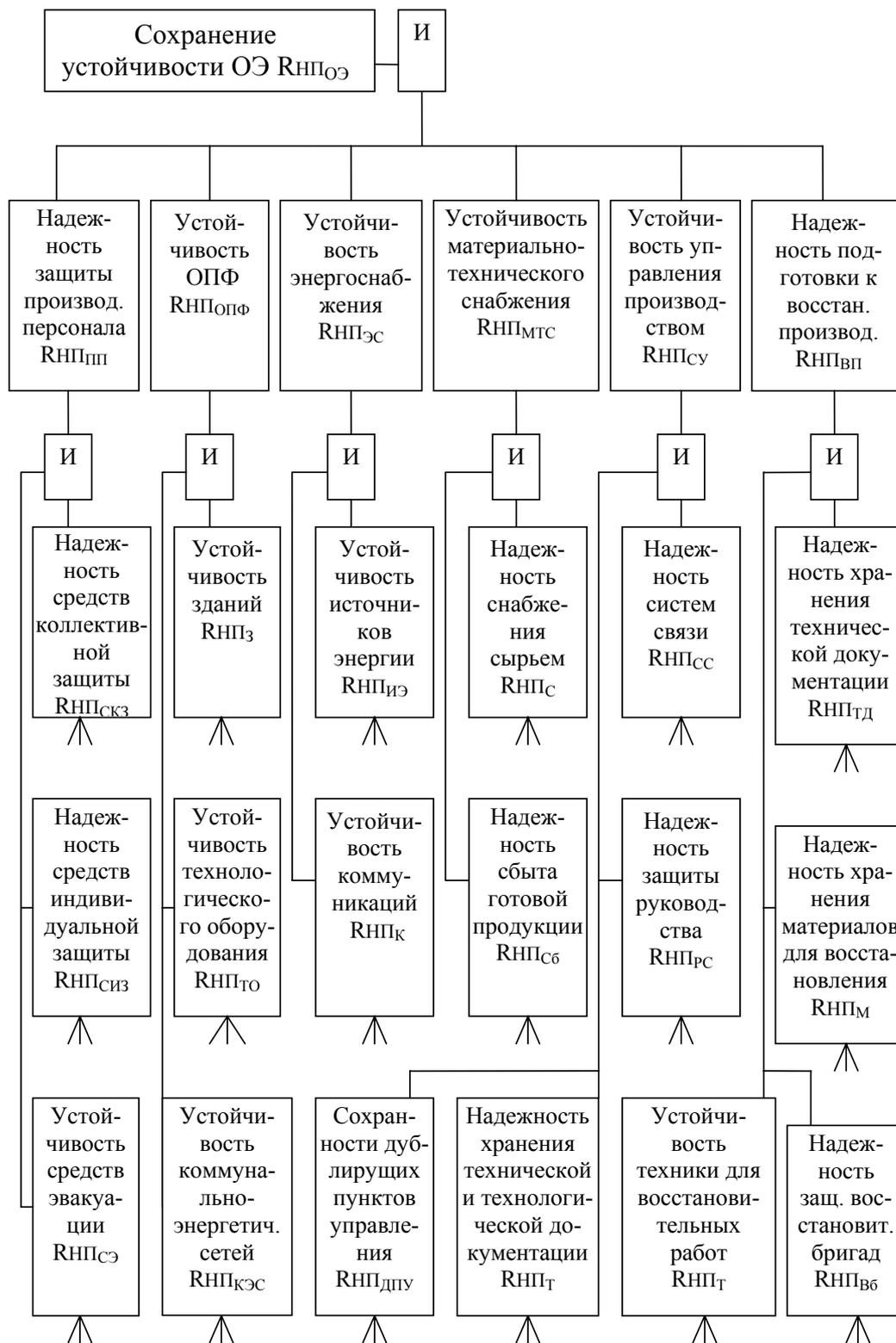


Рис. 3.12. Структурно-логическая схема (дерево) устойчивости ОЭ

Из структуры деревьев следует, что устойчивость ОЭ обеспечивается, если устойчив каждый из его структурных элементов и наоборот. В смысле устойчивости это означает, что ОЭ с нерезервированными элементами следует рассматривать как последовательное соединение элементов, а вероятность потери устойчивости (получения неприемлемых повреждений).

$R_{\text{НПОЭ}}$ и ее сохранения $R_{\text{НПОЭ}}$ определять, используя зависимости:

$$R_{\text{НПОЭ}} = \prod_{i=1}^n R_{\text{НП}_i} \quad \text{и} \quad P_{\text{НПОЭ}} = 1 - \prod_{i=1}^n P_{\text{НП}_i} \quad , \quad (3.91)$$

где $R_{\text{НП}_i}$ - вероятность не получения неприемлемых повреждений i -ым структурным элементом ОЭ. Вероятности получения или не получения неприемлемых повреждений $P_{\text{НП}_i}$ и $R_{\text{НП}_i}$ структурными элементами ОЭ при определенных нагрузках устанавливается с использованием методов математического моделирования, данных модельных, натуральных экспериментов и реальных ЧС.

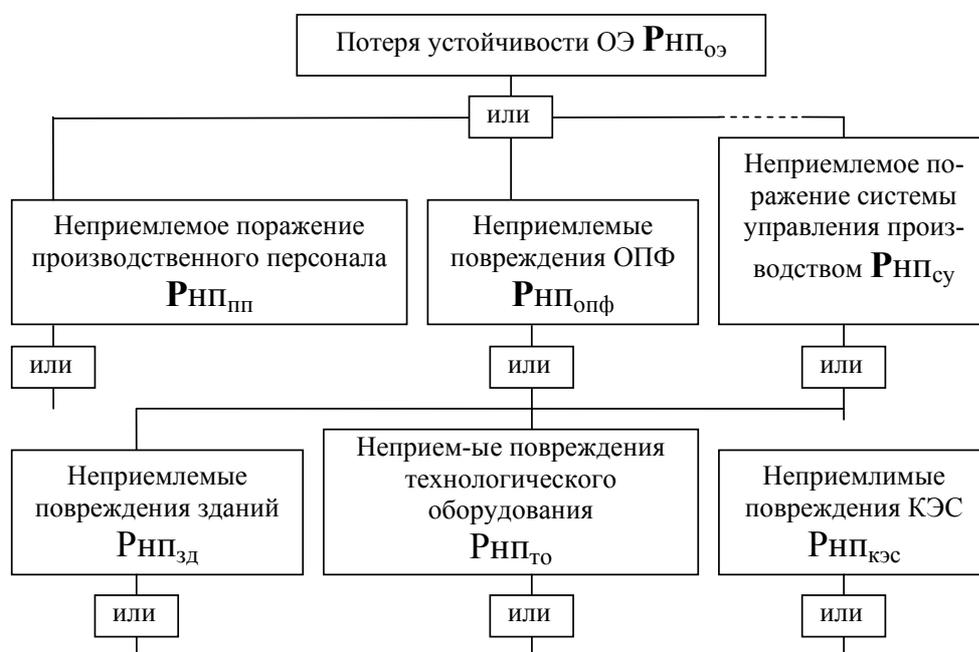


Рис. 3.13. Дерево неустойчивости ОЭ.

Решающую роль в потере или сохранении устойчивости, как следует из формул (3.91) играет наиболее слабый элемент.

С учетом вероятности получения неприемлемых повреждений при нагрузках, соответствующих критической ситуации, вероятность потери

устойчивости ОЭ при i -ой нагрузке в j -ой критической ситуации должна быть записана в виде:

$$P_{ПУ\text{ }OЭji} = P_{КCj}(1, \Delta t)P_{НП\text{ }OЭji}, \quad (3.92)$$

где $P_{НП\text{ }OЭji}$ - вероятность получения неприемлемых повреждений ОЭ при i -ой нагрузке в j -ой критической ситуации.

Характеристика устойчивости совпадает с характеристикой уязвимости (получением неприемлемых повреждений), определяемой как критическая нагрузка $q'_k \equiv q_k$, начиная с которой наступает критическая ситуация с возможной потерей устойчивости ОЭ.

Таким образом, приемлемые и неприемлемые повреждения при нагрузках, равных пределу устойчивости, равновероятны, и их вероятности равны 0,5. При больших значениях нагрузок вероятность неприемлемых повреждений возрастает, достигая в пределе 1. Вероятность потери устойчивости ОЭ с учетом всех возможных критических ситуаций и нагрузок, равных пределу устойчивости, может быть представлена в виде:

$$P_{ПУOЭ\Sigma} = 0,5P_{КC\Sigma}(1, \Delta t) = 0,5\left(1 - \exp\left\{-\bar{x}_{\Sigma}(\Delta t)\right\}\right) \quad (3.93)$$

Пример.

Определить вероятность потери устойчивости ОЭ при достижении поражающими факторами опасных явлений его пределов устойчивости. ОЭ расположен в сейсмоопасном районе с частотой землетрясений $0,1 \text{ год}^{-1}$. В соответствии с прогнозом очаг землетрясения может быть расположен на глубине $h=10$ км. Интенсивность землетрясения в очаге $I_0=9$ баллов. В районе ОЭ также может возникнуть очаг поражения в результате взрыва газозооушной смеси при аварии на магистральном газопроводе. Масса пропана в окружающей среде может достигать $M_0=500$ т. Частота взрывов $0,08 \text{ год}^{-1}$. Время эксплуатации ОЭ $\Delta t=25$ лет. Пределы устойчивости объекта к землетрясениям – 7 баллов, к ударной волне взрыва – 30 кПа.

Решение.

1. Пользуясь зависимостями для интенсивности землетрясения I и избыточного давления на фронте воздушной ударной волны при наземном взрыве газозооушной смеси ΔP_{ϕ} , определяем радиусы площадей районов проявления опасных явлений и их зон, в пределах которых действуют нагрузки, превышающие пределы устойчивости ОЭ. Границами районов проявления опасных явлений считаем окружности с интенсивностью землетрясений $I=3$ балла, при которой начинаются поражения, и избыточном давлении ударной волн $\Delta P_{\phi}=10$ кПа, соответствующем границе очага поражения.

Радиусы площадей района проявления землетрясения и зоны нагрузок, превышающих предел устойчивости ОЭ:

$$R_{36} = \sqrt{\left(\frac{h}{10 \frac{1-1_0}{6}}\right)^2 - h^2} = \sqrt{\left(\frac{10}{10 \frac{3-9}{6}}\right)^2 - 10^2} \cong 99,5 \text{ км},$$

$$R_{76} = \sqrt{\left(\frac{10}{10 \frac{7-9}{6}}\right)^2 - 10^2} \cong 19 \text{ км},$$

Радиусы площадей района очага поражения при взрыве ГВС и зоны нагрузок, превышающих предел устойчивости ОЭ:

$$R_{10\text{кПа}} = R_0 \sqrt[3]{\frac{\left(\frac{230}{\text{ДР}_\Phi} + 1\right)^2 - 1}{0,41}} = 138,3 \sqrt[3]{\frac{\left(\frac{230}{10} + 1\right)^2 - 1}{0,41}} \approx 1544,3 \text{ м},$$

$$R_{30\text{кПа}} = 138,3 \sqrt[3]{\frac{\left(\frac{230}{30} + 1\right)^2 - 1}{0,41}} \approx 780,6 \text{ м},$$

где $R_0 = 1,75 \sqrt[3]{\omega M_0} = 1,75 \sqrt[3]{1 \cdot 500 \cdot 10^3} \approx 138,3 \text{ м}$ - радиус газовоздушного облака, ω - коэффициент участия газа в образовании облака.

2. Определяем математическое ожидание числа критических ситуаций (параметр Пуассона) за время эксплуатации объекта

$$\begin{aligned} \bar{x}_\Sigma(t) &= \sum_{j=1}^m \lambda_j \cdot \Delta t \frac{S_{\text{КН}j}}{S_{\text{ОЯ}j}} = \lambda_3 \cdot \Delta t \frac{\pi R_{76}^2}{\pi R_{36}^2} + \lambda_в \cdot \Delta t \frac{\pi R_{30\text{кПа}}^2}{\pi R_{10\text{кПа}}^2} = \\ &= 0,1 \cdot 25 \frac{19^2}{99,5^2} + 0,08 \cdot 25 \frac{780,6^2}{1544,3^2} \approx 0,6022 \end{aligned}$$

3. Определяем вероятность нарушения устойчивости ОЭ

$$P_{\text{пу оэ}_\Sigma} = 0,5(1 - e^{-\bar{x}_\Sigma(\Delta t)}) = 0,5(1 - e^{-0,6022}) \approx 0,227$$

← Формат: Список

3.3.2. Вероятностная оценка опасного явления

В качестве примера вероятностной оценки опасного явления и одновременно устойчивости объекта к его возникновению рассмотрим метод, рекомендуемый ГОСТ[30]. Метод предназначен для определения вероятности возникновения пожара (взрыва) в пожаровзрывоопасном объекте.

Пожаровзрывоопасность объекта обусловлена пожаровзрывоопасностью его составных частей (аппаратов, установок, помещений).

Поэтому вероятность возникновения пожара (взрыва) в объекте в течение года $Q(\text{ПВ})$ вычисляют по формуле

$$Q(\text{ПВ}) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - Q_i(\text{ПП})], \quad (3.94)$$

где $Q_i(\text{ПП})$ - вероятность возникновения пожара в i -м помещении объекта в течение года;

n - количество помещений в объекте.

Возникновение пожара (взрыва) в любом из помещений объекта (событие ПП) обусловлено его возникновением или в одном из аппаратов, находящихся в этом помещении (событие ПТА _{j}), или в самом помещении (событие ПО _{i}).

$$Q_i(\text{ПП}) = 1 - \left[\prod_{j=1}^m [1 - Q_j(\text{ПТА})] \right] \cdot [1 - Q_i(\text{ПО})]. \quad (3.95)$$

Возникновение пожара (взрыва) в любом из технологических аппаратов или в помещении обусловлено совместным образованием горючей среды (событие ГС) в рассматриваемом элементе объекта и появлением в этой среде источника зажигания (событие ИЗ). При независимости этих событий

$$Q_i(\text{ПО}) = Q_i(\text{ГС}) \cdot Q_i(\text{ИЗ}), \quad (3.96)$$

если они взаимозависимы

$$Q_i(\text{ПО}) = Q_i(\text{ГС}) \cdot Q_i(\text{ИЗ}/\text{ГС}) = Q_i(\text{ИЗ}) \cdot Q_i(\text{ГС}/\text{ИЗ}), \quad (3.97)$$

где $Q_i(\text{ИЗ}/\text{ГС})$ и $Q_i(\text{ГС}/\text{ИЗ})$ - условные вероятности появления источника зажигания в i -м помещении при условии образования горючей среды и наоборот.

Вероятность образования горючей среды

$$Q_i(\text{ГС}) = Q_i(\text{ГВ}) \cdot Q_i(\text{ОК}), \quad (3.98)$$

где $Q_i(\text{ГВ})$ и $Q_i(\text{ОК})$ - вероятности появления достаточного для образования горючей среды количества вещества и окислителя в i -м элементе объекта в течение года.

Вероятность появления в i -м элементе объекта горючего вещества

$$Q_i(\text{ГВ}) = 1 - \prod_{k=1}^m [1 - Q_i(\text{ГВ}_k)], \quad (3.99)$$

$$\text{где} \quad Q_i(\text{ГВ}) = 1 - \prod_{k=1}^m [1 - Q_i(\text{ГВ}_k)] \quad (3.100)$$

-вероятность появления k -го горючего вещества в i -м элементе объекта;

m - количество видов горючих веществ, которые могут появиться в i -м элементе объекта;

$Q_i(a_n)$ – вероятность реализации любой из a_n причин, в число которых могут входить постоянное присутствие в i -м элементе объекта горючего

вещества к-го вида, разгерметизация аппаратов или коммуникаций с горючим веществом, его образование в результате химических реакций, снижение концентрации флегматизатора или нарушение периодичности очистки i-го элемента от горючих отходов (пыли, пуха и т.п.);

Z- количество a_n причин, характерных для i-го элемента объекта;
 n – порядковый номер причины.

На действующих и строящихся объектах вероятность $Q_i(a_n)$ вычисляют на основании статистических данных по формуле

$$Q_i(a_n) = \frac{K_{\sigma}}{\tau_p} \cdot \sum_{j=1}^m \tau_j, \quad (3.101)$$

где τ_j - время существования a_n -й причины при j-й её реализации в течение анализируемого периода времени, мин; m- количество реализаций a_n -й причины; τ_p - анализируемый период времени, мин;

$$K_{\sigma} = 1 + t_{\beta} \cdot \sigma_{\tau_0} / \tau_0 \quad (3.102)$$

- коэффициент безопасности, учитывающий отклонение параметра τ_0 (среднего времени существования пожароопасного события или отказа) от его истинного значения;

$$\tau_0 = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m \tau_j \quad (3.103)$$

При реализации в течение года только одного события $K_{\sigma} = 1$.

Точечная оценка дисперсии D_0 и среднеквадратического отклонения случайной величины τ_j осуществляется по формулам

$$D_0 = \frac{1}{m-1} \cdot \sum_{j=1}^m (\tau_j - \tau_0)^2 \quad \sigma_{\tau_0} = \sqrt{\frac{D_0}{m}} \quad (3.104)$$

Коэффициент t_{β} выбирается из таблицы 3.22 в зависимости от числа степеней свободы (m-1) при доверительной вероятности $\beta = 0,95$.

Табл. 3.22.

Значение коэффициента t_{β}

m - 1	1	2	3..5	6..10	11..20	20
t_{β}	12,71	4,30	3,18	2,45	2,20	2,09

В проектируемых элементах объекта вероятность $Q_i(a_n)$ вычисляют для периода нормальной эксплуатации элемента как вероятность отказа технических устройств, обеспечивающих невозможность реализации a_n -й причины

$$Q_i(a_n) = 1 - P_i(a_n) = 1 - \exp(-\lambda \cdot \tau), \quad (3.105)$$

где $P_i(a_n)$ - вероятность безотказной работы производственного оборудования, исключающего возможность реализации a_n -й причины;

λ - интенсивность отказов этого производственного оборудования, 1/ч;

τ - общее время работы оборудования за анализируемый период времени, ч.

Вероятность появления в исследуемом элементе объекта окислителя (событие ОК)

$$Q_i(\text{ОК}) = 1 - \prod_{k=1}^m [1 - Q_i(\text{ОК}_k)], \quad (3.106)$$

где m - количество видов окислителей (воздуха, кислорода, хлора и др.), которые могут появиться в i -м элементе объекта;

$$Q_i(\text{ОК}_k) = 1 - \prod_{n=1}^z [1 - Q_i(b_n)] \quad (3.107)$$

- вероятность появления в i -м элементе объекта k -го вида окислителя в опасном количестве в течение года. При оценке опасности появления окислителя в объёме помещения или на открытой территории $Q_i(\text{ОК}) = 1$.

$Q_i(b_n)$ - вероятность появления окислителя в i -м элементе объекта по b_n -й причине, которыми могут быть превышение концентрации окислителя, подаваемого в смесь; подсос окислителя; постоянное присутствие окислителя и вскрытие i -го элемента с горючим веществом без предварительного пропаривания;

z - количество b_n причин, характерных для i -го элемента объекта;

n - порядковый номер причины.

Вероятности $Q_i(b_n)$ вычисляют для строящихся и действующих элементов по (3.101), проектируемых – по (3.105).

Вероятность появления источника зажигания $Q_i(\text{ИЗ})$ в i -м элементе объекта вычисляют по формуле

$$Q_i(\text{ИЗ}) = Q_i(\text{ТИ}) \cdot Q_i(\text{ЭИ}) \cdot Q_i(\text{ВИ}), \quad (3.108)$$

где $Q_i(\text{ТИ})$ - вероятность появления в течение года в i -м элементе объекта теплового источника;

$Q_i(\text{ЭИ})$ и $Q_i(\text{ВИ})$ - условные вероятности того, что энергия (температура) теплового источника и время его существования (контакта) с горючей средой достаточны для воспламенения горючей среды.

Вероятность $Q_i(\text{ТИ})$ вычисляют по формуле

$$Q_i(\text{ТИ}) = 1 - \prod_{k=1}^m [1 - Q_i(\text{ТИ}_k)], \quad (3.109)$$

где
$$Q_i(\text{ТИ}_k) = 1 - \prod_{n=1}^z [1 - Q_i(R_n)] \quad (3.110)$$

– вероятность появления в i -м элементе объекта в течение года k -го теплового источника, которыми могут быть разряд атмосферного электричества (событие ТИ_1); электрическая искра (дуга) (событие ТИ_2);

фрикционные искры (искры удара и трения) (событие ТИ₃); открытое пламя (событие ТИ₄); нагрев вещества, отдельных узлов и поверхностей оборудования (событие ТИ₅); очаги экзотермического окисления или разложения в горючем веществе или материале (событие ТИ₆); k- порядковый номер источника;

m- количество тепловых источников, которые могут появиться в i-м элементе объекта;

$Q_i(R_n)$ - вероятность реализации любой из R_n причин появления k-го теплового источника (события ТИ_k). Для события ТИ₁ R_n обозначим через C_n , события ТИ₂ – l_n , события ТИ₃ – f_n , события ТИ₄ – h_n , события ТИ₅ – K_n и события ТИ₆ – m_n ; z- количество причин; n-порядковый номер причины.

Возможными причинами возникновения события ТИ₁ являются молния (соб. C_1), вторичное её воздействие (соб. C_2) и занос высокого потенциала (соб. C_3) в i-й элемент объекта.

Поражение – i-го элемента молнией возможно при совместной реализации двух событий- прямого удара молнии (соб. t_2) и отсутствия или неисправности молниеотвода (соб. t_1). Поэтому вероятность $Q_i(C_1)$ вычисляют по формуле

$$Q_i(C_1) = Q_i(t_2) \cdot Q_i(t_1), \quad (3.111)$$

где $Q_i(t_2) = 1 - \exp(-N_{y,m} \cdot \tau_p)$ (3.112)

- вероятность прямого удара молнии в объект;

τ_p - продолжительность периода наблюдения, год; $N_{y,m}$ - количество прямых ударов молнии в объект за год. Для объектов прямоугольной формы

$$N_{y,m} = (S+6H)(L+6H) \cdot n_y \cdot 10^{-6}, \quad (3.113)$$

круглых $N_{y,m} = (2R+6H)^2 \cdot n_y \cdot 10^{-6};$ (3.114)

S, L, H, R- соответственно длина, ширина, наибольшая высота и радиус объекта, м; n_y - среднее число ударов молнии на 1 км² земной поверхности, определяемое по табл.3.20.

Табл.3.23.

Среднее число ударов молнии на 1 км² земной поверхности

Продолжительность грозовой деятельности за год, ч	20..40	40..60	60..80	80..100 и более
n_y	3	6	9	12

$Q_i(t_1)$ - вероятность отсутствия или неисправности молниеотвода.

$Q_i(t_1) = 1$ при отсутствии или неисправности молниезащиты или при её наличии вычисляется по формуле

$$Q_i(t_1) = \frac{K_{\beta}}{\tau_p} \cdot \sum_{j=1}^m \tau_j + (1 - \beta) \quad (3.115)$$

где τ_j - время существования неисправности молниеотвода при j-й её реализации в течение года, мин;

β - вероятность безотказной работы молниезащиты ($\beta=0,955$ при наличии молниезащиты типа А и $\beta=0,95$ – типа Б);

m - количество неисправных состояний молниезащиты.

Вероятность вторичного воздействия молнии на объект

$$Q_i(C_2) = Q_i(t_2) \cdot Q_i(t_3), \quad (3.116)$$

где $Q_i(t_3)$ - вероятность отказа защитного заземления в течение года. При отсутствии заземления $Q_i(t_3)=1$, при неисправности её вычисляют по формуле (3.93).

Вероятность заноса высокого потенциала в объект $Q_i(C_3)$ определяют аналогично $Q_i(C_2)$ по (3.108). Вероятность $Q_i(t_2)$ при расчёте $Q_i(C_2)$ и $Q_i(C_3)$ вычисляют по формуле (3.112). При этом значения параметров S и L в (3.113) и (3.114) увеличивают на 100 м.

Причинами появления события $ТИ_2$ могут явиться короткое замыкании электропроводки (соб. L_1), электросварочные работы (соб. L_2), искрение электрооборудования (соб. L_3) и разряды статического электричества (соб. L_4).

Вероятность события L_1 определяется совместным появлением событий V_1 и V_2 и вычисляется по формуле (3.111), где событие V_1 – возникновение короткого замыкания электропроводки в i -м элементе в течение года, V_2 – отсутствие или отказ аппаратов защиты в течение года.

Для действующих и строящихся объектов вероятности $Q_i(V_1)$ и $Q_i(V_2)$ вычисляются на основе статистических данных по формуле (3.101), для проектируемых $Q_i(V_2)=1$ при отсутствии аппаратов защиты, а при их наличии её вычисляют как вероятность отказа по формуле (3.105).

Вероятность $Q_i(L_2)$ вычисляется только для строящихся и действующих элементов объекта на основе статистических данных по формуле (3.101).

Вероятность $Q_i(L_3)=1$ при непрерывной работе электрооборудования и несоответствии его категории и группе горючей смеси и 10^{-8} - при соответствии. При периодической работе электрооборудования в первом случае $Q_i(L_3)$ вычисляют по (3.101).

При появлении искры лишь при включении и выключении оборудования в этом же случае $Q_i(L_3)$ определяют аналогично $Q_i(t_2)$ по (3.102). В случае соответствия оборудования горючей среде вычисленное по (3.112) значение $Q_i(L_3)$ умножают на 10^{-8} .

Вероятность $Q_i(L_n)$ вычисляется по формуле (3.116), где событиями являются x_1 - появление в I -ом элементе условий для статической электризации в течение года и x_2 - отсутствие или неисправность защиты от статического электричества в течение года. Вероятность $Q_i(x_1)=1$, если применяют вещества с удельным объемным электрическим сопротивлением, превышающим 10^5 ом·м, в остальных случаях $Q_i(x_1)=0$.

Вероятность $Q_i(x_2)=1$ при отсутствии или неэффективности средств защиты. При их неисправности $Q_i(x_2)$ вычисляется на основании

статистических данных по (3.101). В проектируемых объектах $Q_i(x_2)$ вычисляется по формуле (3.105) на основании данных о надежности средств защиты.

Появление события ТИ₃ может быть связано с применением искроопасного инструмента (соб f_1), с разрушением движущихся узлов и деталей (соб f_2), применением обуви, подбитой металлическими набойками (соб f_3), попаданием в движущиеся механизмы посторонних предметов (соб f_4) и другими событиями.

Вероятности $Q_i(f_1)$, $Q_i(f_2)$, $Q_i(f_3)$, $Q_i(f_4)$ для действующих и строящихся элементов объекта вычисляются на основании статистических данных по (3.101) или (3.112), для проектируемых – по (3.105).

Открытое пламя и искры (соб. ТИ₄) появляются при сжигании топлива в печах (соб h_1), проведении огневых работ (соб h_2), несоблюдении режима курения (соб h_3), отсутствии или неисправности искрогасителей на двигателях внутреннего сгорания (соб h_4) в i -м элементе объекта в течение года.

Вероятности $Q_i(h_1)$, $Q_i(h_2)$, $Q_i(h_3)$, $Q_i(h_4)$ вычисляются по формуле (3.101) на основе статистических данных.

Появление события ТИ₅ сопряжено с нагревом горючего вещества или поверхности оборудования при возникновении перегрузки (соб k_1), отказом системы охлаждения (соб k_2), нагревом поверхностей и горючих веществ при повышенных переходных сопротивлениях электрических соединений (соб k_3), нагревом поверхностей при трении (соб k_4), и нагревом горючих веществ до опасных температур по условиям технологического процесса (соб k_5).

Вероятность $Q_i(k_1)$ вычисляется по формуле

$$Q_i(k_1) = \left\{ 1 - \prod_{m=1}^q [1 - Q_i(y_m)] \right\} \cdot Q_i(z),$$

где $Q_i(y_m)$ – вероятность реализации любой из y_m причин, которыми могут явиться несоответствие сечения электропроводников нагрузке (соб y_1), подключение дополнительных потребителей (соб y_2), увеличение момента на валу электродвигателя (соб y_3), понижение напряжения в сети (соб y_n). Вероятности $Q_i(y_1)$, $Q_i(y_2)$, $Q_i(y_3)$, $Q_i(y_4)$ для действующих и строящихся объектов вычисляются по формуле (3.101), $Q_i(y_3)$ для проектируемых объектов по формуле (3.105) как вероятность заклинивания механизмов, приводимых в действие электродвигателем.

$Q_i(z)$ – вероятность отсутствия или неисправности аппаратов защиты электрических сетей i -го элемента, вычисляемая для действующих объектов по (3.101), для проектируемых – по (3.105). При отсутствии защиты $Q_i(z)=1$.

Аналогичным образом определяются вероятности $Q_i(k_2)$, $Q_i(k_3)$, $Q_i(k_4)$, т.е. для действующих объектов по (3.93), $Q_i(k_2)$ и $Q_i(k_4)$, для проектируемых объектов по (3.105).

Вероятность $Q_i(k_5)=1$, если в связи с технологией горючие вещества нагреваются до опасных температур, и $Q_i(k_5)=0$, если это не имеет места.

Появление события ТИ₆ может явиться следствием появления в *i*-м элементе в течение года очага теплового самовозгорания (соб m_1), очага химического самовозгорания (соб m_2) или очагов микробиологического самовозгорания (соб m_3).

Вероятности $Q_i(m_1)$, $Q_i(m_2)$ определяют по формуле (3.116) соответственно для совместных событий p_1 - появления в *i*-м элементе веществ, склонных к тепловому самовозгоранию, и p_2 - нагрева этих веществ выше безопасной температуры, g_1 - появления в *i*-м элементе химически активных веществ, реагирующих между собой с выделением большого количества тепла, и g_2 - контакта этих веществ.

Вероятности $Q_i(p_1)$, $Q_i(g_1)$, $Q_i(g_2)$ вычисляют по формуле (3.101) или (3.105) в зависимости от условий реализации событий.

Вероятность $Q_i(p_2)=1$, если температура среды выше или равна безопасной, $Q_i(p_2)=0$, если она ниже ее.

Вероятность $Q_i(m_3)$ рассчитывается только для действующих и строящихся объектов по (3.101).

Вероятность $Q_i(\text{ЭИ})=1$, если температура теплового источника (среды) выше 80% величины минимальной температуры самовоспламенения (самовозгорания) вещества; если энергия, переданная им горючему веществу (паро-, газо-, пылевоздушной смеси) выше 40% значения минимальной энергии зажигания; для твердых и жидких веществ, если за время остывания теплового источника он способен нагреть горючее вещество выше температуры его воспламенения. В остальных случаях $Q_i(\text{ЭИ})=0$.

Вероятность $Q_i(\text{ВИ})=1$ при достаточности времени контакта теплового источника с горючей средой для ее воспламенения; нагреве горючего вещества до температуры, превышающей 80% от величины температуры самовоспламенения; существовании теплового источника в течении времени, необходимого для нагрева горючего вещества до температуры его самовозгорания; превышении времени остывания теплового источника от начальной до температуры воспламенения горючей среды суммы периода ее индукции и времени нагрева локального объема среды от начальной температуры воспламенения при опасности вынужденного зажигания. В остальных случаях $Q_i(\text{ВИ})$ принимается равной нулю.

При невозможности расчета вероятности $Q_i(\text{ИЗ})$ изложенным методом допускается ее определение по формуле

$$Q_i(\text{ИЗ})=1-e^{-(\tau/\tau_{н.з.})}, \quad (3.117)$$

где $\tau_{н.з.}=3,03 \cdot 10^4 \cdot E_0^{1,2}$ - среднее время i -го элемента объекта до появления одного источника зажигания, ч;

E_0 - минимальная энергия зажигания горючей среды i -го элемента объекта, Дж;

T - время работы i -го элемента за анализируемый период времени, ч.

Вероятность устойчивости объекта к возникновению пожара (взрыва) очевидно может быть представлена в виде

$$P(\text{ПВ})=1-Q(\text{ПВ}). \quad (3.118)$$

Пример.

Определить вероятность возникновения пожара в механическом цехе завода. Оценить устойчивость цеха к возникновению пожаров.

Пожароопасные технологические установки в цехе отсутствуют. Горючими материалами являются деревянные стропила крыши, верстаки, подмости у станков; инструментальные шкафы из древесно-стружечных плит; поливинилхлоридная плитка пола, рубероид; ветошь, бензин и растворитель на основе ацетона при проведении регламентных и ремонтных работ. Количество бензина и растворителя в цехе при работах не превышает 10 л. На ремонт и обслуживание станочного парка затрачивается 465 часов в год. Геометрические размеры здания цеха: длина $S=40$ м, ширина $L=7$ м, высота $H=6$ м. Завод расположен в районе с продолжительностью грозовой деятельности 70 часов в год и имеет защитное заземление типа Б.

При пожаротехническом обследовании выявлено, что в течение года:

- защитное заземление здания находилось в исправном состоянии;
- 8 раз в цехе проводились газосварочные работы продолжительностью 1, 3, 5, 2, 1, 6, 2 и 4 часа;
- имели место 5 случаев короткого замыкания в электрических сетях продолжительностью 3, 3, 4, 10 и 10 с. и два случая эксплуатации сетей с неисправной защитой от коротких замыканий продолжительностью 30 и 10 суток, 15 случаев несоблюдения режима курения.

Решение.

В связи с постоянным присутствием в цехе горючих веществ

$$Q_{ц}(\text{ГВ}_1)=Q_{ц}(\text{ГВ}_{\text{дсп}})=Q_{ц}(\text{ГВ}_{\text{пс}})=Q_{ц}(\text{ГВ}_{\delta})=Q_{ц}(\text{ГВ}_p)=1.$$

Вероятность появления в цехе ветоши, бензина и растворителя $Q_{ц}(\text{ГВ}_2)$ найдем, предварительно определив вероятность ремонтных и регламентных работ $Q_{ц}(a_p)$.

$$Q_{ц}(a_p)=\frac{K_{\delta}}{\tau_p} \sum_{j=1}^m \tau_j = \frac{1}{525600} \cdot 465 \cdot 60 = 5,3 \cdot 10^{-2};$$

$$Q_{ц}(\text{ГВ}_2)=1-[1-Q_{ц}(a_p)]=Q_{ц}(a_p)=5,3 \cdot 10^{-2};$$

Вероятность появления в цехе горючего вещества

$$Q_{ц}(ГВ)=1-[1-Q_{ц}(ГВ_1)][1-Q_{ц}(ГВ_2)]=1-(1-1)(1-5,3 \cdot 10^{-2})=1$$

В цехе постоянно присутствует воздух. Поэтому $Q_{ц}(ОК)=1$.

Вероятность образования горючих сред в течение года

$$Q_{ц}(ГС_1)=Q_{ц}(ГВ_1) \cdot Q_{ц}(ОК)=1 \cdot 1=1,$$

$$Q_{ц}(ГС_2)=Q_{ц}(ГВ_2) \cdot Q_{ц}(ОК)=5,3 \cdot 10^{-2}$$

Потенциальными источниками зажигания горючих сред в цехе являются разряды атмосферного электричества, пламя газовой горелки при проведении газосварочных работ, искры при коротких замыканиях в электрических сетях, тлеющие сигареты при курении в цехе. Оценим возможность возгорания горючих материалов, находящихся в цехе, при действии этих источников зажигания.

От прямого удара молнии, имеющей температуру в канале до 20000°C , ее вторичного действия с энергией искр разряда более 250 мДж и заноса высокого потенциала воспламеняются все горючие материалы цеха.

Для оценки возможности воспламенения горючих материалов от искры (капли металла), вызванной коротким замыканием в электропроводке, найдем величины тепловых импульсов, которые необходимы для их воспламенения, и тепловые импульсы, передаваемые горючим материалам при остывании капли. Для расчета величин тепловых импульсов, вызывающих воспламенение материалов, воспользуемся формулой $U = 1,5 C_p \cdot \rho \cdot \delta \cdot (t_{св} - t_0)$. Начальную температуру материалов t_0 будем считать равной 20°C . Исходные данные и результаты расчета сведем в таблицу:

Горючий материал или вещество	Плотность, $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Теплоемкость, $C_p, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$	Толщина материала или слоя ГЖ, $\delta, \text{м}$	Температура самовоспламенения, $t_{св}, ^{\circ}\text{C}$	Тепловой импульс, воспламеняющий материал, $U_M, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2}$	Тепловой импульс капли, $U_K, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2}$
Древесина	500	2,3	$1 \cdot 10^{-2}$	399	6538	551
Древесно-стружечные плиты	200	2,3	$1 \cdot 10^{-2}$	345	2243	658
Полистирол	1050	1,34	$2 \cdot 10^{-3}$	405	1625	539
Рубероид	60	1,68	$1 \cdot 10^{-3}$	400	575	549
Ветошь	80	1,5	$1 \cdot 10^{-3}$	372	63	604
Бензин	680	1,42	$1,5 \cdot 10^{-3}$	230	456	885
Растворитель (ацетон)	791	2,03	$1,5 \cdot 10^{-3}$	500	1734	651

Величины тепловых импульсов, передаваемых каплей металла при ее остывании, рассчитываем, используя зависимость

$$U_K = 0,167 d_K \rho_K C_t (t_K - t_{CB}),$$

где $d_K = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - диаметр капли меди;

$\rho_K = 8,93 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ - плотность меди;

$C_t = 0,4414 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ - теплоемкость меди при температуре

$$t = \frac{t_K + t_{CB}}{2} = 516^{\circ} \text{ C};$$

$t_K = 678^{\circ} \text{ C}$ - температура капли в начале остывания на материале (пример 3 в разделе 3.2.4).

Из таблицы следует, что капля металла (искра), образующаяся при коротком замыкании, способна воспламенить только ветошь и бензин.

Температура пламени газовой горелки, равная 3150° C , и время ее действия значительно превышают температуру и время, необходимые для зажигания любого из материалов и веществ, находящихся в цехе.

Непогашенная сигарета имеет температуру тления ($420 \dots 460$) $^{\circ} \text{ C}$ и время существования от 10 с. до 30 мин., что также делает ее способной вызвать зажигание всех горючих материалов цеха.

Проверим возможность образования бензо- и ацетоновоздушных смесей. При разливе 1 л. бензина образуется $26,3 \text{ м}^3$ смеси его паров с воздухом на нижнем концентрационном пределе воспламенения [34]. При разливе 10 л. объем смеси составит 263 м^3 в объеме цеха, равного 1680 м^3 , т.е. образование пожароопасной смеси невозможно. Подобный вывод справедлив и по отношению к образованию ацетоновоздушной пожароопасной смеси.

Таким образом, тепловые источники: разряд атмосферного электричества, пламя газовой горелки и непотушенная сигарета способны воспламенить все горючие материалы в цехе. Искры короткого замыкания опасны только для ветоши и бензина. Продолжительность грозовой деятельности в районе расположения цеха $70 \frac{\text{ч}}{\text{год}}$. Поэтому среднее число

ударов молнии в год равно $\Pi_y = 9 \frac{1}{\text{км}^2 \text{ год}}$ (табл. 3.20).

Число ударов молнии в здание цеха

$$N_{y.M} = (S + 6H) \cdot (L + 6H) \cdot n_y \cdot 10^{-6} = (40 + 6 \cdot 6) \cdot (7 + 6 \cdot 6) \cdot 9 \cdot 10^{-6} = 2,94 \cdot 10^{-2}.$$

Вероятность прямого удара молнии в здание цеха

$$Q_{ц}(t_2) = 1 - \exp(-N_{y.M} \cdot \tau_p) = 1 - \exp(-2,94 \cdot 10^{-2} \cdot 1) = 2,9 \cdot 10^{-2}.$$

Вероятность отказа молниезащиты цеха

$$Q_{\text{ц}}(t_1) = 1 - \beta_{\sigma} = 1 - 0,95 = 5 \cdot 10^{-2}.$$

Вероятность поражения здания цеха молнией

$$Q_{\text{ц}}(C_1) = Q_{\text{ц}}(t_1) \cdot Q_{\text{ц}}(t_2) = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 2,9 \cdot 10^{-2} = 1,45 \cdot 10^{-3}.$$

Вероятность вторичного воздействия молнии и заноса в здание высокого потенциала в связи с исправным состоянием защитного заземления равны нулю, т.е. $Q_{\text{ц}}(C_2) = Q_{\text{ц}}(C_3) = 0$.

Вероятность появления в здании цеха разряда атмосферного электричества

$$Q_{\text{ц}}(ТИ_1) = 1 - \prod_{n=1}^3 [1 - Q_{\text{ц}}(C_n)] = 1 - (1 - 1,45 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) = 1,45 \cdot 10^{-3}.$$

Среднее время короткого замыкания в электрических сетях

$$\tau_0 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \tau_j = \frac{1}{5} (3 + 3 + 4 + 10 + 10) = 6 \text{ с}.$$

Дисперсия среднего времени существования искр короткого замыкания

$$D_0 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (\tau_j - \tau_0)^2 = \frac{1}{5-1} [(3-6)^2 + (3-6)^2 + (4-6)^2 + (10-6)^2 + (10-6)^2] = 13,5 \text{ с}^2$$

Среднеквадратическое отклонение от среднего времени существования искр

$$\sigma_{\tau_0} = \sqrt{\frac{D_0}{m}} = \sqrt{\frac{13,5}{5}} = 1,64 \text{ с}.$$

Коэффициент безопасности

$$K_{\sigma} = 1 + \frac{t_{\beta} \cdot \sigma_{\tau_0}}{\tau_0} = 1 + \frac{3,18 \cdot 1,64}{6} = 1,9.$$

Где $t_{\beta} = 3,18$ - коэффициент, определенный по табл. 3.19 при $m - 1 = 4$.

Вероятность короткого замыкания электропроводки в цехе

$$Q_{\text{ц}}(V_1) = \frac{K_{\sigma}}{\tau_p} \cdot \sum_{j=1}^m \tau_j = \frac{1,9}{525600} \left(\frac{3 + 3 + 4 + 10 + 10}{60} \right) = 1,8 \cdot 10^{-6}.$$

Среднее время отсутствия защиты от коротких замыканий

$$\tau_0 = \frac{1}{2} (30 + 10) = 20 \text{ сут}.$$

Среднеквадратическое отклонение от среднего времени отсутствия защиты и коэффициент t_{β}

$$\sigma_{\tau_0} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot 1} [(30-20)^2 + (10-20)^2]} = 10 \text{ сут}; t_{\beta} = 12,71.$$

Коэффициент безопасности

$$K_{\sigma} = 1 + \frac{12,71 \cdot 10}{20} = 7,355.$$

Вероятность отсутствия защиты от коротких замыканий

$$Q_u(V_2) = \frac{K_6}{\tau_p} \cdot \sum_{j=1}^m \tau_j = \frac{7,355}{525600} (30+10) \cdot 24 \cdot 60 = 0,806.$$

Вероятность появления искр короткого замыкания в цехе

$$Q_u(L_1) = Q_u(V_1) \cdot Q_u(V_2) = 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,806 = 1,45 \cdot 10^{-6}.$$

Вероятность появления в цехе теплового источника в виде искр

$$Q_u(ТИ_2) = 1 - \prod_{n=1}^2 [1 - Q_u(L_n)] = 1 - [1 - Q_u(L_1)] = 1,45 \cdot 10^{-6}.$$

Среднее время существования открытого огня при проведении газосварочных работ в цехе

$$\tau_0 = \frac{1}{8} (1+3+5+2+1+6+2+4) = 3ч = 180 \text{ мин}.$$

Среднеквадратическое отклонение от среднего времени

$$\sigma_{\tau_0} = \sqrt{\frac{1}{8 \cdot 7} [(1-3)^2 + (3-3)^2 + (5-3)^2 + (2-3)^2 + (1-3)^2 + (6-3)^2 + (2-3)^2 + (4-3)^2]} = 0,655 \text{ ч} = 39,3 \text{ мин}$$

Коэффициент безопасности $K_6 = 1 + \frac{2,45 \cdot 39,3}{180} = 1,54.$

Вероятность газосварочных работ в цехе

$$Q(h_2) = \frac{1,54}{525600} (1+3+5+2+1+6+2+4) \cdot 60 = 3 \cdot 10^{-3}.$$

Среднее время существования непогашенной сигареты

$$\tau_0 = \frac{0,17+30}{2} = 15,1 \text{ мин}.$$

Среднеквадратическое отклонение от среднего времени существования непогашенной сигареты

$$\sigma_{\tau_0} = \sqrt{\frac{1}{15 \cdot 14} [(0,17-15,1)^2 + (30-15,1)^2]} = 1,46 \text{ мин}.$$

Коэффициент безопасности $K_6 = 1 + \frac{2,2 \cdot 1,46}{15,1} = 1,2.$

Вероятность несоблюдения режима курения в цехе

$$Q_u(h_3) = \frac{1,2}{525600} \cdot 15,1 \cdot 15 = 5,17 \cdot 10^{-4}.$$

Вероятность появления в цехе открытого огня

$$Q_u(ТИ_4) = 1 - \prod_{n=1}^2 [1 - Q_u(h_n)] = 1 - [1 - Q_u(h_2)] \cdot [1 - Q_u(h_3)] = 1 - (1 - 3 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 - 5,17 \cdot 10^{-4}) = 3,5 \cdot 10^{-3}.$$

Вероятность появления в цехе источника зажигания, способного воспламенить все горючие материалы

$$Q_{ц}(ИЗ_1) = 1 - \prod_{k=1}^m [1 - Q_{ц}(ТИ_k)] \cdot Q_{ц}(\text{ЭИ}) \cdot Q_{ц}(\text{ВИ}) = 1 - [1 - Q_{ц}(ТИ_1)] \cdot [1 - Q_{ц}(ТИ_4)] \cdot Q_{ц}(\text{ЭИ}) \cdot Q_{ц}(\text{ВИ}) = 1 - (1 - 1,45 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 - 3,5 \cdot 10^{-3}) \cdot 1 \cdot 1 = 4,945 \cdot 10^{-3}.$$

Вероятность возникновения пожара от источника зажигания $ИЗ_1$

$$Q_{ц}(\text{ПО}_1) = Q_{ц}(\text{ГС}_1) \cdot Q_{ц}(ИЗ_1) = 1 \cdot 4,945 \cdot 10^{-3} = 4,945 \cdot 10^{-3}.$$

Вероятность появления источника зажигания от искр при коротком замыкании

$$Q_{ц}(ИЗ_2) = Q_{ц}(ТИ_2) \cdot Q_{ц}(\text{ЭИ}) \cdot Q_{ц}(\text{ВИ}) = 1,45 \cdot 10^{-6}.$$

Вероятность возникновения пожара в цехе от источника $ИЗ_2$

$$Q_{ц}(\text{ПО}_2) = Q_{ц}(\text{ГС}_2) \cdot Q_{ц}(ИЗ_2) = 5,3 \cdot 10^{-2} \cdot 1,45 \cdot 10^{-6} = 7,42 \cdot 10^{-8}.$$

Вероятность возникновения пожара в цехе, обусловленная появлением всех источников зажигания

$$Q_{ц}(\text{ПП}) = 1 - [1 - Q_{ц}(\text{ПО}_1)] \cdot [1 - Q_{ц}(\text{ПО}_2)] = 4,945 \cdot 10^{-3}.$$

Вероятность устойчивости цеха к возникновению пожара

$$P_{ц}(\text{ПП}) = 1 - Q_{ц}(\text{ПП}) = 1 - 4,945 \cdot 10^{-3} = 0,995.$$

3.3.3. Вероятностная оценка защиты производственного персонала ОЭ

Вероятность защиты людей от действия поражающих факторов (ПФ) опасных явлений (ОЯ) может быть представлена в виде

$$P(1, \Delta t) = 1 - Q(1, \Delta t),$$

где $Q(1, \Delta t)$ - вероятность поражения отдельного человека в течение времени Δt ;

$$Q(1, \Delta t) = P_{оя}(1, \Delta t) \cdot P_{кц}(1, \Delta t) \cdot (1 - P_y) \cdot (1 - P_э) \cdot (1 - P_{сиз}), \quad (3.119)$$

$P_{оя}(1, \Delta t)$ - вероятность возникновения хотя бы одного ОЯ в течение времени Δt ;

$P_{кц}(1, \Delta t)$ - вероятность возникновения хотя бы одной критической ситуации (критических параметров ПФ) при ОЯ;

Порядок определения $P_{оя}(1, \Delta t)$ и $P_{кц}(1, \Delta t)$ изложен выше в разделе 3.3.1.

P_y - вероятность укрытия людей в защитных сооружениях (ЗС) или в зданиях, обладающими достаточными защитными свойствами;

$P_э$ - вероятность эвакуации людей из зоны, где возникла критическая ситуация;

$P_{сиз}$ - вероятность защиты людей с использованием средств индивидуальной защиты (СИЗ).

Вероятность укрытия людей в ЗС или зданиях с достаточными защитными свойствами

$$P_y = \begin{cases} 1 - \text{при нахождении людей в зданиях с достаточными защитными свойствами в процессе производства или укрытии в ЗС до наступления ОЯ,} \\ 0 - \text{при отсутствии ЗС и зданий с достаточными защитными свойствами или при невозможности ими воспользоваться при ОЯ,} \\ \frac{\tau_{KP} - \tau_y}{\tau_{KP}} - \text{при укрытии в ЗС после наступления ОЯ,} \\ \text{сопровождающегося немеханическим ПФ,} \end{cases}$$

где τ_{KP} - время наступления критической ситуации,

τ_y - время укрытия в ЗС.

Вероятность эвакуации людей из опасной зоны

$$P_{\text{э}} = P_{\text{об}} \cdot P_{\text{эоз}},$$

где $P_{\text{об}}$ - вероятность эвакуации людей из объектов (зданий, сооружений),

$P_{\text{эоз}}$ - вероятность эвакуации из опасной зоны.

Вероятность эвакуации людей из объектов может быть в виде

$$P_{\text{об}} = \frac{\tau_{KP} - \tau_{\text{об}}}{\tau_{KP}}, \quad (3.120)$$

где $\tau_{KP} = 4$ суткам при эвакуации людей из-под завалов обрушившихся зданий и сооружений, в других случаях – времени достижения параметрами поражающих факторов опасных для людей значений

$\tau_{\text{об}}$ – время эвакуации людей из объекта.

Вероятность эвакуации людей из опасной зоны

$$P_{\text{эоз}} = \begin{cases} 1 - \text{после окончания действия механических поражающих факторов} \\ 0 - \text{во время действия механических поражающих факторов} \\ \frac{\tau_{KP} - \tau_{\text{эоз}}}{\tau_{KP}} - \text{при действии немеханических поражающих факторов} \end{cases} \quad (3.121)$$

где τ_{KP} – время набора поражающей дозы облучения при радиоактивном

токсической дозы при химическом заражении,

$\tau_{\text{эоз}}$ – время эвакуации из опасной зоны.

Вероятность защиты с использованием СИЗ

$$P_{\text{сиз}} = \begin{cases} 0 - \text{при отсутствии СИЗ и действии механических} \\ \text{поражающих факторов,} \\ \frac{T_{\text{кр}} - T_{\text{сиз}}}{T_{\text{кр}}} - \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (3.122)$$

где $\tau_{\text{сиз}}$ - время, необходимое для использования СИЗ.

Для определения вероятностей P_y , $P_э$ и $P_{\text{сиз}}$ могут быть использованы статистические данные, полученные из анализа последствий опасных явлений. При этом $P_i = \frac{N_i}{N}$,

где N_i - соответственно количество укрытых в ЗС, эвакуированных из опасной зоны и использовавших СИЗ людей при ОЯ,

N - общее количество людей на момент ОЯ.

В качестве примера вероятностной оценки защиты людей при конкретном опасном явлении приведем метод определения вероятности воздействия опасных факторов пожара (ОФП) на людей рекомендуемый ГОСТ [30].

Вероятность предотвращения воздействия ОФП на людей в объекте

$$P_э = 1 - Q_э,$$

где $Q_э$ - расчетная вероятность воздействия ОФП на отдельного человека в год.

Уровень обеспечения безопасности людей при пожарах отвечает требуемому, если

$$Q_э \leq Q_э^н \quad (3.123)$$

где $Q_э^н$ - нормативная вероятность воздействия ОФП на человека в год. В соответствии с ГОСТ $Q_э^н = 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$.

Вероятность $Q_э$ вычисляют для людей в каждом здании (помещении) по формуле

$$Q_э = Q_n (1 - P_э)(1 - P_{\text{н.з}}), \quad (3.124)$$

где Q_n - вероятность возникновения пожара в здании в год, определяемая с использованием ранее приведенного метода;

$P_э$ - вероятность эвакуации людей из здания;

$P_{\text{н.з}}$ - вероятность эффективной работы средств противопожарной защиты.

Вероятность эвакуации вычисляют по формуле

$$P_{\varepsilon} = 1 - (1 - P_{\varepsilon,л})(1 - P_{\text{дв}}), \quad (3.125)$$

где $P_{\varepsilon,л}$ - вероятность эвакуации по эвакуационным путям,

$P_{\text{дв}}$ - вероятность эвакуации по наружным эвакуационным лестницам и переходам в смежные секции здания.

Вероятность $P_{\varepsilon,л}$ вычисляется по зависимости

$$P_{\varepsilon,л} = \begin{cases} \frac{\tau_{\text{бл}} - \tau_p}{\tau_{н.э}}, & \text{если } \tau_p < \tau_{\text{бл}} < \tau_p + \tau_{н.э} \\ 0,999, & \text{если } \tau_p + \tau_{н.э} \leq \tau_{\text{бл}} \\ 0, & \text{если } \tau_p \geq \tau_{\text{бл}}, \end{cases} \quad (3.126)$$

где $\tau_{\text{бл}}$ - время от начала пожара до блокировки эвакуационных путей в результате возникновения в них ОФП,

τ_p - интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации, мин.

Величины $\tau_p, \tau_{\text{бл}}$ рассчитывают по формулам (3.58-3.62), $\tau_{н.э}$ - определяют по результатам исследования поведения людей при пожарах в конкретных зданиях. При наличии системы оповещения при пожаре $\tau_{н.э}$ принимают равным времени срабатывания системы, при отсутствии необходимых данных – 0,5 мин для этажа пожара и 2 мин – для вышележащих этажей.

При пожаре в помещениях, где он может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в помещении людьми (помещениях зального типа) $\tau_{н.э} = 0$, а вероятность $P_{\varepsilon,л}$ вычисляется по зависимости

$$P_{\varepsilon,л} = \begin{cases} 0, & \text{если } \tau_p > \tau_{\text{нб}} \\ 0,999, & \text{если } \tau_p \leq \tau_{\text{нб}} \end{cases} \quad (3.127)$$

где $\tau_{\text{нб}}$ - необходимое время эвакуации, определяемое в соответствии с требованиями СНИП.

При наличии в здании незадымляемых лестничных клеток вероятность Q_{ε} для людей, находящихся в помещениях выше этажа пожара, вычисляют по формуле

$$Q_{\varepsilon} = Q_n (1 - P_{н.э}). \quad (3.128)$$

Вероятность $P_{\text{дв}}$ принимают равной 0,05 в жилых зданиях, 0,03 – в остальных зданиях и 0,001 – при отсутствии наружных эвакуационных лестниц и других путей эвакуации.

Вероятность эффективного срабатывания противопожарной защиты

$$P_{п.з} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{пzi}), \quad (3.129)$$

где n - количество видов противопожарной защиты в здании;

$P_{пzi}$ - вероятность эффективного срабатывания i -ого вида защиты.

Для эксплуатируемых зданий (сооружений) вероятность Q_{ϵ} допускается вычислять с использованием статистических данных по формуле

$$Q_{\epsilon} = \frac{1,5}{T} \frac{M_{.ж.}}{N_0}, \quad (3.130)$$

где T - период эксплуатации однотипных зданий, год;

$M_{.ж.}$ - число жертв пожара в рассматриваемой группе зданий за время T ;

N_0 - общее число людей, находящихся в зданиях.

Пример.

Оценить защищенность производственного персонала цеха от ОФП. Здание цеха одноэтажной I степени огнестойкости. Длина здания 80м. Выходы расположены в торцевых сторонах здания. Здание оборудовано системами автоматического пожаротушения и удаления дыма. Средние значения интенсивности отказов системы АПТ $0,25 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$, удаления дыма $0,39 \cdot 10^{-6} \frac{1}{ч}$. Средняя скорость движения людей при эвакуации $16 \frac{м}{мин}$.

Вероятность возникновения пожара в цехе $Q_{п} = 4,945 \cdot 10^{-3} \frac{1}{год}$.

Решение.

В соответствии со СНиП допустимая длина путей эвакуации в одноэтажных производственных зданиях I, II степени огнестойкости не должна превышать 50м. В данном случае максимальное удаление рабочего места от эвакуационного выхода равно 40м, т.е. протяженность пути эвакуации $\lambda_3=40м$ и требование СНиП выполняется.

Расчетное время эвакуации

$$\tau_p = \frac{\ell_3}{V} = \frac{40}{16} = 2,5 \text{ мин.}$$

В соответствии с ГОСТ для помещений зального типа $\tau_{н.э} = 0$.

Так как $\tau_p < \tau_{нб} = \frac{50}{16} = 3,125 \text{ мин}$, $P_{э.п} = 0,999$.

$P_{ос} = 0,001$ в связи с отсутствием наружных эвакуационных путей.

Вероятность эвакуации

$$P_{э} = 1 - (1 - P_{эп})(1 - P_{ос}) = 1 - (1 - 0,999)(1 - 0,001) = 0,999$$

Вероятность эффективного срабатывания систем противопожарной защиты в течение года:

системы АПТ $P_{АПТ} = e^{-\lambda\tau} = e^{-0,25 \cdot 10^{-6} \cdot 365 \cdot 24} = 0,9978$.

удаления дыма $P_{yd} = e^{-0,39 \cdot 10^{-6} \cdot 365 \cdot 24} = 0,9966$

Вероятность эффективного срабатывания противопожарной защиты в течение года

$$P_{н.з} = 1 - (1 - P_{АПТ})(1 - P_{yd}) = 1 - (1 - 0,9978)(1 - 0,9966) = 0,99999.$$

Вероятность воздействия на людей ОФП в течение года

$$Q_e = Q_n (1 - P_y)(1 - P_{н.з}) = 4,954 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 0,999)(1 - 0,99999) = 4,945 \cdot 10^{-11}$$

Вероятность обеспечения защиты производственного персонала в течение года $P_e = 1 - Q_e = 1 - 4,945 \cdot 10^{-11} = 1$

4. ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОЭ В ЧС

4.1. Правовые основы деятельности по обеспечению устойчивости ОЭ

Правовые основы мероприятий по обеспечению устойчивости разрабатываются в ходе реализации аналитико-прогностической функции превентивного управления ЧС. Эта функция включает в себя оценку риска возникновения ЧС, т. е. определение его вероятных источников и установление степени их опасности, а также управление риском, под которым понимается разработка совокупности мер правового, организационного и инженерно-технического характера, направленных на минимизацию угрозы возникновения и ослабление последствий ЧС [1].

Примером такой деятельности является разработка законов, строительных норм, кодексов и правил, правил страхования, зонирование и картирование возможных ЧС. Она нашла отражение в законах РФ “О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера” [43], “О безопасности” [44], “Об обороне” [45], “О промышленной безопасности опасных производственных объектов” [46], “О гражданской обороне” [47], “О радиационной безопасности населения” [48], “О безопасности гидротехнических сооружений” [49] и др., постановлениях Правительства “О декларации безопасности промышленного объекта РФ” [50], “О порядке разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий” [51], “О порядке эксплуатации водохранилищ” [52], “О лицензировании деятельности в области использования атомной энергии” [53] и др., строительных нормах и правилах СНиП II-0151-90 [54]. Документы [43,46,47,50,54] играют основополагающую роль в правовом обеспечении устойчивости ОЭ в ЧС. Они определяют обязанности граждан, организаций и руководящих органов и меру их ответственности перед законом.

4.1.1. Декларация безопасности промышленного объекта РФ

4.1.1.1. Структура и основные требования, предъявляемые к декларации

Постановление Правительства РФ “О декларации безопасности промышленного объекта РФ” определяет требования к декларированию безопасности, а следовательно и устойчивости, промышленного объекта, деятельность которого связана с повышенной опасностью производства. К таким объектам относятся проектируемые и действующие промышленные объекты, имеющие в своем составе особо опасные производства (ООП), на которых одновременно используют, производят, перерабатывают, хранят или транспортируют взрывопожароопасные или опасные химические вещества в количестве, определяемом Федеральным горным и промышленным надзором России (Госгортехнадзором) и Министерством по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС), и гидротехнические сооружения, на которых возможны гидродинамические аварии.

Декларирование направлено на обеспечение контроля за соблюдением мер безопасности и возможность оценки достаточности и эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС на объекте.

Декларация безопасности промышленного объекта является документом, определяющим возможный характер и масштабы ЧС на объекте и мероприятия по их предупреждению и ликвидации. Она характеризует безопасность объекта на всех этапах его существования от ввода до вывода из эксплуатации. В декларации даются базовые термины и определения и всесторонняя оценка декларируемого объекта, которая включает:

- общие сведения об объекте;
- основные характеристики и особенности технологических процессов и производства;
- анализ риска возникновения на объекте ЧС природного и техногенного характера;
- характеристику систем контроля за безопасностью производства, а также сведения об объемах и содержании мероприятий по предупреждению ЧС;
- сведения о создании и поддержании в готовности локальной системы оповещения персонала объекта и населения о возникновении ЧС;
- характеристику мероприятий по созданию и поддержанию в готовности сил и средств по предупреждению и ликвидации ЧС, а также

обучению производственного персонала способам защиты и действиям в ЧС;

- характеристику мероприятий по защите производственного персонала при возникновении ЧС и порядок действий сил и средств по предупреждению и ликвидации ЧС;

- сведения об объемах и номенклатуре материальных и финансовых ресурсов, необходимых для ликвидации ЧС;

- порядок информирования населения и органа местного самоуправления о прогнозируемых и возникших на объекте ЧС.

Декларация должна включать следующие структурные элементы:

- титульный лист

- аннотацию

- оглавление

Разделы, включающие:

- общие сведения

- анализ опасностей и риска

- общие меры обеспечения технической безопасности

- действия в случае промышленной катастрофы

- информирование общественности

Приложения, включающие:

- ситуационный план объекта

- информационный лист

- сведения о выводе промышленного объекта (ООП) из эксплуатации.

На титульном листе декларации должны быть указаны ее регистрационный номер, гриф утверждения, наименование, место и дата составления.

В аннотации приводятся сведения о разработчиках и краткое изложение основных разделов декларации с указанием основных опасностей.

Оглавление включает наименование всех разделов и приложение с указанием страниц.

В общие сведения об объекте, составляющие содержание соответствующего раздела декларации, включаются краткие административные и юридические сведения об объекте, обоснование идентификации его ООП, описание месторасположения объекта, данные о персонале и проживающем вблизи населении, страховые данные. При обосновании идентификации ООП приводится их перечень с указанием потенциально-опасных веществ и их количества для каждого опасного производства. Описание месторасположения содержит размеры и границы территории объекта, границы запретных и санитарно-защитных зон, данные о топографии и природно-климатических условиях. В данные о персонале и населении входят их численность и размещение. В страховых

данных указываются наименование и адреса организаций, в которых застрахован объект, вид страхования, максимальный размер застрахованной ответственности за нанесенный ущерб при аварии, а также порядок возмещения ущерба.

Следующий обширный по объему раздел, носящий название “Анализ опасностей и риска”, содержит характеристики опасных веществ и данные о их распределении; описание технологии и основного технологического оборудования; перечень технологических параметров, влияющих на безопасность, и описание технических решений ее обеспечивающих; характеристику пунктов управления; сведения об авариях, анализ условий их возникновения и развития, оценку риска аварий и ЧС; оперативную часть плана локализации аварийных ситуаций и выводы.

Характеристика опасных веществ включает их наименование, химические формулы, состав, физико-химические и токсикологические данные. В данных о распределении веществ указывается наименование технических блоков и количество опасного вещества в них, физические условия содержания вещества в блоках.

При описании технологии приводится принципиальная технологическая схема с обозначением основного технологического оборудования, технологических потоков и межблочной запорной арматуры, а также краткое постадийное описание технологического процесса. Технологического оборудования – план размещения, сведения о системе противоаварийного назначения, пультах управления технологическим процессом, автоматических извещателях, средствах связи и оповещения, оборудовании, в котором хранится или обращается опасное вещество.

Перечень технологических параметров включает наименование процесса и технологического параметра (температура, давление и т.д.), его размерность, предельно-допустимые значения, данные о средствах контроля параметра.

В описании технических решений, обеспечивающих безопасность, приводятся решения по исключению разгерметизации оборудования и предупреждению аварийных выбросов опасных веществ, обеспечению взрывопожаробезопасности, дается характеристика системы автоматического регулирования, блокировки, сигнализации и пр.

Характеристика пунктов управления предполагает представление сведений о их расположении, оборудовании и противоаварийной устойчивости.

В сведениях об авариях приводятся данные об авариях и неполадках на декларируемом и других аналогичных объектах. Анализируются условия возникновения и развития аварий с выявлением причин, возможных сценариев и количеств опасных веществ, способных

участвовать в них. Приводится обоснование применяемых физико-математических моделей и методов расчета.

При оценке риска аварий и ЧС определяются их возможные последствия, зоны действия основных поражающих факторов при различных сценариях аварии, число пострадавших среди персонала и населения, возможный ущерб, наносимый физическим и юридическим лицам.

При прогнозировании воздействия поражающих факторов аварии оценивается возможность их выхода за территорию объекта и, если такая возможность существует, проводится моделирование аварийных ситуаций (выброса, пролива, истечения, испарения, рассеяния, воздействия потенциально опасных веществ, разрушения оборудования, зданий, сооружений и т.п.) с учетом их развития во времени и поведения людей при аварии. Осуществляется анализ возможной неопределенности результатов, обусловленной неточностью исходной информации по надежности оборудования, ошибкам персонала, а также допущениями применяемых при расчетах моделей и сценариев аварий. Заключительным этапом анализа риска является разработка рекомендаций по его уменьшению. Рекомендации могут признать риск приемлемым или указывать меры, направленные на его уменьшение, которые могут носить технический, эксплуатационный или организационный характер.

Оперативная часть плана локализации аварийных ситуаций включает наименование сценария (стадии) и опознавательных признаков аварии, оптимальные способы и технические средства противоаварийной защиты, исполнителей и порядок их действия.

Основные результаты анализа опасностей и риска, а также разработанные меры по уменьшению риска аварий и ЧС отражаются в выводах, завершающих раздел.

Характеристика систем контроля за безопасностью на объекте, сведения об объемах и содержании мероприятий по предупреждению ЧС, организации служб технического надзора, противоаварийных и аварийно-спасательных сил, профессиональной и противоаварийной подготовке персонала, мероприятиях по его обучению способам защиты и действиям при аварии приводятся в разделе “Общие меры обеспечения технической безопасности”. Здесь же даются перечни необходимых и (или) действующих лицензий на осуществление опасных видов деятельности, планируемых мероприятий по повышению технической безопасности и основных нормативных документов, регламентирующих требования по безопасному ведению работ.

В следующем разделе декларации, который носит название “Действия в случае промышленной катастрофы” содержится описание системы оповещения в ЧС, описание средств и мероприятий по защите людей, порядок организации их медицинского обеспечения. При описании

системы оповещения приводятся сведения о ее создании и поддержании в готовности, схемы и порядок оповещения, требования к передаваемой информации. Описание средств и мероприятий по защите людей включает характеристики мероприятий по созданию, подготовке и поддержанию в готовности к применению сил и средств по предупреждению и ликвидации ЧС; обучению работников объекта способам защиты и действий в ЧС; по защите персонала в случае возникновения ЧС. Приводится порядок действий сил и средств по предупреждению и ликвидации ЧС и сведения о необходимых объемах и номенклатуре материальных и финансовых резервных ресурсов для ликвидации ЧС. Порядок организации медицинского обеспечения предполагает наличие сведений о составе сил медицинского обеспечения и порядка оказания доврачебной помощи на объекте пострадавшим.

Порядок информирования населения и органа местного самоуправления о прогнозируемых и возникающих на объекте ЧС, и порядок представления информации, содержащейся в декларации излагаются в разделе “Информирование общественности”.

Обстановка, которая может сложиться в результате возможной аварии, отображается в ситуационном плане. План содержит обозначение промплощадки объекта с расположенными на ней зданиями и сооружениями с указанием количества в них работающих; организаций, населенных пунктов и других мест массового нахождения людей, которые находятся в зоне действия поражающих факторов; зон возможного поражения с указанием численности людей в этих зонах и времени достижения поражающих факторов.

В приложении “Информационный лист” определяется порядок информирования общественности об опасном объекте, характере его производственной деятельности, применяемых опасных веществах, возможных авариях. Указываются наименование объекта, лицо, ответственное за связь с общественностью, способы оповещения при авариях и необходимые действия населения при катастрофе. Завершают декларацию сведения о выводе объекта или ООП из эксплуатации. В них приводятся обоснования безопасного вывода; информация о решении, на основе которого производится вывод, и плане вывода, согласованном с региональными органами МЧС и Госгорнадзора.

В декларациях безопасности проектируемых промышленных объектов и гидротехнических сооружений приводится дополнительная информация в соответствии с предъявляемыми к ним особыми требованиями. Эти требования касаются месторасположения объектов и обоснования принимаемых технических решений. Из декларации проектируемого объекта исключаются сведения о страховании, авариях и неполадках, информировании общественности.

4.1.1.2. Правила составления декларации и лицензирование деятельности промышленного объекта

Декларация безопасности разрабатывается предприятиями, организациями и учреждениями независимо от их организационно-правовой формы для проектируемых и действующих промышленных объектов. Организации разрабатывают ее самостоятельно или с привлечением организаций, имеющих лицензию на проведение экспертизы безопасности промышленных производств. Декларация безопасности действующих промышленных объектов утверждается руководителем организации, проектируемых – заказчиком проекта. Лицо, утвердившее декларацию, несет ответственность за полноту и достоверность представленной в ней информации.

Декларация составляется в четырех экземплярах и представляется в МЧС, Госгортехнадзор и орган местного самоуправления, на территории которого располагается декларируемый объект. Первый экземпляр утвержденной декларации хранится в утвердившей ее организации.

После утверждения декларация проходит экспертизу, порядок которой определяется МЧС и Госгортехнадзором. Экспертиза проводится в целях установления полноты и достоверности представляемой в ней информации, ее соответствия установленным требованиям по безопасному ведению работ, степени выявления опасностей и рисков на декларируемом объекте, достаточности принятых на объекте мер по обеспечению промышленной безопасности. Проведение экспертизы осуществляется организациями, имеющими лицензию на ее проведение. Результаты экспертизы также представляются в вышеназванные организации.

Декларация безопасности является обязательным документом для действующего промышленного объекта, который представляется в органы Госгортехнадзора при получении лицензии на осуществление промышленной деятельности, связанной с повышенной опасностью производства.

Разработка декларации и ее экспертиза осуществляются за счет средств декларируемого промышленного объекта.

Декларация безопасности пересматривается не реже одного раза в 5 лет, не позднее 1 года после ввода объекта в эксплуатацию и изменении действующих требований в области промышленной безопасности и предупреждения ЧС и не позднее 6 месяцев при изменении сведений, входящих в нее и влияющих на обеспечение безопасности, предупреждение ЧС и защиту населения.

Ведение компьютерного банка данных промышленных объектов, подлежащих декларированию безопасности, и анализ хода выполнения процедуры декларирования безопасности на территории РФ возлагаются на органы МЧС и Госгортехнадзора.

4.1.2. Строительные нормы и правила СНиП II. 0151-90

4.1.2.1. Назначение, содержание и применение норм проектирования инженерно-технических мероприятий гражданской обороны

Строительные нормы и правила СНиП II. 0151-90 [54] являются документом, содержащим основополагающие требования в области обеспечения устойчивости ОЭ и всего народного хозяйства страны в условиях военного времени. Выполнение этих требований, обеспечивая устойчивость ОЭ при применении оружия, обеспечивает ее и при стихийных бедствиях, а также промышленных катастрофах в условиях мирного времени. Требования содержатся в отдельной главе СНиП II. 0151-90, которая носит название “Нормы проектирования инженерно-технических мероприятий гражданской обороны” (НП ИТМ ГО).

В целом НП ИТМ ГО направлены:

- на защиту населения и снижение возможных потерь при применении современных средств поражения, стихийных бедствиях и промышленных катастрофах;
- обеспечение устойчивости работы ОЭ, отраслей и народного хозяйства в целом в этих условиях;
- создание благоприятных условий для проведения спасательных и других неотложных работ в очагах поражения.

Требования НП ИТМ ГО излагаются в разделах:

1. Общие положения. 2. Защитные сооружения ГО. 3. Размещение объектов и планировка городов. 4. Предприятия и инженерные системы. 5. Электроснабжение и гидротехнические сооружения. 6. Электросвязь и радиовещание, телевидение. 7. Транспортные средства. 8. Защита сельскохозяйственных животных, продукции животноводства и растениеводства. 9. Светомаскировка городов и сельских поселений. 10. Объекты коммунально-бытового назначения.

Объем и содержание ИТМ ГО определяется в зависимости от групп городов и категорий ОЭ по гражданской обороне с учетом зонирования территории по возможному действию современных средств поражения, их вторичных поражающих факторов, масштабов возможных аварий, катастроф и стихийных бедствий. Разрабатываются и проводятся ИТМ ГО заблаговременно в мирное время, а, если это невозможно, то они осуществляются в особый период в возможно более короткие сроки. ИТМ ГО, изложенные в нормах, должны предусматриваться при составлении генеральной схемы развития и размещения производительных сил страны, схем развития и размещения производительных сил и расселения населения по экономическим районам, т.е.: - схем развития и размещения отраслей народного хозяйства и отраслей промышленности;

- схем и проектов районной планировки;
- проектов планировки и застройки городских и сельских поселений;
- проектов планировки и застройки промышленных зон городов;
- проектов промышленных районов и узлов;
- материалов, обосновывающих строительство (техико-экономических обоснований и технико-экономических рекомендаций), а также проектно-сметной документации на новое строительство, расширение, реконструкцию и техническое перевооружение предприятий, зданий и сооружений.

В соответствии с требованиями норм должно осуществляться проектирование ИТМ ГО на действующих предприятиях.

4.1.2.2. Зонирование территорий

Для рационального и дифференцированного решения задач по предупреждению, реагированию и ликвидации ЧС территории, на которых могут действовать поражающие факторы, зонировуются.

Территория с расположенными на ней категоризованными городами и объектами особой важности, на которой может возникать избыточное давление во фронте воздушной ударной волны $\Delta P_{ф} \geq 10 \text{ кПа}$ составляет зону возможных разрушений (ЗВР). Зона возможных разрушений делится на зону возможных слабых (ЗВСл.Р) и зону возможных сильных разрушений (ЗВСП). ЗВСл.Р составляет часть ЗВР, в пределах которой возможно давление $\Delta P_{ф}$ от 10 до 30 кПа, ЗВСП – часть ЗВР с $\Delta P_{ф} \geq 30 \text{ кПа}$. Граница ЗВСП располагается в границах проектной застройки категоризованных городов и на удалении 3км от границ проектной застройки объектов особой важности, расположенных вне категоризованных городов, ЗВСл.Р – соответственно на удалении 7 и 10км от их проектных границ. Зона возможных разрушений с прилегающей к ней территорией протяженностью 20км составляет зону возможного опасного радиоактивного заражения (ЗВОРЗ). Полоса территории шириной 100км, прилегающая к границе ЗВОРЗ, - зону возможного сильного радиоактивного заражения (ЗВСПЗ).

Территория, прилегающая к химически опасному объекту (ХОО), в пределах которой при возможном разрушении емкостей с АХОВ вероятно распространение последних с поражающими концентрациями, составляет зону возможного опасного химического заражения (ЗВОХЗ). Удаление границы ЗВОХЗ приводится в приложении к “Нормам”.

Территория, в пределах которой в результате возможного затопления возможны массовые потери людей, разрушение зданий и сооружений, повреждение или уничтожение других материальных ценностей составляет зону возможного катастрофического затопления (ЗВКЗ).

Размеры зон возможного катастрофического затопления определяются при разработке материалов, обосновывающих выбор площадей для строительства городов, сельских селений, объектов или зданий.

Территория в пределах границ республики, края, области или района, располагающаяся вне зон возможных разрушений, опасного радиоактивного, химического заражения, катастрофического затопления и пригодная для жизни местного и эвакуированного населения, образует загородную зону.

4.1.2.3. Требования НП ИТМ ГО к размещению объектов и планировке городов

Требования “Норм” к размещению объектов и планировке городов направлены на защиту и обеспечение жизнедеятельности населения при ЧС, исключение и ограничение возникновения возможных вторичных факторов и очагов поражения, повышение устойчивости ОЭ.

В соответствии с требованиями НП ИТМ новые предприятия и объекты должны располагаться на расстоянии не ближе 60км от границ зон возможных сильных разрушений и зон возможного катастрофического затопления для городов особой важности и 1й группы, 40км – для городов 2й группы и 25км – для городов 3й группы по ГО. При этом численность трудящихся групп не должна превышать 20 тыс. человек.

Размещение атомных станций (АЭС) связано с численностью соседствующих с ними городов. Требуемые удаления атомных станций от поселений и городов приведены в табл. 4.1.

Табл. 4.1.

Удаление атомных станций от населенных пунктов

Населенный пункт и его численность, тыс. чел	Расстояние от станции, км	Минимально допустимое расстояние, км
Поселения	8	4
Города, 100...500	25	25
Города, 500...1000	30	25
Города, 1000...1500	40	35
Города, 1500...2000	50	40
Города, >2000	100	100

Удаление АЭС от зоны отдыха не должно быть менее 25 км. Плотность населения в 25-и километровой зоне вокруг АЭС не должна превышать 100чел/км², а численность поселков для работников АЭС и их удаление от объекта – соответственно 50 тыс. человек на 1км. Зона должна

обладать дорожной сетью, необходимой для эвакуации персонала и населения при возможной аварии на АЭС.

Среди ОЭ особого внимания требуют объекты, работающие с легковоспламеняющимися, взрывоопасными и аварийными химически опасными веществами, являющиеся потенциальными источниками как первичных, так и вторичных очагов поражения. Предприятия и склады этих веществ должны размещаться ниже по уклону местности по отношению к жилой застройке, предприятиям, пристаням, вокзалам. Базисные склады – располагаться в загородной зоне на расстоянии не менее 100м от берегов рек и 200м ниже поселений по течению рек.

Базисные продовольственные склады, предназначенные для снабжения категорированных городов, должны располагаться на окраине этих городов, а распределительные холодильники, склады продовольствия и промышленных товаров первой необходимости областного и республиканского значения – вне зон возможных сильных разрушений. Вне зон возможных разрушений должны располагаться базы и склады государственных материальных и продовольственных резервов. Особо важные ОЭ могут размещаться в горных выработках. Горные выработки могут использоваться для хранения АХОВ, отходов атомной промышленности, топлива.

За пределами зон возможных разрушений и катастрофического затопления следует располагать пансионаты, санатории, дома и базы отдыха, детские оздоровительные учреждения и т.п. объекты, которые могут использоваться в условиях ЧС для размещения в них лечебных учреждений и эвакуированного населения.

Требования к планировке и застройке городов направлены на повышение пожарной безопасности категорированных городов, создание условий для организованного и быстрого проведения эвакуационных мероприятий, обеспечение быстрого ввода сил и средств в пострадавшие в результате ЧС города, уменьшение вероятности разрушения объектов городского хозяйства.

В соответствии с существующей классификацией города делятся на крупнейшие с численностью населения более 500 тыс. человек, крупные с численностью населения от 250 до 500 тыс. человек, большие с численностью населения от 100 до 250 тыс. человек, средние с численностью населения от 50 до 100 тыс. человек и малые с численностью населения до 50 тыс. человек. Наиболее экономичными среди них признаются города с населением до 250 тыс. человек. В этой связи НП ИТМ требуют руководствоваться при создании населенных центров нормами, приведенными в табл. 4.2.

Табл. 4.2.

Максимальная численность населенных центров межрайонных и районных систем расселения

Группы городов, вокруг которых располагаются центры	Максимальная численность населенных центров, тыс. чел.	Минимальное расстояние между центрами, км
Особая и 1я группа	150	60
2я группа	75	40
3я группа	50	25

Максимальная плотность населения жилых районов и микрорайонов не должна превышать значений, приведенных в табл. 4.3.

Табл. 4.3.

Максимальная плотность населения жилых районов и микрорайонов

Группа города по ГО	Плотность населения, чел/км ²		Место расположения района в городе
	Жилые районы	Микро-районы	
Особая и 1я группа	280	459	Периферийные районы
2я группа	250	400	Периферийные районы
3я группа	235	375	Периферийные районы
Особая и 1я группа	235	375	Центральные районы
2я группа	220	350	Центральные районы
3я группа	200	325	Центральные районы

При реконструкции, планировке и застройке категорированных городов следует предусматривать членение селитебной территории, под которой понимают совокупность жилой застройки, коммунально-бытовых, культурно-просветительских, оздоровительных зданий и сооружений с прилегающими к ним парками, скверами, водоемами, на жилые районы площадью не более 250га и создание между ними противопожарных разрывов протяженностью не менее 100м, что позволяет избежать массовых пожаров и огневых штормов. В парках, садах, скверах необходимо предусматривать искусственные водоемы для тушения

пожаров. Емкость водоемов должна приниматься из расчета $3000\text{м}^3/\text{км}^2$. В некоторых случаях допускается снижение до $1500\text{м}^3/\text{км}$. К водоемам и рекам, если они есть, должны устраиваться подъезды, обеспечивающие удобный забор воды в любое время года не менее, чем 3мя пожарными машинами.

Магистральные улицы категорированных городов должны прокладываться с учетом обеспечения выхода по ним из жилых и промышленных районов на загородные дороги не менее, чем по двум направлениям. Эти магистрали должны пересекаться с другими улицами в разных уровнях. В зонах возможных сильных разрушений пересечения должны дублироваться другими переездами на расстоянии не менее 50м от переезда или путепровода.

С целью уменьшения вероятности образования завалов и барьерных участков расстояние между зданиями, расположенными по обеим сторонам магистральных улиц, должно быть на 15м больше высоты наиболее высокого здания, кроме высотных общественных зданий каркасной конструкции. Внутригородская транспортная сеть должна обеспечивать надежное сообщение между отдельными районами города и с центром, обеспечивая свободный доступ к магистралям, ведущим за город, к вокзалам, станциям и портам.

Сортировочные железнодорожные станции и узлы связи следует размещать за пределами зон возможных сильных разрушений, а на территории города – лишь пассажирские и грузовые станции. Гаражи для автобусов, грузовых и легковых автомобилей должны размещаться рассредоточено и, как правило, на окраинах городов.

Больницы должны размещаться за пределами зоны возможных разрушений.

4.1.2.4. Требования НП ИТМ к зданиям, сооружениям и внешним инженерным сетям

Устойчивость оборудования ОЭ в значительной мере определяется ограждающими конструкциями зданий и сооружений, в которых оно размещается. НП ИТМ в этой связи рекомендуют при строительстве производственных зданий применять легкие несгораемые или трудносгораемые конструкции. Технологическое оборудование в тех случаях, когда это допускается условиями эксплуатации, размещать на открытых площадках или под навесами.

При выборе типов зданий для складов продовольствия и продовольственного сырья с целью защиты от радиоактивного заражения предпочтение следует отдавать сооружениям силосного типа и закрытым резервуарам. Количество дверных и оконных проемов должно быть минимально необходимым. При ликвидации последствий радиоактивного

и химического заражения и проведении АС и ДНР требуется большое количество пунктов обработки. С этой целью НП ИТМ требуют душевые помещения на 10 и более кабин на предприятиях, бани в категорированных городах, поселках и населенных пунктах проектировать с учетом возможности их использования в качестве санитарно-обмывочных пунктов для обработки людей, подвергшихся заражению. Помещения для мойки автомобилей в гаражах, парках, на станциях обслуживания и других местах должны проектироваться с учетом возможности их использования для обеззараживания транспорта. Химчистки, механические прачечные должны допускать их использование для обеззараживания одежды.

Водоснабжение должно решать задачу устойчивого обеспечения водой категорированных городов в мирное и в военное время. При этом системы водоснабжения должны поддерживаться в готовности к использованию для целей пожаротушения. Вновь проектируемые системы для обеспечения водой городов и ОЭ необходимо базировать на двух независимых источниках воды, один из которых по возможности должен быть подземным. При невозможности такого решения водозабор одного из них следует предусматривать за пределами зоны возможного сильного разрушения. Суммарную мощность головных сооружений необходимо рассчитывать по нормам мирного времени из расчета 50л/сут.чел. Предпочтение при строительстве следует отдавать системам оборотного водоснабжения, относящихся к числу наиболее эффективных способов уменьшения расхода воды и загрязнения водоемов. Все водозаборные скважины должны иметь приспособления для забора воды в переносную тару и пожарными машинами с дебетом 5л/с. Оголовки водозаборных скважин следует размещать ниже уровня земли, а водонапорные башни иметь обводные линии (байпасы). При проектировании новых водопроводов старые необходимо сохранять в качестве резервных.

При газоснабжении категорированных городов от двух и более самостоятельных магистральных газопроводов подача газа должна осуществляться не менее чем через две газораспределительные станции, расположенных с разных сторон города за пределами его застройки. С целью предотвращения выхода газа в окружающую среду при разрушении газопровода следует предусматривать отключающие устройства, срабатывающие от действия ударной волны. Надежное газоснабжение категорированных городов и ремонт поврежденных участков газопровода обеспечивают дублирование вводов и внедрение автоматических включающих и переключающих устройств. НП ИТМ предусматривают также закольцовывание сетей и применение байпасов. При этом газораспределительные станции должны быть оборудованы подземными байпасами. В категорированных городах следует предусматривать подземную прокладку газопроводов, их закольцовывание и применение обводных линий.

4.1.2.5. Требования НП ИТМ ГО к электроснабжению, гидротехническим и транспортным сооружениям, связи

Электроснабжение играет особую роль, поскольку ни один ОЭ не может без него работать. Поэтому энергетические сооружения и электрические сети должны обеспечивать устойчивость электроснабжения. Новые крупные тепловые электростанции мощностью 600 мвт и более должны размещаться на расстоянии не менее двух радиусов зон возможных сильных разрушений друг от друга и от категорированного города и объектов. В качестве резерва следует предусматривать мелкие стационарные станции, а также передвижные (железнодорожные, судовые) электростанции и подстанции. Схемы электрических сетей энергосистем должны предусматривать возможность их автоматического деления при необходимости на сбалансированные независимо работающие части. В настоящее время в стране существуют энергосистемы, условно разбиваемые на три группы, сформированные на базе линий 500 кв (Центр, Урал и др.), 330кв (Северо-запад, Юг) и 220 кв (Забайкалье, Юг, Дальний Восток и др.). Сети размещаются вне зон возможных разрушений, энергосистемы закольцовываются. Линии электропередач должны проходить по разным трассам, закольцовываться и подключаться к нескольким источникам. Для управления энергосистемами должны иметься отдельно стоящие загородные диспетчерские пункты.

При проектировании и строительстве гидроузлов в их бьефе должны быть предусмотрены мероприятия, обеспечивающие устойчивость сооружений напорного фронта при прохождении волны прорыва, образующейся при разрушении вышерасположенных гидроузлов, а также условия ее пропуска через фронт этих сооружений. Определены параметры волны прорыва и границы зоны возможного затопления в нижнем бьефе для случаев разрушения сооружений напорного фронта в условиях нормального и сниженного подпорных уровней водохранилища. Границы зон возможных затоплений, отметки максимальных уровней и другие параметры волны прорыва определяются для расчетного прорыва в сооружениях напорного фронта при нормальном подпорном уровне воды в нижнем бьефе, а также для условий сниженного подпорного уровня с учетом возможного форсированного освобождения водохранилища в особый период. Должны быть предусмотрены приборы для регистрации прорыва и система оповещения населения о затоплении.

На железных дорогах следует предусматривать устройство обходов и веток для возможности проезда вне категорированных городов. Базы-стоянки резерва и пункты подвижного состава должны располагаться вне зон возможных разрушений и затопления. Необходимо предусматривать двухстороннее снабжение электрических тяговых подстанций.

Автомобильные дороги общегосударственного и республиканского значения должны прокладываться за пределами границ застройки категорированных городов. Мосты через судоходные реки также должны размещаться вне категорированных городов на расстояниях, исключающих их разрушение одним ядерным взрывом.

Трассы магистральных трубопроводов должны проходить при наземной прокладке за пределами ЗВР, при заглубленной – вне ЗВСР. Прокладка трубопроводов должна сопровождаться кольцеванием.

НП ИТМ ГО требуют при проектировании и строительстве метрополитена учитывать возможность его использования в качестве убежища, для эвакуации и рассредоточения, а также перевозки рабочих, продолжающих работу в военное время. Для оперативного руководства метрополитеном в нем должен быть предусмотрен командный пункт.

Специальными требованиями «Норм» сетевые узлы связи, узловые станции и магистрали, обслуживаемые усилительные пункты и приемные станции должны располагаться за пределами зон возможных разрушений и катастрофического затопления. За пределами зон возможных сильных разрушений и катастрофического затопления прокладываются междугородные кабельные линии. Вне зон возможных разрушений – радиорелейные линии. Переходы кабельных магистралей через судоходные реки прокладываются по мостам. Местные АТС должны быть связаны с федеральными сетями.

4.2. Основные принципы повышения устойчивости ОЭ

Основные принципы деятельности по повышению устойчивости ОЭ в ЧС сводятся к следующему:

1. Повышение устойчивости объектов экономики должно являться органической составной частью деятельности проектных, строительных, монтажных организаций, осуществляющих проектирование, строительство и монтаж ОЭ и его технологического оборудования, руководства и всего производственного персонала объекта в процессе его эксплуатации от ввода до вывода. Требования повышения устойчивости ОЭ должны быть встроены в процедуру принятия управленческих, проектных, строительных, хозяйственных и социальных решений при создании и эксплуатации ОЭ на приоритетных правах.

2. ОЭ полностью гарантированных от риска возникновения ЧС не существует. Отсюда следует принцип максимально необходимого повышения устойчивости за счет обеспечения надежности и безопасности инженерных систем и технологического оборудования ОЭ на всех стадиях существования от разработки до вывода из эксплуатации и осуществления необходимых защитных мероприятий.

3. Деятельности по повышению устойчивости должна быть присуща комплексность. Содержание этого принципа подразумевает охват всех стадий существования ОЭ, всех видов его производственной деятельности, всех инженерных систем и всех путей и способов повышения устойчивости.

4. Деятельности по повышению устойчивости ОЭ должна быть присуща превентивность, что означает, что приоритет в этой деятельности должен отдаваться мероприятиям, направленным на уменьшение риска возникновения причин потери устойчивости (безопасному размещению ОЭ и его структурных элементов относительно опасных зон потенциальных очагов поражения, обеспечению максимально возможной надежности инженерных систем и технологического оборудования, эргономике, использованию имитационных моделей и тренажеров для подготовки производственного персонала по направлению их основной деятельности и деятельности при угрозе и возникновении ЧС, психофизиологической устойчивости, дисциплинированности и высокой профессиональной подготовке персонала, его умению быстро принять решение и действовать в ЧС). Этот принцип также предполагает процедуру конкурсов проектов по повышению устойчивости и их всестороннюю оценку независимыми экспертами.

5. Повышение устойчивости ОЭ должно отвечать требованиям эффективности и экономической целесообразности, что означает учет всех факторов, влияющих на устойчивость ОЭ, достаточность и адекватность осуществляемых мероприятий возможным ЧС при их одновременном положительном влиянии на совершенствование процесса производства и другие показатели производственной деятельности.

4.3. Пути, способы и мероприятия по повышению устойчивости ОЭ

4.3.1. Общие положения

Пути и способы повышения устойчивости работы ОЭ в условиях ЧС во многом повторяют, рассмотренные в разделе 2.2.4, и могут быть представлены в виде структурной схемы, показанной на рис. 4.1.

Они делятся на пути и способы, предотвращающие причины потери устойчивости, предотвращающие потерю устойчивости, обеспечивающие устойчивость и восстанавливающие ее. Первые два пути предотвращают причины возникновения ЧС и сами ЧС, являющиеся причиной потери устойчивости ОЭ. Они приемлемы только по отношению к ЧС,



Рис. 4.1. Пути и способы обеспечения устойчивости работы ОЭ в ЧС.

потенциально возможным на самом объекте. Третий и четвертый путь – к внутренним и внешним ЧС.

Способы повышения устойчивости по направлению первого пути сводятся к отказу от использования, уничтожению или перепрофилированию потенциально опасного оборудования и технологий. Второго пути – прерыванию цепи событий, ведущих к ЧС, и обеспечению безопасности. Третьего пути – повышению надежности используемого оборудования и технологий. Четвертого пути – к быстрому восстановлению устойчивости ОЭ после ее потери в результате ЧС. Наиболее эффективными являются первые два пути. Однако повышение устойчивости ОЭ с их использованием не всегда возможно в отличие от третьего и четвертого путей.

Способы повышения устойчивости многообразны, но решение задачи может быть достигнуто только при их комплексном применении. Поэтому работу по повышению устойчивости проводят, используя все доступные в данных конкретных условиях пути и способы. Выбор путей и способов основывается на системном анализе значимости влияющих на работу ОЭ поражающих факторов при ЧС и чувствительности элементов ОЭ к их изменению.

Мероприятия по повышению устойчивости разрабатываются на основе возможных путей и способов на завершающем этапе исследований каждого из факторов, оказывающих влияние на работу ОЭ. Большая часть их них осуществляется на объекте заблаговременно, меньшая – в преддверии ЧС, наступление которых известно или заранее спрогнозировано.

При разработке мероприятий руководствуются требованиям НП ИТМ ГО [54] и результатами реальной оценки устойчивости, полученными в ходе проведения ее исследования. При этом учитывается, что достижение абсолютной устойчивости и исключение ущерба практически невозможно. Поэтому планируются и осуществляются лишь те мероприятия, которые позволяют уменьшить ущерб, обеспечить защиту производственного персонала и выпуск запланированной продукции при условии экономической целесообразности мероприятий. Обычно мероприятия считаются целесообразными, если суммарные затраты на них не превышают (1-2)% стоимости основных производственных фондов. Осуществляемые мероприятия, прежде всего, направлены на повышение устойчивости тех видов производственных структур, без участия которых невозможен выпуск основной продукции ОЭ.

Важную роль играют мероприятия по рациональному размещению производств на территории объекта экономики. Эти мероприятия обычно осуществляются на этапах проектирования и реконструкции предприятия и реже на этапе его эксплуатации. Они сводятся к зонированию производств, т.е. к размещению однотипных видов производств в

отдельных зонах, отделяемых друг от друга широкими магистральными проездами, искусственными водоемами или зелеными насаждениями; использованию рельефа местности; малоэтажной рассредоточенной планировке производств; максимально возможному с учетом производственного и экономического факторов уменьшению плотности застройки; переносу в загородную зону вспомогательных и дублирующих производств, складов сырья и готовой продукции; размещению оборудования, если это возможно, вне зданий или в зданиях с облегченным покрытием.

Объем мероприятий и их содержание определяются масштабами и характером возможных ЧС; величиной риска их возникновения и характеристиками, степенью важностью объекта в системе экономики страны и степенью его опасности для окружающей среды и населения при ЧС на самом объекте; собственными возможностями и возможностями государственных и иных структур, которые могут оказать помощь объекту в обеспечении необходимой степени его устойчивости.

При выборе путей, способов и мероприятий для повышения устойчивости ОЭ ориентируются на ситуации, которые определяются значительной величиной риска их реализации и наибольшими потерями и ущербом.

В условиях возможной военной конфронтации такой ситуацией является применение потенциальным противником ядерного оружия и возникновение очага ядерного поражения в месте расположения объекта. Эта ситуация является основой для важных в структуре народного хозяйства объектов промышленности, энергетики, транспорта и других при сохранении в мире ядерного оружия и концепции ядерного сдерживания, поскольку сохранение экономического потенциала и защита населения являются составляющими ядерного паритета. При этом учитываются ЧС мирного времени, создающие дополнительные воздействия на ОЭ.

В безъядерном варианте ведения военных действий ориентируются на сценарии с применением особо точных боевых средств.

Для некоторых объектов определяющими могут быть ЧС мирного времени. К таким объектам относятся объекты, применение оружия по которым в военное время маловероятно, т.е. расположенными вне категорированных городов и на значительном удалении от категорированных объектов за пределами очагов ядерного поражения, но в районах, где возможно проявление опасных природных явлений (землетрясений, ураганов, наводнений и др.), а также в зонах поражения при авариях на потенциально опасных объектах, прежде всего радиационно и химически опасных.

Содержание и объем мероприятий для этих объектов определяются действием всех возможных первичных и вторичных поражающих факторов при условии их наибольшего поражающего эффекта.

При выборе мероприятий учитываются вопросы оптимизации производных затрат, что главным образом определяется минимально необходимым объемом мероприятий и их полезностью в условиях повседневной производственной деятельности ОЭ, связанной с улучшением условий труда производственного персонала, увеличение выпуска товарной продукции, улучшением экологической обстановки в районе объекта и т.п.

Все разработанные мероприятия отражаются в сводном плане. Заблаговременные мероприятия и мероприятия, осуществляемые в преддверии ЧС, составляют содержание отдельных разделов плана. Каждый из этих разделов делится на мероприятия, осуществляемые ОЭ, и мероприятия, требующие привлечения сторонних организаций. В плане указываются объем и стоимость работ, источники финансирования, необходимые силы, средства и материалы, ответственные исполнители и сроки исполнения. По мере развития ОЭ и изменения обстановки, в которой он функционирует, в план вносятся необходимые коррективы.

4.3.2. Обеспечение защиты производственного персонала

Надежная защита производственного персонала в ЧС является важнейшим условием повышения устойчивости ОЭ.

Мероприятия, обеспечивающие защиту персонала, основаны на своевременном обнаружении, оповещении и исключении или ослаблении действия поражающих факторов путем осуществления мониторинга окружающей среды и производственных процессов, использования эффективных систем оповещения и средств защиты, проведения эвакуационных мероприятий. Решение задачи мониторинга достигается оснащением объекта приборами и системами, позволяющими обнаруживать опасные концентрации углеводородных топлив и химических веществ, радиоактивные излучения и тому подобные факторы, оказывающие поражающее воздействие на людей. ОЭ должны иметь объектовую систему оповещения об опасности, подключенную к городской или региональной системе оповещения и достаточное для укрытия наибольшей работающей смены количество защитных сооружений. При их недостаточном количестве осуществляется дополнительное строительство убежищ и противорадиационных укрытий соответствующих классов и групп, быстровозводимых убежищ и простейших укрытий. Строительство последних производится в военное время в угрожаемый период. Однако вся подготовительная работа осуществляется заблаговременно. К ней относится приобретение проектной документации; выбор конкретных мест, на которых будет осуществляться строительство; их посадка и привязка; заготовка всех необходимых строительных материалов и

оборудования, инструмента и технических средств; выделение и обучение производственного персонала.

Каждый рабочий и служащий ОЭ должен иметь средства индивидуальной защиты, обеспечивающие ее при перспективных авариях и катастрофах. Накопление средств индивидуальной защиты производится ОЭ самостоятельно с хранением их в местах, максимально приближенных к тем, для кого они предназначены. Каждый член производственного коллектива должен уметь пользоваться средствами защиты и находиться в них в течение всего времени возможного действия поражающих факторов.

Для вывода персонала с территории и из сооружений объекта при возникновении опасных очагов поражения или угрозе применения оружия в военное время планируется проведение эвакуационных мероприятий. Спланированные эвакуационные мероприятия должны постоянно уточняться с учетом изменяющейся обстановки. Их эффективная реализация обеспечивается проведением учений и тренировок, а также хорошей подготовкой руководящего состава объекта.

Для уменьшения риска поражения людей при попадании ОЭ в зону радиоактивного заражения в случае аварий на радиационно-опасных объектах и применении ядерного оружия в военное время, авариях на химически опасных объектах, угрозе бактериального заражения производится герметизация производственных зданий и помещений. При герметизации зданий предполагается заделка всех щелей и трещин в ограждающих конструкциях; закладка дверных, оконных и иных проемов, отсутствие которых не нарушает условий эксплуатации; штукатурка внутренних поверхностей наружных стен при наличии пустот в швах кладки; герметизация вводов в наружные стены коммуникаций (водопровода, отопления, воздуховодов, канализации, электроснабжения и др.). На воздухозаборных и вытяжных устройствах приточно-вытяжных систем вентиляции устанавливаются герметические задвижки или крышки. Работы по герметизации выполняются по проекту, разрабатываемому проектной организацией в соответствии с заданием на проектирование, выданным объектом. Перечень и объем инженерно-технических мероприятий по герметизации определяется в ходе проведения исследования устойчивости ОЭ.

Для защиты от радиоактивных веществ открытых частей машин, агрегатов и пультов управления, с которыми соприкасаются люди во время работы, могут быть использованы полиэтиленовые чехлы, брезенты и другие покрытия.

Для обеззараживания воды, поступающей для хозяйственно-бытовых и производственных нужд из открытых источников очистные сооружения (отстойники, фильтры, хлоратные установки) оборудуются устройствами для задержки радиоактивных, отравляющих, аварийно химически опасных веществ и бактериальных средств.

С целью проведения возможной специальной обработки оборудования и санитарной обработки людей создаются запасы дезактивирующих, дегазирующих и дезинфицирующих веществ, а также необходимых материалов и технических средств. Душевые объекты приспособляются для проведения при необходимости полной санитарной обработки производственного персонала. Работы по специальной обработке зараженных помещений и оборудования производятся личным составом формирований обеззараживания гражданской обороны объекта.

4.3.3. Повышение устойчивости инженерно-технического комплекса

Повышение устойчивости зданий и сооружений может быть достигнуто за счет их рационального размещения на территории ОЭ, оптимальной конструкции и усиления прочности. При этом повышение прочностных характеристик в виду больших затрат целесообразно только для зданий особо важных производственных участков и цехов. Предел прочности таких зданий увеличивают, как правило, до общепринятого на данном ОЭ.

По времени мероприятия по повышению устойчивости производственных зданий осуществляются на этапе проектирования, нового строительства, реконструкции и на этапе эксплуатации. Одним из основных факторов, вызывающих разрушение зданий, является ударная волна. По отношению к ней предусматривается либо ее пропуск через здание, либо повышение прочностных свойств основных конструктивных элементов здания. На этапе проектирования, нового строительства и реконструкции задача решается за счет применения каркасных конструкций из железобетонных или металлических унифицированных элементов и легкого стенового заполнения из хрупких материалов (пенобетона, керамзитобетона или подобных материалов). Мгновенное разрушение стенового заполнения при взрыве превращает здание в открытую каркасную конструкцию, обладающую большей сопротивляемостью действию ударной волны. Для пропуска ударной волны стеновые панели могут выполняться не только «вышибными» (рис. 4.2а), но и поворачивающимися вокруг горизонтальной оси при действии ударной волны с последующим возвращением в исходное состояние под действием сил гравитации (рис. 4.2б). При проектировании перекрытий применяются прочные, но легкие материалы и конструктивные решения, позволяющие уменьшить массу перекрытий, что приводит к уменьшению ущерба при их обрушении. Каркасные конструкции, стеновые заполнения, перекрытия, перегородки проектируют из несгораемых или трудно сгораемых материалов, что значительно снижает риск возникновения

пожаров и их масштабы. Уменьшается парусность зданий за счет снижения их высоты и увеличения отношения суммарной площади оконных проемов к общей площади стен. При величине отношения более 50% ударная волна, затекающая в здание, практически не усиливается за счет отражения. Уменьшение парусности повышает устойчивость зданий не только к действию ударной волны, но и к действию ветра при ураганах.

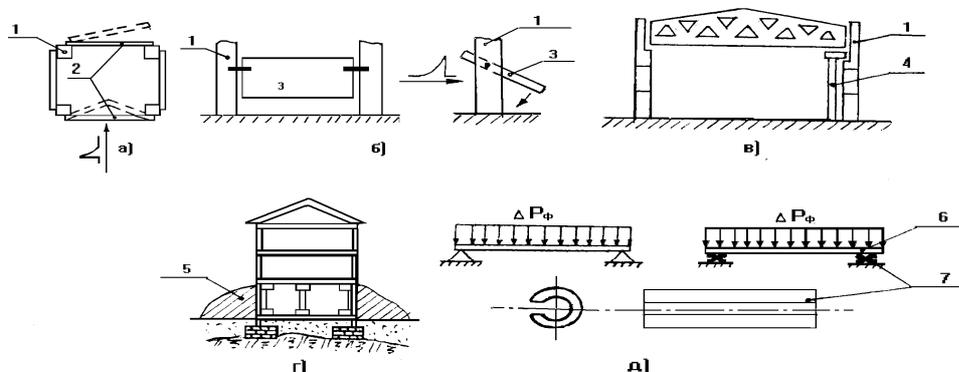


Рис. 4.2. Мероприятия по повышению устойчивости производственных зданий и сооружений: 1 – опорная колонна, 2 – вышибные панели. 3 – поворачивающиеся панели, 4 – дополнительная опора, 5 – грунт, 6 – панель

Устойчивость зданий к действию ударных и сейсмических волн при землетрясениях повышается при использовании антисейсмических принципов строительства (простой конфигурации в плане, членении на отсеки антисейсмическими швами, сооружении антисейсмических железобетонных поясов в уровнях междуэтажных перекрытий и других принципов). Поскольку повышенная сложность антисейсмических конструкций увеличивает стоимость здания, антисейсмические принципы используются обычно лишь для зданий и сооружений основных производств. Некоторые типы зданий и сооружений проектируются полузаглубленными, что не только увеличивает их устойчивость, но и позволяет использовать подземные этажи для размещения уникального оборудования и защитных сооружений для укрытия производственного персонала.

Решение задачи повышения устойчивости эксплуатируемых зданий достигается уменьшением расчетных пролетов существующей сети опорных колонн путем установки дополнительных опор; подведением дополнительных опор вне сетки проектных колонн; усилении опорных колонн металлическим бандажом с заливкой пустот бетоном; введение дополнительных элементов жесткости каркаса и усилением его наиболее слабых узлов дополнительными связями; усилением несущих плит перекрытия нижних этажей подведением дополнительного ряда опор;

усилением опорных колонн ферм перекрытия путем разгрузки части несущей стены (рис. 4.2в); освобождением верхних этажей здания от второстепенного технологического оборудования.

Обсыпка стен цокольных и первых этажей грунтом обеспечивает не только повышение устойчивости к действию ударной волны небольших по габаритам зданий, но и радиационную защиту работающего в них производственного персонала (рис. 4.2г).

Для уменьшения последствий действия ударной волны на панели межэтажных перекрытий применяются противоударные элементы, поглощающие энергию удара (рис. 4.2д). В качестве противоударных элементов могут использоваться трубы из отпущенной стали, работающие на смятие, как это показано на рис. 4.1д. В целом задача повышения устойчивости функционирующих зданий решается значительно сложнее, чем проектируемых. Поэтому во многих случаях, осуществляя доступные мероприятия по повышению устойчивости этих зданий, целесообразно основное внимание обращать на повышение устойчивости технологического оборудования.

Устойчивость технологического оборудования достигается применением мероприятий, направленных на обеспечение сохранности особо ценного и уникального станочного парка, без которого невозможно продолжение производства; рациональное размещение оборудования и усиление его наиболее слабых элементов; создание запаса этих элементов, особо ответственных узлов и деталей, материалов и инструментов,

необходимых для ремонта. Принимаются меры для повышения устойчивости оборудования, прочности его закрепления на фундаментах, защиты от воздействия обломков разрушающихся конструкций зданий. В любом из видов производств всегда есть группа наиболее важного технологического оборудования, от устойчивости работы которого зависит выпуск продукции. Для защиты такого оборудования от падающих обломков разрушенных конструкций здания применяют металлические сетки, выполненные из арматурной стали, и приспособления, защищающие наиболее ответственные и уязвимые узлы станков. Это могут быть козырьки, колпаки, навесы и т. п. приспособления. Могут использоваться особые свойства элементов из отпущенного металла, поглощающие энергию падающих строительных элементов и их обломков. С их помощью изготавливаются приспособления, получившие название «зонты» (рис. 4.3а).

В качестве противообвальных и противоударных устройств могут применяться витые цилиндрически звенья, работающие на растяжение, сжатие и скручивание; дуговые опоры; ленты; пространственные податливые опоры; податливые болты, шпильки и анкеры. В целом вопрос защиты оборудования от действия обломков решается комплексно

одновременно с вопросом повышения устойчивости зданий цехов, в которых оно расположено. При защите оборудования от непосредственного действия ударной волны могут использоваться ее аэродинамические свойства. На рис. 4.3б показано крепление приборной стойки металлическими лентами с противоударными звеньями, приваренными к уложенному заподлицо с опорной поверхностью стойки металлическим листом, прижимаемым избыточным давлением к полу. Другим способом защиты является крепление станочного оборудования на фундаментах болтовыми соединениями.

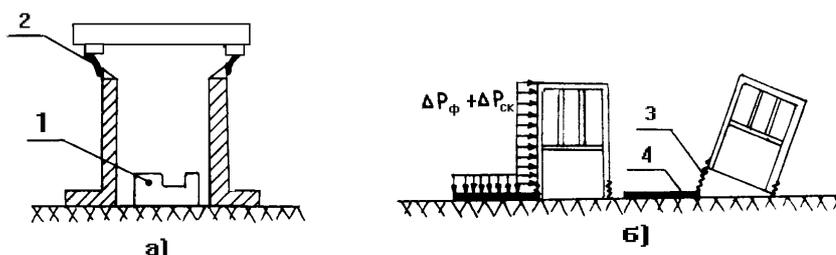


Рис. 4.3. Устройства для защиты технологического оборудования:

1 – станок, 2 – дуговая опора типа «скоба», 3 – витое цилиндрическое противоударное звено, 4 – металлический лист

На практике, как правило, используются все имеющиеся возможности по защите, как отдельных видов оборудования, так и их групп, участков, линий с учетом специфики ОЭ.

Наибольшую сложность в повышении устойчивости технологического оборудования представляют поточные линии сборочных цехов, имеющие большое количество подвесных конструкций и приспособлений с низкой устойчивостью к действию поражающих факторов. Повышают их устойчивость, применяя податливые крепежные элементы, воспринимающие энергию удара.

Действенным способом является постоянная модернизация технологического оборудования с целью повышения надежности его работы.

Надежность технологических процессов обеспечивается за счет устойчивости системы управления и бесперебойного обеспечения всеми видами сырья, материалов и энергии; их упрощения; исключения или ограничения использования горючих, взрывоопасных и аварийно химически опасных веществ; возможности переноса производства в другие цехи; разработки эффективных способов безаварийной остановки технологических установок или перевода их на пониженный режим работы и обходных технологических процессов.

Основой для разработки обходных технологических процессов служат возможные разрушения станочного и технологического оборудования с выходом из строя отдельных станков и целых линий, планируемая эвакуация части оборудования, вызывающая нарушение технологического цикла на основном производстве; нарушение поставок сырья; возможность использования другого вида инструмента, топлива и другие причины. Измененные технологии (не обязательно упрощенные) должны отвечать требованиям выпуска планируемой продукции хорошего качества и в установленные сроки. При разработке обходных технологий должна учитываться возможность получения тем или иным цехом слабых или средних разрушений и продолжения работы с оставшимся оборудованием, инструментом, сырьем, материалами и производственным персоналом. Каждый разработанный технологический процесс обеспечивается необходимой технологической документацией. Предусматривается возможность выпуска продукции, ее узлов и агрегатов упрощенной конструкции.

Обходные технологические процессы и все необходимые для их реализации мероприятия разрабатываются заранее.

Промышленные объекты являются крупнейшими потребителями электроэнергии со сложной и разветвленной системой их электроснабжения. Специфической особенностью энергосистем является большое разнообразие приемников электроэнергии по мощности и режиму работы. Для уменьшения потерь электроэнергии и увеличения надежности электроснабжения системы электроснабжения ОЭ строятся таким образом, чтобы все ее элементы постоянно были под нагрузкой.

Схемы распределения электроэнергии внутри предприятия строятся ступенчато. Первой ступенью является участок от главной понизительной подстанции на (110-220) кв до распределительного пункта на (6-10) кв, второй – от распределительного пункта до цеховых подстанций на (6-0,66) кв. Внутривзаводская распределительная сеть может быть радиальной с расположением нагрузок в радиальном направлении от центра питания и магистральной с подачей электроэнергии от главной понизительной подстанции или теплоэлектроцентрали объекта непосредственно к цеховым трансформаторным подстанциям. Принципиальная схема электроснабжения типового промышленного объекта показана на рис. 4.4.

Система электроснабжения является определяющей системой ОЭ, от работы которой в значительной мере зависит его устойчивость.

Устойчивость системы электроснабжения достигается совместным выполнением ряда общегородских (региональных) и объектовых инженерно-технических мероприятий. Главные из них следующие.

Предприятие обеспечивается электроэнергией не менее, чем от двух линий распределительной сети города (региона) таким образом, чтобы при выходе из строя одной линии электроэнергия поступала бы от другой.

Внутри объекта отдельные участки распределительной сети связаны через автоматическую систему, позволяющую выключать их при аварии. Кабели электроснабжения прокладываются под землей в траншеях (рис. 4.5а) или в общих коллекторах. При этом кабельные трассы выбираются наиболее короткими и прямыми под непроезжей частью территории объекта или под тротуарами. Наиболее уязвимые элементы системы, которыми являются наземные сооружения (понижительные и трансформаторные станции, подстанции, распределительные пункты) усиливаются до принятого предела устойчивости к механическим воздействиям, обеспечивается их противопожарная устойчивость.

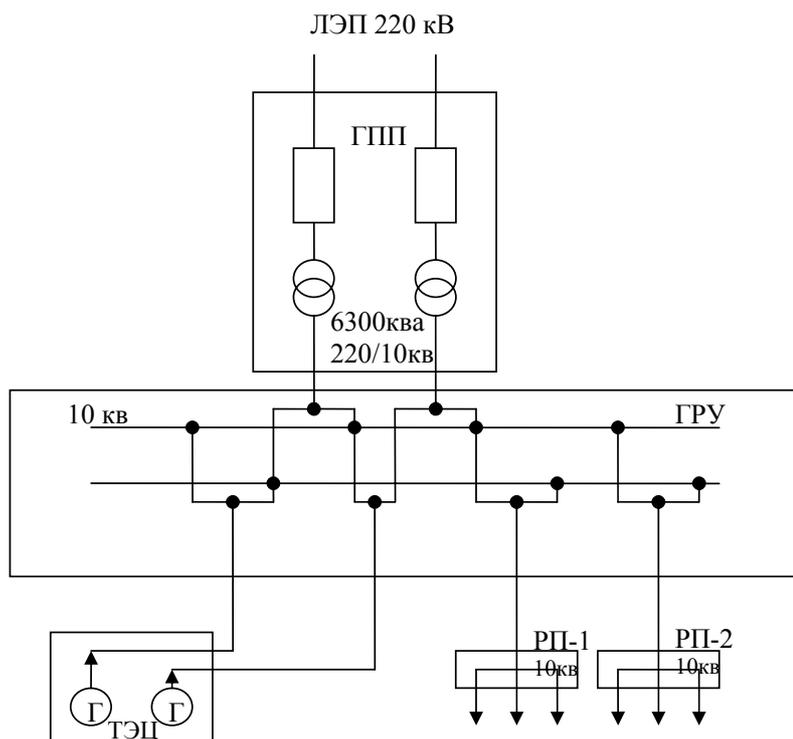


Рис. 4.4. Принципиальная схема электроснабжения промышленного объекта.

Обозначения: ЛЭП – линии электропередач системы, 220 кВ; ГПП – главная понизительная подстанция, 220/10 кВ; ГРУ – главное распределительное устройство, 10 кВ; ТЭЦ – теплоэлектроцентраль объекта, 10 кВ; РП-1, РП-2 – распределительные пункты, 10 кВ;

Г – генераторы ТЭЦ.

Защищаются внутрицеховые осветительные и силовые щиты. Дублируются воздушные линии внутризаводской распределительной сети, если их невозможно проложить под землей. С учетом технологии

производства разрабатывается схема специальных режимов работы системы электроснабжения, позволяющая поэтапно подключать источники питания к цехам и участкам. Готовится систем аварийного электроснабжения главных производств с использованием передвижных электростанций и отбором мощности с имеющихся, но не используемых по прямому назначению электросиловых установок, например, кранов большой грузоподъемности, энергоустановок морских и речных судов.

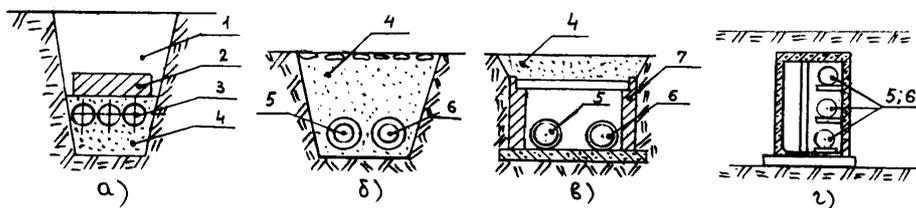


Рис. 4.5. Прокладка электрических кабелей и тепловых сетей.

Обозначения: 1 – траншея; 2 – кирпич или бетонная плита;
3 – кабели; 4 – песчаная засыпка; 5 – подающая труба; 6 – обратная труба; 7 –
кирпичная кладка.

Для отопления и различных технологических целей на предприятиях широко используются горячая вода и пар. Их источниками являются городские или районные ТЭЦ и котельные, а на очень крупных ОЭ – объектовые ТЭЦ. Подаются горячая вода и пар с помощью тепловых сетей, которые включают в себя систему подающих и обратных теплопроводов горячего теплоснабжения и сеть паропроводов.

Пар в сети подается под давлением (700-2500)кПа. Трубы тепловых сетей обычно прокладываются на наземных эстакадах, а в некоторых случаях – на кронштейнах, закрепленных на стенах зданий и сооружений. Такая прокладка более экономична и проста в эксплуатации, но обладает низкой устойчивостью к действию поражающих факторов. При действии ударной волны средние разрушения наблюдаются, начиная с давлений на фронте воздушной ударной волны ~35кПа.

Устойчивость тепловых сетей достигается за счет обеспечения равнопрочности ее наземных сооружений с остальными элементами инженерно-технического комплекса объекта, защиты распределительных устройств, контрольно-измерительной аппаратуры и приборов автоматики, кольцевания сетей с установкой автоматических отключающих устройств, прокладки трубопроводов в грунте или в подземных коллекторах. Варианты прокладки показаны на рис. 4.5б,в,г. При невозможности переноса тепловых сетей с эстакад в подземные коллекторы принимаются меры по повышению устойчивости эстакад и усилению крепления к ним трубопроводов. При прокладке трубопроводов на низких эстакадах их устойчивость повышается обсыпкой грунтом.

Устойчивость системы водоснабжения ОЭ определяется возможностью подачи необходимого количества воды в условиях ЧС.

Предприятия, расположенные в городе, получают воду из городского водопровода. В сеть внутризаводского водопровода она может подаваться от городских магистралей или через местные повысительные насосные станции. Схема питания промышленного предприятия от городского водопровода показана на рис. 4.6.

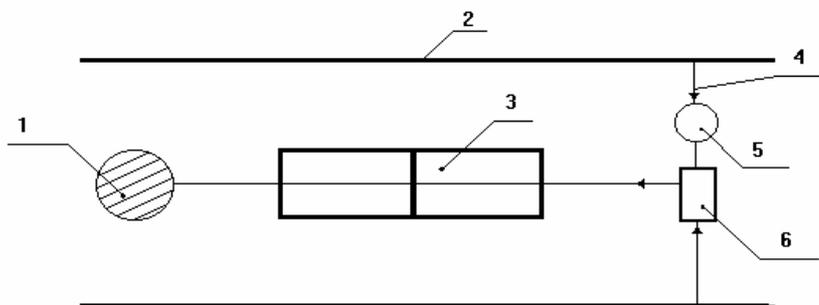


Рис. 4.6. Схема питания промышленного предприятия от городской водопроводной сети
 Обозначения: 1- водонапорная башня. 2 – городская магистраль.
 3 – внутриобъектовая водопроводная сеть. 4 – ввод водопровода.
 5 – резервуар. 6 - насосная станция

В целях повышения устойчивости вода подается от городских линий не менее, чем по двум вводам. Сеть закольцовывается для обеспечения возможности маневра путем обхода поврежденных участков. Для нужд производства и пожаротушения создаются резервные источники водоснабжения, которыми могут быть естественные и искусственные водоемы, оборудованные для забора воды; артезианские скважины.

При создании резервных источников водоснабжения обеспечивается их защита от заражения радиоактивными, аварийными химически опасными веществами и бактериальными средствами. Наиболее просто эта задача решается при использовании подземных резервуаров и артезианских скважин, оголовки которых герметизируются. Наземные сооружения системы водоснабжения (насосные станции, пункты управления, устройства энергопитания) защищаются от действия механических поражающих факторов. С этой же целью заглубляются в грунт все коммуникации. Переключающие устройства и пожарные гидранты устанавливаются на незаваливаемой территории. Устраиваются перемычки, переключающие устройства и обводные линии (байпасы), значительно повышающие живучесть системы объектового водоснабжения. Осуществляются мероприятия по бесперебойному электроснабжению насосных станций. При отказе основных источников питания предусматривается использование резервных источников.

При новом строительстве и реконструкции целесообразно устройство системы оборотного водоснабжения, более устойчивой к действию поражающих факторов.

Для повышения устойчивости системы канализации она делится на отдельные сети ливневой и промышленно-хозяйственной (фекальной) вод. Для промышленной и хозяйственной канализации устраивается не менее двух выпусков в городские и канализационные коллекторы. Предусматриваются аварийные сбросы и перепуски на случай аварий или разрушения городских насосных станций. Обеспечивается защита наземных станций перекачки и их надежное электроснабжение. На объектовых канализационных коллекторах устанавливаются аварийные задвижки, которые находятся в колодцах, располагаемых с интервалом 50м на незаваливаемой территории.

Снабжение ОЭ газом осуществляется от системы городского газоснабжения. Мероприятия, обеспечивающие устойчивость функционирования этой системы, сводятся в основном к следующему. Питание ОЭ газом должно осуществляться от закольцованной распределительной сети высокого (300-600кПа) и среднего (5-300кПа) давления через не менее, чем два ввода от разных магистралей. Вводы соединяются на территории объекта, образуя закольцованную внутриобъектовую сеть. Все газовые вводы на территорию объекта и в здания цехов оборудуются автоматическими отключающими устройствами. Сеть газопроводов на территории объекта должна быть подземной с прокладкой на глубине не менее (2-2,5)м, а наземные сооружения (газо-регулирующие пункты, газораспределительные установки) надежно защищены. На сети должны быть предусмотрены обводные линии (байпасы) с отключающими устройствами, а сама сеть приспособлена для работы при сниженном давлении в целях уменьшения вероятности возникновения пожаров. Резервные емкости для хранения газа должны располагаться под землей и выдерживать высокое давление газа. Кроме них в качестве автономных источников могут использоваться также подземные хранилища или автоцистерны со сжиженным газом.

Существенную роль в повышении устойчивости систем энергоснабжения играет подготовка к использованию при необходимости резервных источников топлива. Объемы резервных запасов топлива должны быть рассчитаны на период времени, необходимый для восстановления пострадавших при ЧС систем энергоснабжения, а технические средства, сооружения, транспортные средства, производственный персонал – подготовлены для работы с ними. Подготовка включает организацию хранения, доставки, выделение и обучение производственного персонала, приспособление энергосистем для работы на резервных видах топлива и т.п. вопросы.

В целом устойчивость работы систем энергоснабжения достигается осуществлением мероприятий регионального и объектового характера. Прорабатываются вопросы возможности использования дублирующих и создания резервных источников энергии. Дублируются, закольцовываются и защищаются сети; защищаются особо ответственные элементы и устройства энергетических систем; повышается их прочность; разрабатываются и используются источники энергии, способные работать на различных видах энергоносителей; создается запас материалов и деталей, необходимых для ремонта; запас энергоносителей. Принимаются меры по предупреждению возникновения вторичных поражающих факторов. Внедряются на энергосетях системы автоматического управления, отключающие поврежденные участки без вмешательства производственного персонала.

Повышение пожароустойчивости ОЭ обеспечивается блокированием факторов, способствующих возникновению и развитию пожаров, а также осуществлением мероприятий, связанных с их своевременным обнаружением, локализацией и тушением.

К числу мероприятий, повышающих устойчивость ОЭ к пожарам, прежде всего относится строгое выполнение правил и норм пожарной безопасности при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации. Для уменьшения вероятности возникновения пожаров необходимо проводить работу по очистке территории, чердачных и подвальных помещений, лестничных клеток и других помещений от всех горючих и особенно легковоспламеняющихся веществ и материалов. Все малоценные деревянные строения, заборы, навесы должны быть снесены. Количество пожаровзрывоопасных веществ в цехах не должно превышать требуемого для осуществления операций, предусмотренных технологическим процессом. Если по технологии возможно, горючие вещества и материалы заменяются негорючими. Емкости с горючими веществами усиливаются, заглубляются или обваловываются, устраиваются стоки и ловушки. На опасных в пожарном отношении технологических аппаратах и линиях устанавливаются устройства подавления взрывов и возгораний, водяных завес, автоматически срабатывающие задвижки, гидрозатворы. Осуществляется подготовка к безаварийной остановке плавильных, нагревательных, закалочных печей и им подобного технологического оборудования.

Ограничение распространения возникших пожаров достигается возведением дополнительных противопожарных стен (брандмауэров), перегородок, дверей, разрывов, полос.

Для эффективной борьбы с пожарами производственные здания и сооружения оснащаются противопожарным инвентарем, ручными средствами пожаротушения, автоматическими системами пожарной сигнализации и тушения, противопожарной техникой. Исправность

средств борьбы с пожаром должна периодически, в соответствии с установленными сроками, контролироваться и поддерживаться. Создаются запасы огнетушащих веществ, необходимых для тушения специфических видов пожаров. На территории ОЭ при отсутствии естественных строятся искусственные противопожарные водоемы с необходимым запасом воды, дорогами и подъездами к ним, площадками для постановки пожарных машин, мотопомп и другой противопожарной техники. Могут устраиваться артезианские скважины, оборудованные для забора воды пожарными машинами, устанавливаются резервуары с запасом воды для тушения пожаров. Система водоснабжения оборудуется гидрантами. Для беспрепятственного доступа пожарных и техники к местам возникших пожаров проходы в цехах должны быть освобождены от лишнего имущества и материалов, а магистральные проезды и подходы к цехам расширены.

Защита от возгорания горючих материалов при действии светового излучения ядерного взрыва достигается окраской оконных проемов известковой или меловой побелкой, закрытием их легкими несгораемыми щитами, теплоотражающими шторами, жалюзи, удалением матерчатых занавесей, штор с окон, заменой в них сгораемых утеплителей на несгораемые. Деревянные конструкции зданий и сооружений покрываются огнезащитными составами (известково-солевым, суперфосфатным, глиняным), а наружное технологическое оборудование красится огнезащитными красками.

В преддверии ЧС производится подготовка к немедленному использованию пожарных гидрантов, водоемов, артезианских скважин, резервуаров, противопожарной техники и оборудования. Сокращается до минимума количество пожаровзрывоопасных веществ в цехах, а оставшиеся хранятся в специальных емкостях. Осуществляется подготовка к безаварийной остановке работающих цехов и при необходимости остановка как отдельных цехов и участков, так и всего технологического процесса в целом. Последовательно отключаются в случае опасности подача газа, жидкого топлива, электроэнергии. Усиливается надзор за противопожарным состоянием объекта.

Существенную роль в повышении пожароустойчивости ОЭ играют создание и подготовка противопожарных формирований, а также разработка инструкций; отражающих специфические особенности возникновения и развития пожаров в цехах и на участках объекта.

4.3.4. Подготовка к безаварийной остановке производства

Одним из важных направлений повышения устойчивости ОЭ является разработка мероприятий по безаварийной остановке производства. Причинами, вызывающими такую необходимость, могут

быть выход из строя отдельных агрегатов, прекращение подачи электроэнергии, воды, пара, повреждение предохранительных устройств и т.д. Следствием этого могут быть аварии, связанные со значительным повреждением и разрушением технологического оборудования и отдельных его элементов, выходом в окружающую среду ядовитых веществ и гибелью производственного персонала, взрывами, пожарами и т.п. последствиями, которые в конечном счете приведут к нарушению нормальной производственной деятельности ОЭ, т.е. потере им устойчивости. Поэтому необходимо заблаговременно продумать и разработать способы и мероприятия безаварийной остановки объекта, понижения режима работы, отключения потребителей от источников энергии, а на предприятиях химической промышленности и поступления технологического сырья. Для повышения надежности автоматические отключающие системы должны дублироваться устройствами, позволяющими производить эти операции вручную. Быстрому отключению потребителей от источников энергии или технологического сырья может способствовать оснащение объектов системами и устройствами, срабатывающими от предвестников основного поражающего фактора. Например, от предвестника землетрясения, предшествующего основному толчку; гамма-излучения, светового излучения или электромагнитного импульса при ядерном взрыве, достигающих объекта раньше ударной волны, и т.п. Этой же цели может служить оснащение систем подачи различного рода клапанами-отсекателями, отключающими, например, системы подачи воды, топлива, газа при изменении давления в трубопроводах и т.п. устройствами.

Перечень мероприятий общего плана в целом сводится к снятию напряжения со щитов питания в цехах, выключению электроприборов, машин, станков и другого оборудования; прекращению подачи газа, пара, сжатого воздуха, сжатых и сжиженных газов; отключению систем отопления и горячего водоснабжения; отключению электропитания на объектовой подстанции. Все остальные мероприятия специфичны и зависят от вида производства или технологической установки. Для примера приведем комплекс мероприятий по безаварийной остановке термических и литейных цехов, внезапная остановка которых приводит к авариям и выпуску некондиционной продукции.

В термических цехах примерный перечень мероприятий по их безаварийной остановке включает в себя:

- перекрытие подачи топлива у печей и главного ввода и выключение электроэнергии для отопления печей;
- слив масла из закалочных печей в сборные емкости;
- прекращение подачи в цех изделий на термообработку, выключение транспортеров, подвесных конвейеров, рольгангов и других механизмов;

- перекрытие подачи цементирующего газа в шахтных печах;
- отключение электроэнергии и оборудования для глубокого охлаждения в камерных и шахтных печах для азотирования;
- прекращение хранения и применения цианистых солей на участках цеха;
- оставление на свободное остывание ранее загруженных в печи отливок и поковок.

Для безаварийной остановки литейного цеха:

- перекрывается подача газа, пара, сжатого воздуха;
- отключается подача электроэнергии;
- включаются насосы повышенного давления водопроводной сети;
- жидкий металл в печах и раскаленные отливки покрываются слоем песка и шлака;
- для обеспечения слива металла и шлака в подготовленные емкости засыпаются в вагранки две холостые калоши с оставлением открытыми фурм и леток;
- закрываются термические печи;
- прекращаются все технологические процессы смешеприготовления, формовки, изготовления стержней и обработки готовых отливок;
- отгоняются к торцевой стене цеха и закрепляются мостовые краны, выводятся в специально подготовленные места внутрицеховой транспорт.

Для осуществления мероприятий по безаварийной остановке производства в каждой смене создаются бригады (группы) людей, ответственных за отключение агрегатов и остановку производственных процессов в отработанной последовательности. После выполнения мероприятий осуществляющий их персонал при необходимости укрывается в защитных сооружениях.

4.3.5. Повышение устойчивости материально-технического снабжения

Нормально функционирующий ОЭ имеет многочисленные связи и взаимодействия с предприятиями, обеспечивающими его электричеством, водой, паром, газом, сырьем, материалами, комплектующими изделиями; потребляющими изготовленную продукцию; предоставляющими транспортные услуги. В условиях ЧС эти связи могут быть полностью или частично нарушены, что приведет к срыву поставок, невозможности отгрузки готовой продукции потребителям и в конечном счете к сбоям в работе или ее полному прекращению. На некоторых ОЭ (нефтехимических, нефтеперерабатывающих, угольных,

горнодобывающих и др.) накопление готовой продукции из-за невозможности ее своевременной отгрузки является предпосылкой для ЧС. Такая опасность не исключается и для объектов, потребляющих нефтегазовые продукты и аварийно химически опасные вещества, если они накапливаются на них из-за нарушения ритмичности поставок в больших количествах. Поэтому заблаговременно осуществленные мероприятия по материально-техническому снабжению предприятия во многом определяют возможность его нормального функционирования, особенно в условиях ЧС.

Разработка мероприятий по повышению устойчивости материально-технического снабжения ОЭ в ЧС является сложной задачей и в основном сводится к разработке вариантов использования возможностей различных поставщиков материальных ресурсов и потребителей готовой продукции, повышению устойчивости инфраструктуры, организации надежного хранения материальных ресурсов и готовой продукции.

Для того, чтобы продолжать производство в условиях нарушения производственных связей, должны быть подготовлены запасные варианты этих связей, базирующиеся на поставщиков, расположенных в промышленно-экономических районах, не попадающих в зоны ЧС, перспективных для данного ОЭ, а в военное время не являющихся возможными целями. То же самое относится и к потребителям готовой продукции. Предпочтительно с точки зрения упрощения перевозок чтобы запасные потребители и поставщики располагались в пределах своего экономического или административного района.

В условия ЧС нельзя надеяться на бесперебойную работу транспорта. Поэтому возможно, что отлаженные производственные связи ОЭ будут прерваны и не исключается, что в некоторых случаях надолго. Для большинства ОЭ основным средством доставки сырья и вывоза готовой продукции является железнодорожный транспорт, являющийся достаточно уязвимым при ЧС. Поэтому целесообразно дублировать этот вид перевозок автомобильным, речным и морским транспортом с максимально короткими маршрутами.

Устойчивость материально-технического снабжения и поставок по кооперации тесно связана с созданием запасов (резервов) материальных ресурсов и организацией их надежного хранения. Размеры этих запасов должны обеспечивать бесперебойную работу объекта до возобновления связей по поставкам или до получения необходимого сырья, материалов и комплектующих от резервных поставщиков.

Хранение запасов возможно с использованием двух вариантов, имеющих свои положительные и отрицательные стороны. По первому варианту запасы размещаются в складских помещениях непосредственно на территории объекта при условии обеспечения надежности их защиты от действия поражающих факторов. В этом случае складские сооружения

располагаются под землей или обваловываются грунтом. Выполняются все необходимые противопожарные мероприятия и мероприятия по защите от заражения радиоактивными веществами при авариях на радиационно-опасных объектах. При использовании второго варианта запасы рассредоточиваются таким образом, чтобы уменьшить их уязвимость, что достигается путем сокращения до минимальных технологических потребностей имеющихся на объекте запасов и размещения их полностью или частично в районах, безопасных с точки зрения возможности возникновения ЧС (в военное время в загородной зоне). При выборе мест для размещения складов учитывается наличие и состояние путей подвоза. Немало трудностей может возникнуть из-за невозможности своевременного вывоза готовой продукции потребителям. Поэтому следует предусматривать отдельные защищенные склады для кратковременного хранения готовой продукции или предусмотреть ее вывоз в безопасные места.

Повышение устойчивости может быть также достигнуто строительством в безопасных местах филиалов ОЭ и различных его производств, дублирующих выпуск некоторых видов продукции или ее составных частей.

В заключение необходимо отметить, что подавляющая часть мероприятий по повышению устойчивости материально-технического снабжения ОЭ должна быть согласована со снабжающими, участвующими в выпуске продукции и потребляющими ее объектами и организациями.

4.3.6. Мероприятия по подготовке к быстрому восстановлению производства

Подготовка к восстановлению нарушенного производства направлена на сокращение времени проведения восстановительных работ и выпуск продукции ОЭ в минимально короткие сроки. Готовность объекта возобновить выпуск продукции является важным показателем устойчивости его работы и определяется возможностью, экономической целесообразностью, временем восстановления и обеспеченностью силами и материальными ресурсами.

Каждый объект в результате ЧС может получить различные повреждения. При получении объектом слабых и средних повреждений его восстановление экономически целесообразно и может быть произведено силами самого объекта или с дополнительным привлечением сил сторонних организаций.

Для успешного решения этой задачи разрабатываются планы восстановления объекта и соответствующая техническая документация. Разработка планов производится на основе анализа вариантов возможного повреждения ОЭ при перспективных чрезвычайных ситуациях. Чем

больше рассмотрено и проанализировано таких вариантов, тем выше вероятность совпадения одного из них с реальными условиями, в которых может оказаться объект. По каждому варианту разрабатывается свой план восстановления объекта. В планах и проектах восстановления отражается объем работ с расчетом потребностей в рабочей силе, материалах, строительной технике, оборудовании, инструменте. При определении объема работ учитывается не только степень разрушения объекта, но также характер и объем его производственной программы. Разрабатываются оптимальные инженерные решения по восстановлению работоспособности объекта, в том числе целесообразность восстановления тех или иных зданий и сооружений, станочного и технологического оборудования, коммуникаций. С учетом главного требования – как можно скорее возобновить выпуск продукции в проектах допустимы некоторые отступления от принятых строительных, технических и других норм, которые, однако, не должны выходить за рамки разумных пределов и экономических критериев. Отдельные элементы производства могут размещаться во временных облегченных сооружениях, под легкими навесами или даже на открытом воздухе. Могут применяться упрощенные строительные конструкции, временные и надувные сооружения с максимальным использованием сохранившихся элементов, деталей и узлов.

При выходе из строя отдельных видов оборудования может планироваться их восстановление путем ремонта, замена резервным оборудованием или временное исключение из технологического процесса.

В проектах восстановления приводятся календарный план или сетевой график проведения работ, которые должны объективно отражать возможности привлекаемых сил, средств и очередность восстановления цехов, исходя из их важности в выпуске основной продукции ОЭ. Общее количество и стоимость строительных материалов, основного оборудования и рабочей силы для проведения восстановительных работ отражаются в «Сводной ведомости ориентировочной стоимости восстановления».

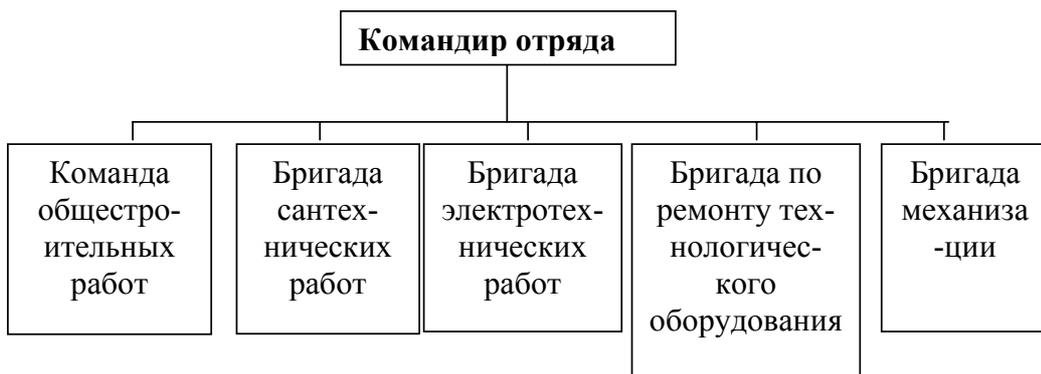


Рис. 4.7. Примерная структура восстановительного отряда.

В расчетах на проведение восстановительных работ исходят в основном из возможностей восстановления производства силами и средствами самого ОЭ, для чего предусматривается создание ремонтно-восстановительных бригад или отрядов из специалистов и квалифицированных рабочих объекта. Примерная структура восстановительного отряда приведена на рис. 4.7. Отряды могут усиливаться за счет привлечения подрядных, строительных и монтажных организаций, обслуживающих объект. В тех случаях, когда восстановление объекта собственными силами и средствами в приемлемые сроки невозможно, планируется привлечение сторонних организаций. Для подготовки восстановительных отрядов (бригад) с ними проводятся учебно-тренировочные занятия.

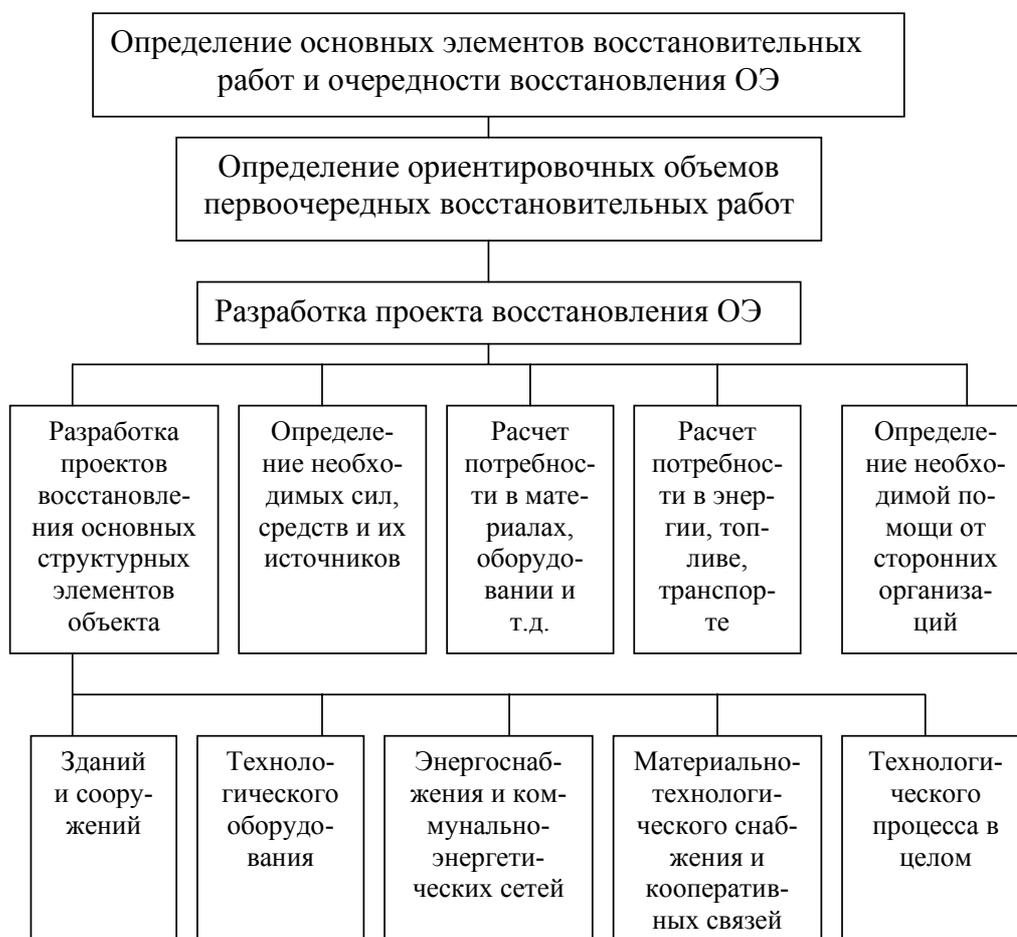


Рис.4.8. Основные мероприятия по подготовке к восстановлению ОЭ

Разработка проектов восстановления, как правило, поручается проектной организации, работающей в той же отрасли, что и ОЭ. Расчеты и предложения, заложенные в планы и проекты, могут иметь значительные изменения, связанные с реальным состоянием объекта после ЧС. Поэтому не исключена необходимость их корректировки, которая может быть осуществлена специальной группой проектировщиков, ранее участвовавшей в разработке проекта, после обследования объекта.

Основные мероприятия по подготовке к восстановлению ОЭ и последовательность их разработки приведены на рис. 4.8.

Разработанные планы, проекты, техническая и технологическая документация хранятся вместе с основной документацией объекта с соблюдением необходимых мер ее сохранности в условиях ЧС.

Таким образом, мероприятия по подготовке к восстановлению нарушенного производства в целом сводятся к разработке эффективных проектов восстановления объекта; созданию запасов материалов, оборудования и технических средств, необходимых для проведения восстановительных работ и восполнения потерь; формированию и подготовке восстановительных бригад; организации надежного хранения проектной, строительной, технической и технологической документации.

4.3.7. Повышение устойчивости системы управления объектом

Обеспечение надежного и непрерывного управления ОЭ в ЧС возможно при условии хорошей подготовки и четкой организации деятельности руководящего состава, наличии планов действий на случай ЧС и защищенных пунктов управления, оснащенных необходимыми средствами связи. Эти условия определяют основные направления деятельности по повышению устойчивости системы управления объектом в ЧС.

Для повышения устойчивости системы управления на ОЭ создаются два органа (группы) управления. Один из них возглавляет руководитель объекта, другой – главный инженер или один из заместителей руководителя ОЭ. Одна группа находится непосредственно на объекте, вторая – в безопасном месте (в военное время в загородной зоне). Каждая группа управления, состоящая из руководящих работников объекта, действует и сменяется с прикрепленной к ней сменой производственного персонала, что позволяет четко организовывать руководство производством. Обе группы имеют идентичную управленческую документацию.

К числу инженерно-технических мероприятий, имеющих наибольшую значимость в повышении устойчивости управления, относятся оборудование пунктов управления, оснащенных средствами связи, оповещения и сигнализации, и защищенных пультов управления,

позволяющих осуществлять дистанционное автоматическое управление технологическими процессами. На объекте один пункт управления обычно оборудуется в кабинете руководителя объекта, другой (запасной) размещается в одном из защитных сооружений ОЭ. Загородный пункт управления, как правило, оборудуется в одном из противорадиационных укрытий.

Управление с оборудованного пункта осуществляется путем передачи устных приказов и распоряжений по проводным средствам связи и объектовой радиосети. Могут использоваться сигнальные и подвижные средства связи. Узел связи на пункте управления оборудуется коммутатором, телефонами, радиостанциями. Кабели проводной связи прокладываются в траншеях, что значительно повышает их устойчивость. На загородном пункте управления предусматривается надежная связь с пунктом управления на объекте и с ближайшим районным узлом связи. Устанавливается телефонный коммутатор внутренней связи.

Для своевременного оповещения должностных лиц ОЭ подготавливаются и используются вне всякой очереди все виды связи: внутриобъектовая радиосеть, наружные и внутрицеховые звуковые и цветковые средства оповещения.

Устойчивая работа системы связи имеет особое значение для обеспечения устойчивого управления объектом. Поэтому система связи должна находиться в постоянной готовности к вводу в действие в полном объеме и уверенно обеспечивать управление производством. Эффективность работы средств связи проверяется в ходе тактико-специальных и комплексных учений.

Для управления невоенизированными формированиями в ходе проведения ими спасательных работ могут создаваться подвижные пункты управления.

Повышение устойчивости средств связи может быть обеспечено использованием традиционных и спутниковых дублирующих систем, надежных источников питания и систем, подготовленных к быстрому ремонту непосредственно на месте их установки, интеллектуализацией сетей.

Пульты дистанционного автоматического управления технологическими процессами и их сети должны быть рассчитаны на работу в условиях действия прогнозируемых поражающих факторов при их размещении вне защитных сооружений. При этом должна быть обеспечена и защита обслуживающего их производственного персонала.

Подготовка руководящего состава к работе в составе групп управления осуществляется в ходе специальной подготовки по программам обучения, учитывающим условия, которые могут сложиться на ОЭ при ЧС. Слаженность групп отрабатывается в ходе учений и тренировок. Существенную помощь в подготовке могут оказать тренажеры

с использованием компьютерных программ, имитирующих ЧС. Для повышения надежности разрабатываются варианты взаимозаменяемости должностных лиц. Для руководящего состава объекта, как правило, ограничиваются глубиной замещения до трех человек, руководителей структурных подразделений – до двух человек.

Подготовка управленческой документации производится заблаговременно. В ее состав входит:

- планы гражданской обороны на мирное и военное время;
- план перевода работы объекта на режим военного времени;
- основная техническая и технологическая документация, необходимая для организации производственной деятельности объекта;
- варианты плана восстановления производства при его нарушении;
- планы приведения в готовность невоенизированных формирований гражданской обороны;
- карта района с нанесенной на ней управленческой информацией;
- режимы защиты производственного персонала ОЭ;
- цеховые графики и инструкции по безаварийной остановке производства или соответствующие документы в целом по объекту;
- инструкции дежурному персоналу объекта, оперативному дежурному по пункту управления, дежурным диспетчерам, дежурному противопожарной службы и т.д.;
- справочные материалы для расчетов, необходимых для принятия быстрых решений при изменении обстановки.

Количество подготавливаемых комплектов управленческой документации определяется количеством пунктов управления.

Типовой комплекс мероприятий по повышению устойчивости ОЭ в ЧС, осуществляемых заблаговременно, приведен в приложении 1.

4.3.8. Мероприятия, завершающие подготовку ОЭ к работе в условиях ЧС

Завершают комплекс мероприятий, повышающих устойчивость ОЭ в ЧС, мероприятия, осуществляемые непосредственно перед наступлением ЧС. В обычных условиях эти мероприятия не нужны и экономически нецелесообразны, но необходимы в условиях ЧС.

К их числу относятся мероприятия, связанные с переходом на выпуск другой продукции, например, продукции военного времени; переходом на пониженный режим работы; завершением работ по защите производственного персонала и основных производственных фондов. Типичными мероприятиями такого рода являются мероприятия по оповещению персонала об опасности; укрытию его в защитных сооружениях или эвакуации; строительству недостающих быстровозводимых или простейших защитных сооружений; введению

режимов защиты; защите производственных сооружений, оборудования, продуктов питания и воды от заражения; повышению прочности, жесткости и герметичности строительных конструкций; укрытию особо ценного и уникального оборудования; подготовке к работе резервных источников энергоснабжения; защите энергетических, технологических и коммунальных сетей; сокращению запасов горючих, взрывчатых и аварийно химически опасных веществ в цехах и на территории ОЭ; рассредоточению запасов материальных ресурсов.

Для обеспечения четких действий руководящего состава в условиях дефицита времени и психологической дискомфортности мероприятия, реализуемые в преддверии ЧС, представляются в виде план-графика. Мероприятия в план-графике группируются по основным направлениям повышения устойчивости ОЭ. В нем обычно указываются объем работ, сроки их выполнения и ответственные исполнители. Иногда объем работ, и ответственные исполнители для упрощения план-графика не приводятся. Сроки выполнения мероприятий для удобства работы с документами отображаются в графическом виде.

Примерный вид план-графика наращивания мероприятий по повышению устойчивости ОЭ в ЧС приведен в приложении 2.

4.4. Обоснование выбора рациональной структуры системы мероприятий по обеспечению устойчивости ОЭ в ЧС

Под рациональной структурой системы мероприятий по обеспечению устойчивости ОЭ в условиях ЧС понимается оптимальная совокупность взаимосвязанных путей, способов и мероприятий, адекватно отвечающая возможным ЧС в районе расположения ОЭ при минимальных затратах. Выбор такой структуры требует обоснования.

В большинстве случаев он носит случайный характер и основывается на следовании принципу, требующему ее эффективности и экономической целесообразности.

Эффективность мероприятий достигается учетом всего комплекса факторов, от которых зависит устойчивая работа объекта, а экономичность – их тесной увязкой с мероприятиями, осуществляемыми с целью совершенствования процесса производства, улучшения условий труда и оздоровления экологической обстановки.

Важным показателем экономичности мероприятий является выполнение условий:

$$C \leq \bar{Y}_n \quad \text{и} \quad \mathcal{E} = \frac{\bar{Y}_n - C}{C} \rightarrow \max$$

где \overline{Y}_n – математическое ожидание полного ущерба в результате ЧС,
 $C = П - Н - \dots - О - Р - З - C_c$ - величина средств, которые могут
быть направлены на повышение устойчивости работы ОЭ в ЧС,

$П = Ц - СП - НР$ – прибыль ОЭ,

$Ц$ – цена выпускаемой ОЭ продукции,

$СП$ – себестоимость продукции,

$НР$ – накладные расходы,

$Н$ – сумма налогов, выплачиваемых ОЭ,

$О$ – отчисления на приобретение оборотных средств,

$Р$ – средства, отчисляемые на развитие производства,

$З$ – заработная плата,

C_c – отчисления на социальные нужды,

\mathcal{E} – показатель экономической эффективности затрат на
повышение устойчивости работы ОЭ в ЧС.

Эти условия должны выполняться во всех случаях и отступления
возможны лишь тогда, когда чрезвычайно важно достижение
поставленной цели даже ценой больших экономических затрат. Например,
поддержание на необходимом уровне обороноспособности,
жизнедеятельности или безопасности. В этом случае задача решается на
государственном уровне, исходя из возможностей национального
бюджета.

Величина ущерба после осуществления мероприятий составит $У =$
 $У_n - У_{пред.}$, где $У_{пред.} = f(c, \dots)$ – математическое ожидание
предотвращенного ущерба.

Наибольший экономический эффект достигается в процессе
реализации системы мероприятий при новом строительстве и
реконструкции предприятий.

4.4.1. Симплексный метод выбора оптимальных решений

При решении ряда задач, связанных с принятием оптимальных
решений, в том числе по обеспечению устойчивости ОЭ в ЧС, может
применяться ряд методов, в частности методы линейного
программирования. В простейших случаях при наличии двух-трех
переменных может быть применен геометрический метод, в более
сложных – симплексный метод. Задача в этих случаях заключается в
отыскании наибольшего или наименьшего значений целевой функции
устойчивости при наличии линейных ограничений.

Ограничения обычно задаются системой линейных уравнений

Для герметизации административных помещений и цехов с целью защиты производственного персонала при химическом и радиоактивном заражении и обеспечения устойчивости ОЭ при радиационных и химических авариях выделено 85 тысяч рублей. На герметизацию административного помещения требуется 5 тыс. рублей, цеха 10 тыс. рублей. Найти оптимальный вариант выполнения работ, обеспечивающий укрытие наибольшего количества производственного персонала, если вместимость административного помещения 60 чел., цеха – 50 чел. На заводе 3 административных помещения и 8 цехов.

Решение.

Предположим, что решение задачи достигается при герметизации x_1 административных помещений и x_2 цехов. Тогда имеем следующие ограничения на переменные x_1 и x_2

$$\left. \begin{array}{l} x_1 \leq 3 \\ x_2 \leq 8 \\ 5x_1 + 10x_2 = 85 \end{array} \right\}.$$

Целевая функция будет иметь вид $L=60x_1+50x_2$.

Преобразуем смешанную систему ограничений в систему ограничений в виде уравнений, введя новые переменные x_3 и x_4 ,

$$\left. \begin{array}{l} x_1 + x_3 = 3 \\ x_2 + x_4 = 8 \\ x_1 + 2x_2 = 17 \end{array} \right\}.$$

Определим ранг матрицы $A = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 & 0 \end{vmatrix}$ из коэффициентов при

переменных системы

$$D_1=1; D_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = 1;$$

$$D_3 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 & 1 & 2 \end{vmatrix} = 1 \cdot 1 \cdot 0 + 0 \cdot 0 \cdot 1 + 1 \cdot 0 \cdot 2 - 1 \cdot 1 \cdot 1 - 1 \cdot 0 \cdot 2 - 0 \cdot 0 \cdot 0 = -1.$$

И, следовательно, ранг матрицы равен 3. Поэтому выберем за базисные переменные x_1, x_2 и x_3 и перейдем к единичному базису.

$$\left. \begin{array}{l} x_1 = 1 + 2x_4 \\ x_2 = 8 - x_4 \\ x_3 = 2 - 2x_4 \end{array} \right\}.$$

Первое допустимое решение будет при $x_4=0, x_1=1, x_2=8, x_3=2$. При этих значениях переменных $L=60 \cdot 1 + 50 \cdot 8 = 460$ чел.

Судя по третьему уравнению, увеличения значения целевой функции можно достигнуть путем увеличения x_4 до 1. Тогда при $x_4=1$, $x_1=3$, $x_2=7$, $x_3=0$ имеем $L=60 \cdot 3 + 50 \cdot 7 = 530$ чел.

Второе допустимое решение $(3, 7, 0, 1)$; $x_1=3-x_3$, $x_2=7+0,5 \cdot x_3$, $x_4=1-0,5 \cdot x_3$ и $L=60 \cdot (3-x_3) + 50 \cdot (7+0,5 \cdot x_3) = 530 - 35x_3$.

Коэффициент при x_3 в целевой функции отрицателен, а поэтому ее дальнейшее увеличение невозможно. Следовательно, оптимальное решение $x_1=3$, $x_2=7$ и $L=530$ чел.

Для осуществления итерационных операций могут применяться симплексные таблицы. Для этого систему ограничений сводят к единичному базису

$$\left. \begin{array}{l} x_1 + \dots + a_{1,r+1}x_{r+1} + \dots + a_{1,n}x_n = b_1 \\ \dots \\ x_i + \dots + a_{i,r+1}x_{r+1} + \dots + a_{i,n}x_n = b_i \\ \dots \\ x_r + \dots + a_{r,r+1}x_{r+1} + \dots + a_{r,n}x_n = b_r \end{array} \right\},$$

а целевую функцию – к виду $L + \gamma_{r+1}x_{r+1} + \dots + \gamma_jx_j + \dots + \gamma_nx_n = \gamma_0$. Полученные данные сводят в таблицу

Базисные переменные	Свободные члены	x_1	...	x_i	...	x_r	x_{r+1}	...	x_j	...	x_n
x_1	b_1	1	...	0	...	0	$a_{1,r+1}$	...	$a_{1,j}$	...	$a_{1,n}$
...
x_i	b_i	0	...	1	...	0	$a_{i,r+1}$	...	$a_{i,j}$	...	$a_{i,n}$
...
x_r	b_r	0	...	0	...	1	$a_{r,r+1}$	...	$a_{r,j}$	...	$a_{r,n}$
L	γ_0	0	...	0	...	0	γ_{r+1}	...	γ_j	...	γ_n

Равенство для функции L называется приведенным (к свободным переменным) выражением, а коэффициенты γ_0 – оценками (индексами) соответствующих свободных переменных x_j .

Алгоритм итерационных операций:

1. Выбирается разрешающий столбец a_p из условия чтобы была $\gamma_p < 0$ и хотя бы один элемент $a_{ip} > 0$.
2. Выбирается q -я разрешающая строка из условия

$$\frac{b_q}{a_{qp}} = \min \left\{ \frac{b_i}{a_{ip}} \right\} \text{ для } a_{ip} > 0.$$

3. Производится перерасчет элементов разрешающей q -й строки по формуле

$$a'_{qk} = \frac{a_{qk}}{a_{qp}} \quad (k=0, 1, \dots, n).$$

4. Вычисляются элементы всех остальных строк (при $k \neq p$) по формуле

$$a'_{ik} = a_{ik} - a'_{qk} \cdot a_{ip} \quad (i=0, 1, \dots, q-1, q+1, \dots, r).$$

При проведении итераций руководствуются основной теоремой симплексного метода, которая говорит о следующем:

Если после выполнения очередной итерации:

1. Найдется хотя бы одна отрицательная оценка и в каждом столбце с такой оценкой будет хотя бы один положительный элемент, т.е. $\gamma_k < 0$ для некоторых k и $a_{ik} > 0$ для тех же k и некоторого i , то можно улучшить решение, выполнив следующую итерацию.
2. Найдется хотя бы одна отрицательная оценка, столбец которой не содержит положительных элементов, т.е.

$$\left. \begin{array}{l} \gamma_k < 0 \\ a_{ik} < 0 \end{array} \right\}$$

для какого-то k и всех i , то функция L не ограничена в области допустимых решений ($L_{max} \rightarrow \infty$).

3. Все оценки окажутся неотрицательными, т.е. $\gamma_k > 0$ для всех k , то достигнуто оптимальное решение.

Пример.

Для повышения противопожарной устойчивости ОЭ необходимо осуществить переподготовку инженерно-технических работников и рабочих. Определить максимально возможное количество производственного персонала, который может пройти переподготовку, если на обучение 3-х групп инженерно-технических работников можно затратить не более 18 тыс. руб., 3-х групп рабочих – 15 тыс. руб. По условиям организации, осуществляющей переподготовку, количество обучаемых в 2-х группах инженерно-технических работников и группе рабочих не должно превышать 13 чел., а в двух группах инженерно-технических работников и 3-х группах рабочих – 19 чел., при общем количестве переподготавливаемых групп ИТР – 7, рабочих – 5.

Решение.

Обозначим количество человек в группах инженерно-технических работников, прошедших переподготовку, через x_1 , в группах рабочих через x_2 . Тогда система ограничений и целевая функция могут быть представлены в виде:

$$\left. \begin{array}{l} 2x_1 + 3x_2 \leq 19 \\ 2x_1 + x_2 \leq 13 \\ 3x_2 \leq 15 \\ 3x_1 \leq 18 \end{array} \right\}, L = 7x_1 + 5x_2.$$

Преобразуем систему ограничений, заданную неравенствами, в систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} 2x_1 + 3x_2 + x_3 &= 19 \\ 2x_1 + x_2 + x_4 &= 13 \\ 3x_2 + x_5 &= 15 \\ 3x_1 + x_6 &= 18 \end{aligned} \right\}.$$

Определим ранг матрицы системы уравнений $\begin{vmatrix} 2 & 3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$, для чего

вычислим ее миноры.

$$D_1=2, D_2 = \begin{vmatrix} 2 & 3 \\ 3 & 1 \end{vmatrix} = 2 \cdot 1 - 2 \cdot 3 = -4,$$

$$D_3 = \begin{vmatrix} 2 & 3 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 1 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 3 \end{vmatrix} = 2 \cdot 1 \cdot 0 + 3 \cdot 0 \cdot 0 + 1 \cdot 2 \cdot 3 - 1 \cdot 1 \cdot 0 - 2 \cdot 0 \cdot 3 - 3 \cdot 2 \cdot 0 = 6,$$

$$D_4 = \begin{vmatrix} 2 & 3 & 1 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 3 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = 3 \cdot (-1)^{1+4} \begin{vmatrix} 3 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 3 & 0 & 0 \end{vmatrix} + 0 \cdot (-1)^{2+4} \begin{vmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} + 0 \cdot (-1)^{3+4} \begin{vmatrix} 2 & 3 & 0 \\ 2 & 1 & 1 \\ 0 & 3 & 0 \end{vmatrix} +$$

$$+ 0 \cdot (-1)^{4+4} \begin{vmatrix} 2 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \end{vmatrix} = -9,$$

т.е. ранг матрицы (наибольший порядок который могут иметь ее миноры, не обращающиеся в ноль) равен 4.

Ранг расширенной матрицы $\begin{vmatrix} 2 & 3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 19 \\ 2 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 13 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 1 & 0 & 15 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 18 \end{vmatrix}$ также равен 4.

Поэтому четыре переменные (базисные) можно выразить через две (свободные), т.е.

$$\left. \begin{aligned} x_3 &= 19 - 2x_1 - 3x_2 \\ x_4 &= 13 - 2x_1 - x_2 \\ x_5 &= 15 - 3x_2 \\ x_6 &= 18 - 3x_1 \end{aligned} \right\}.$$

Целевую функцию представим в виде $L-7x_1-5x_2=0$. Она уже выражена через свободные переменные.

Имеем исходную табл.1:

Таблица 1

Базисные переменные	Свободные члены	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_3	19	2	3	1	0	0	0
x_4	13	2	1	0	1	0	0
x_5	15	0	3	0	0	1	0
x_6	18	3	0	0	0	0	1
L	0	-7	-5	0	0	0	0

Выясняем, имеются ли в последней (индексной) строке отрицательные оценки. Таких чисел два: -7 и -5 . Выбираем любое, например -5 , и просматриваем тогда столбец x_2 . В этом столбце есть три положительных элемента 3, 1, 3. В соответствии с методикой делим на эти числа соответствующие свободные члены получая $19/3$, $13/1$, $15/3$. Из полученных частных наименьшее $15/3$, поэтому разрешающим является элемент 3 на пересечении строки x_5 и столбца x_2 . Выделяем эту строку и столбец рамками. Новый базис будет состоять из x_3 , x_4 , x_2 и x_6 . Для составления следующей таблицы (табл.2) умножаем выделенную строку в табл.1 на $1/3$ для того, чтобы получить на месте разрешающего элемента 1. Полученную таким образом строку пишем в табл.2 на месте прежней. К каждой из остальных строк в табл.1 прибавляем строку для x_5 в табл.1, умноженную на такое число, чтобы в клетках столбца x_2 , появились нули, и пишем преобразованные строки в табл.2 на месте прежних. Этим завершаем первую итерацию.

Таблица 2

Базисные переменные	Свободные члены	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_3	4	2	0	1	0	-1	0
x_4	8	2	0	0	1	-1/3	0
x_5	5	0	1	0	0	1/3	0
x_6	18	3	0	0	0	0	1
L	25	-7	0	0	0	5/3	0

Повторяем все рассуждения применительно в табл.2, т.е. выполняем вторую итерацию. В последней строке единственная отрицательная оценка -7 . Просматриваем столбец x_1 и делим на три положительных элемента 2, 2, 3 соответствующие свободные члены, получаем $4/2$, $8/2$, $18/3$. Из полученных частных наименьшее $4/2$. Следовательно, разрешающим является элемент 2, находящийся на пересечении строки для x_3 и столбца для x_1 . Выделяем эту строку и столбец рамками. Новый базис будет состоять из x_1, x_4, x_2, x_6 .

Для составления следующей таблицы умножаем выделенную строку табл.2 на $1/2$, чтобы получить на месте разрешающего элемента 1 и полученную таким образом строку пишем в следующей табл.3 на месте прежней. К каждой из остальных строк прибавляем строку для x_3 в табл.2, умноженную на такое число, чтобы в клетках столбца x_1 появились нули и пишем преобразованные строки на месте прежних в табл.3. Завершаем этим вторую итерацию и переходим к следующей таблице.

Таблица 3

Базисные переменные	Свободные члены	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_1	2	1	0	$1/2$	0	$-1/2$	0
x_5	4	0	0	-1	1	$2/3$	0
x_2	5	0	1	0	0	$1/3$	0
x_6	12	0	0	$-3/2$	0	$3/2$	1
L	39	0	0	$7/2$	0	$-11/6$	0

То же повторим применительно к табл.3. Разрешающим элементом в табл.3 является элемент $2/3$, находящийся на пересечении строки для x_4 и столбца для x_5 . завершаем итерацию и переходим к табл.4, т.е. делим на три положительных $2/3$, $1/3$ и $3/2$ соответствующие свободные члены 4, 5 и 12, находим наименьшее 6 и разрешающий элемент $2/3$, находящийся на пересечении строки для x_4 и столбца для x_5 , выделяем эту строку и столбец рамками, находим новый базис x_1, x_5, x_2 и x_6 , умножаем выделенную строку табл. на $3/2$, чтобы получить на месте разрешающего элемента 1. Полученную умножением строку записываем в табл.4 на ее прежнем месте, к каждой из остальных строк прибавляем строку для x_4 в табл.3, умноженную на такое число, чтобы получить в клетках столбца x_5 нули, т.е. на числа: для x_1 в табл.3 « $3/4$ », для x_2 в табл.3 « $-1/2$ », x_6 в табл.3 « $-9/4$ », L в табл. 3 « $11/4$ ». Получаемые результаты записываем в табл. 4.

Таблица 4

Базисные переменные	Свободные члены	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_3	5	1	0	-1/4	3/4	0	0
x_4	6	0	0	-3/2	3/2	1	0
x_5	3	0	1	1/2	-1/2	0	0
x_6	3	0	0	3/4	-9/4	0	1
L	50	0	0	3/4	11/4	0	0

Отсутствие в последней (индексной) строке отрицательных оценок свидетельствует о достижении оптимального решения (5, 3, 0, 0, 6, 3) и наибольшем возможном значении целевой функции L , равном 50 ($L_{max}=50$), т.е. наибольшее количество производственного персонала, которое возможно переподготовить при условиях задачи, равно 50 чел.

4.4.2. Метод анализа иерархических структур

Для учета применяемых в настоящее время «эмоциональных» и «рациональных» парадигм принятия решений в области обеспечения устойчивости ОЭ, а также осязаемых и неосязаемых с математической точки зрения факторов авторами работы [20] предлагается использование метода анализа иерархических структур (МАИС) Т. Саати [21].

Выбор наилучшего решения осуществляется на основе численного показателя эффективности, которым является интенсивность (приоритет) влияния элементов (факторов) низшего уровня иерархии на элемент его высшего уровня и, в конечном итоге, на фокус (цель) иерархии в соответствии с выбранным критерием эффективности.

Применение метода делится на восемь этапов и осуществляется в следующей последовательности.

На первом этапе формируется цель исследования, относительно которой строится иерархия решаемой задачи (рис.4.9). Такой целью (первым уровнем иерархии) в данном случае является обеспечение устойчивости ОЭ в ЧС.

Затем осуществляется построение иерархии задачи и определение ее уровней. На каждом уровне определяются элементы, которые оказывают существенное влияние на достижение цели, устанавливаются и конкретизируются связи между элементами различных уровней иерархии. Определяющими факторами (элементами), влияющими на устойчивость ОЭ в ЧС, являются устойчивость его основных структурных подразделений, а также минимизация времени восстановления в случае получения повреждений. Эти факторы составляют второй уровень иерархии. В третий уровень могут быть включены группы факторов, способные оказать существенное влияние на элементы второго уровня, а

именно защищенность основных структурных подразделений ОЭ, устойчивость системы управления производством, устойчивость систем материально-технического обеспечения и сбыта продукции, устойчивость системы энергоснабжения и восстанавливаемость функционирования ОЭ.

В четвертый уровень надо включить факторы, составляющие содержание групп факторов третьего уровня. Например, содержание защищенности основных структурных подразделений составляют защищенность их производственного персонала и защищенность основных производственных фондов, а устойчивости системы управления производством – защищенность руководящего состава ОЭ, его подготовленность к работе в условиях ЧС и защищенность средств управления, и возможно другие факторы. Некоторые составляющие содержания остальных элементов четвертого уровня показаны на рис. 4.10. Пятый уровень иерархии составляет множество контрастных сценариев, элементы которых описывают желаемое состояние структуры мероприятий по обеспечению устойчивости ОЭ в условиях возможных ЧС. Каждый из сценариев включает в себя общие принципы и направления обеспечения устойчивости и описывает диапазон предпочтений, а контрастность подразумевает наличие существенных различий между ними. Шестой уровень иерархии представляет собой обобщенный сценарий, являющийся следствием суперпозиции множества контрастных сценариев. Этот сценарий есть ничто иное, как искомая обобщенная структура системы обеспечения устойчивости ОЭ в ЧС. Завершается построение иерархии установлением зависимостей (связей) между элементами различных уровней. Определение множества элементов каждого уровня, установление связей и зависимостей между ними, в результате чего создается иерархическая структура решаемой задачи, показанная на рис. 4.9., составляет содержание третьего этапа.

На четвертом этапе применяется МАИС к полученной иерархической структуре. Осуществляется заполнение матриц парных сравнений элементов и вычисление относительных приоритетов (весов) этих элементов.

Составляемые матрицы попарных сравнений одноуровневых элементов Z_1, Z_2, \dots, Z_n имеют вид:

$$A = \begin{vmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{vmatrix}, \quad (4.2)$$

где элементы матрицы a_{ij} представляют собой количественные суждения о парах Z_i, Z_j .

Характеристиками, по отношению к которым производится попарное сравнение элементов, являются элементы вышестоящего уровня иерархии. Сравнение осуществляется в соответствии с основным критерием с использованием предлагаемой Т.Саати девятибальной шкалы. Исходными данными, вводимыми в матрицы попарных сравнений, являются мнения экспертов, получаемые посредством существующих методов экспертного опроса, основанного на результатах анализа функционирования ОЭ, возможных ЧС, действующих поражающих факторов и последствий их действия на объект.

После представления количественных суждений о парах (z_i, z_j) в числовом выражении a_{ij} вычисляется вектор приоритетов $z^* = (z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*)$ с использованием итерационной процедуры пересчета весов строк матрицы. При вычислении используются формулы:

$$z_i^{*(k)} = S_{Z_i}^{(k)} / \sum_{i=1}^n S_{Z_i}^{(k)} ; S_{Z_i}^{(k)} = \sum_{j=1}^n a_{ij}^{(k)} , \quad (4.3)$$

где $k = 1, 2, \dots, m$ - число итераций, необходимых для получения заданной или принимаемой при проведении исследований точности вычислений ϵ ,

$z_i^{*(k)}$ - i -я составляющая вектора приоритетов матрицы попарных сравнений при k -й итерации,

$S_{Z_i}^{(k)}$ - вес i -й строки матрицы, то есть сумма k -х степеней элементов a_{ij} i -й строки.

Вычисления прекращаются при выполнении условия $\left| z_i^{*(k)} - z_i^{*(k-1)} \right| \leq \epsilon$.

В результате получаем вектор приоритетов z^* , элементы которого $z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*$ представляют собой интенсивность влияния элементов z_1, z_2, \dots, z_n на элементы верхнего уровня иерархии, относительно которого попарно сравнивались эти объекты, т.е.

$$A = \begin{array}{c|cccc} & z_1 & z_2 & \dots & z_n \\ \hline z_1 & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ z_2 & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ z_n & a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{array} \rightarrow \begin{array}{c|c} z^* \\ \hline z_1^* \\ z_2^* \\ \vdots \\ z_n^* \end{array} \quad (4.4)$$

Так вектор приоритетов второго уровня иерархии относительно фокуса (цели) будет иметь вид:

$$B^* = \begin{array}{c|c} B_1^* \\ B_2^* \\ \vdots \\ B_k^* \end{array} , \quad (4.5)$$

а вектор приоритетов элементов третьего уровня относительно фокуса будет представлять произведение:

$$C^* = \begin{array}{c|ccc} & B_1 & B_2 & \dots & B_k \\ \hline C_1 & C_{11}^* & C_{12}^* & \dots & C_{1k}^* \\ C_2 & C_{21}^* & C_{22}^* & \dots & C_{2k}^* \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_k & C_{k1}^* & C_{k2}^* & \dots & C_{kk}^* \end{array} \cdot \begin{array}{c} |B_1^*| \\ |B_2^*| \\ \vdots \\ |B_k^*| \end{array} = \begin{array}{c} |C_1^*| \\ |C_2^*| \\ \vdots \\ |C_k^*| \end{array}, \quad (4.6)$$

где C_{ij}^* - интенсивности влияния групп факторов третьего уровня на элементы второго уровня иерархии B_i .

Аналогичным образом определяются векторы приоритетов четвертого уровня и вектор приоритетов контрастных сценариев относительно фокуса:

$$D^* = \begin{array}{c} |D_1^*| \\ |D_2^*| \\ \vdots \\ |D_m^*| \end{array}, \quad E^* = \begin{array}{c} |E_1^*| \\ \vdots \\ |E_n^*| \end{array}, \dots, \quad P^* = \begin{array}{c} |P_1^*| \\ \vdots \\ |P_v^*| \end{array}, \quad (4.7)$$

$$R^* = \begin{array}{c|ccc} \text{сценарии} & D & E & \dots & P \\ \hline R_1 & R_{1D}^* & R_{1E}^* & \dots & R_{1P}^* \\ R_2 & R_{2D}^* & R_{2E}^* & \dots & R_{2P}^* \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_W & R_{WD}^* & R_{WE}^* & \dots & R_{WP}^* \end{array} \cdot \begin{array}{c} |D^*| \\ |E^*| \\ \vdots \\ |P^*| \end{array} = \begin{array}{c} |R_1^*| \\ |R_2^*| \\ \vdots \\ |R_W^*| \end{array}, \quad (4.8)$$

где $R_{1D}^*, \dots, R_{WP}^*$ - веса контрастных сценариев относительно факторов четвертого уровня иерархии.

Для обоснования содержания системы обеспечения устойчивости ОЭ необходимо описать сценарии посредством переменных, отражающих их состояние относительно существующего положения. Определение множества переменных состояния устойчивости ОЭ в условиях ЧС для каждого конкретного сценария является задачей пятого этапа. Переменные состояния классифицируются в увязке с различными аспектами исхода (с политическими, экономическими, технологическими, социальными).

После определения и обоснования переменных состояния производится их градуировка в соответствии с различными сценариями. Для градуировки Т.Саати предлагается восьмибальная шкала от -8 до 8, где ноль соответствует сохранению существующего положения. Положительные числа отражают увеличение (улучшение), отрицательные – уменьшение (ухудшение) состояния системы обеспечения устойчивости ОЭ. Полученные данные заносятся в таблицу 4.4. вида:

Табл. 4.4.

Градуировка характеристик контрастных сценариев					
Характеристики	Веса сценариев				Обобщенный вес
	R_1^*	R_2^*	...	R_w^*	
X_1	r_{11}	r_{12}	...	r_{1w}	$R_1^* r_{11} + R_2^* r_{12} + \dots + R_w^* r_{1w}$
X_2	r_{21}	r_{22}	...	r_{2w}	$R_1^* r_{21} + R_2^* r_{22} + \dots + R_w^* r_{2w}$
\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	\vdots
X_q	r_{q1}	r_{q1}	...	R_{qw}	$R_1^* r_{q1} + R_2^* r_{q2} + \dots + R_w^* r_{qw}$

Получение обобщенных весов (переменных) состояния, описывающих обобщенный сценарий, составляет содержание шестого этапа решения задачи.

На седьмом этапе осуществляется анализ полученных результатов и при необходимости внесение корректировок и усовершенствований в иерархию с последующей итерацией процесса.

На восьмом этапе осуществляется представление и интерпретация полученных результатов через значения переменных состояний, т.е. на основании полученных обобщенных весов из таблицы и обобщенных приоритетов (весов) контрастных сценариев (4.8) составляется и описывается обобщенный сценарий или искомая рациональная структура системы обеспечения устойчивости ОЭ в ЧС.

Рассмотрим применение изложенного методического подхода на предельно простом примере.

Пример.

Обосновать рациональную структуру системы обеспечения устойчивости функционирования ОЭ в условиях радиоактивного заражения (РЗ).

В состав ОЭ входят два цеха. Для обеспечения его устойчивости разработаны два сценария. По первому из них планируется выполнить работы по герметизации рабочих помещений, складов, транспорта, заводской ТЭЦ, хранилищ, а также построить убежище для укрытия свободной смены с пунктом управления. По второму – предусмотреть эвакуацию свободных смен, строительство складов для размещения необходимого для продолжения производства количества материальных ресурсов, складов готовой продукции и пункта управления за пределами зоны возможного радиоактивного заражения, прокладку дополнительных линий энергосетей от источников, расположенных там же.

По оценкам экспертов влияние устойчивости цеха №2 на устойчивость ОЭ в 2 раза больше, чем влияние устойчивости цеха №1. Влияние на устойчивость цеха №1 его восстанавливаемости в 4 раза, а устойчивости управления в 2 раза выше влияния защищенности. На устойчивость цеха №2 в 2 раза менее сильное влияние оказывают восстанавливаемость функционирования и устойчивость управления по

сравнению с его защищенностью. Влияние защищенности ОПФ на защищенность цехов в 2 раза выше влияния защищенности производственного персонала. В устойчивости управления производством подготовка руководящего состава в 2,5 раза более значима, чем защищенность средств управления, а в восстанавливаемости функционирования защищенность восстановительных бригад и техники в 2 раза значимее, чем подготовка ОЭ к проведению специальной обработки. Второй сценарий обеспечения устойчивости ОЭ в 2 раза предпочтительнее в отношении защищенности производственного персонала, средств управления и подготовки руководящего состава и в 4 раза менее предпочтителен в отношении защищенности восстановительных бригад, техники и подготовки ОЭ к проведению специальной обработки, чем первый сценарий.

Решение.

Цель (фокус) исследования очевидна. Ей является обеспечение устойчивости функционирования ОЭ в условиях РЗ.

Очевидно также, что для устойчивой работы ОЭ в этих условиях необходимо обеспечить защиту производственного персонала, основных производственных фондов, средств управления, материальных ресурсов, готовой продукции от радиоактивного заражения, иметь необходимые силы и средства для дезактивации с целью восстановления производства в случае заражения. Иерархия решаемой задачи, отображающая указанные соображения представлена на рис. 4.10.

Заполним матрицы парных сравнений и определим приоритеты элементов нижестоящих уровней относительно элементов вышестоящих уровней иерархии. При этом предположим, что все исходные числовые значения, вводимые в матрицы, являются мнением экспертов, выраженным с использованием девятибальной шкалы.

Матрица парных сравнений элементов второго уровня относительно фокуса:

$$\begin{array}{c|cc} & B_1 & B_2 \\ \hline B_1 & \epsilon_{11} & \epsilon_{12} \\ B_2 & \epsilon_{21} & \epsilon_{22} \end{array} = \begin{array}{c|cc} & B_1 & B_2 \\ \hline B_1 & 1 & 2 \\ B_2 & 0,5 & 1 \end{array},$$

где ϵ_{ij} - количественные суждения экспертов о парах элементов $(B_i; B_j)$. Вычислим главный собственный вектор (вектор приоритетов) с использованием зависимостей (4.3) при условии $\epsilon = 0,3$.

Первая итерация:

$$S_{B_1}^{(1)} = \epsilon_{11} + \epsilon_{12} = 1 + 2 = 3;$$

$$S_{B_2}^{(1)} = \epsilon_{21} + \epsilon_{22} = 0,5 + 1 = 1,5;$$

Уровни иерархии

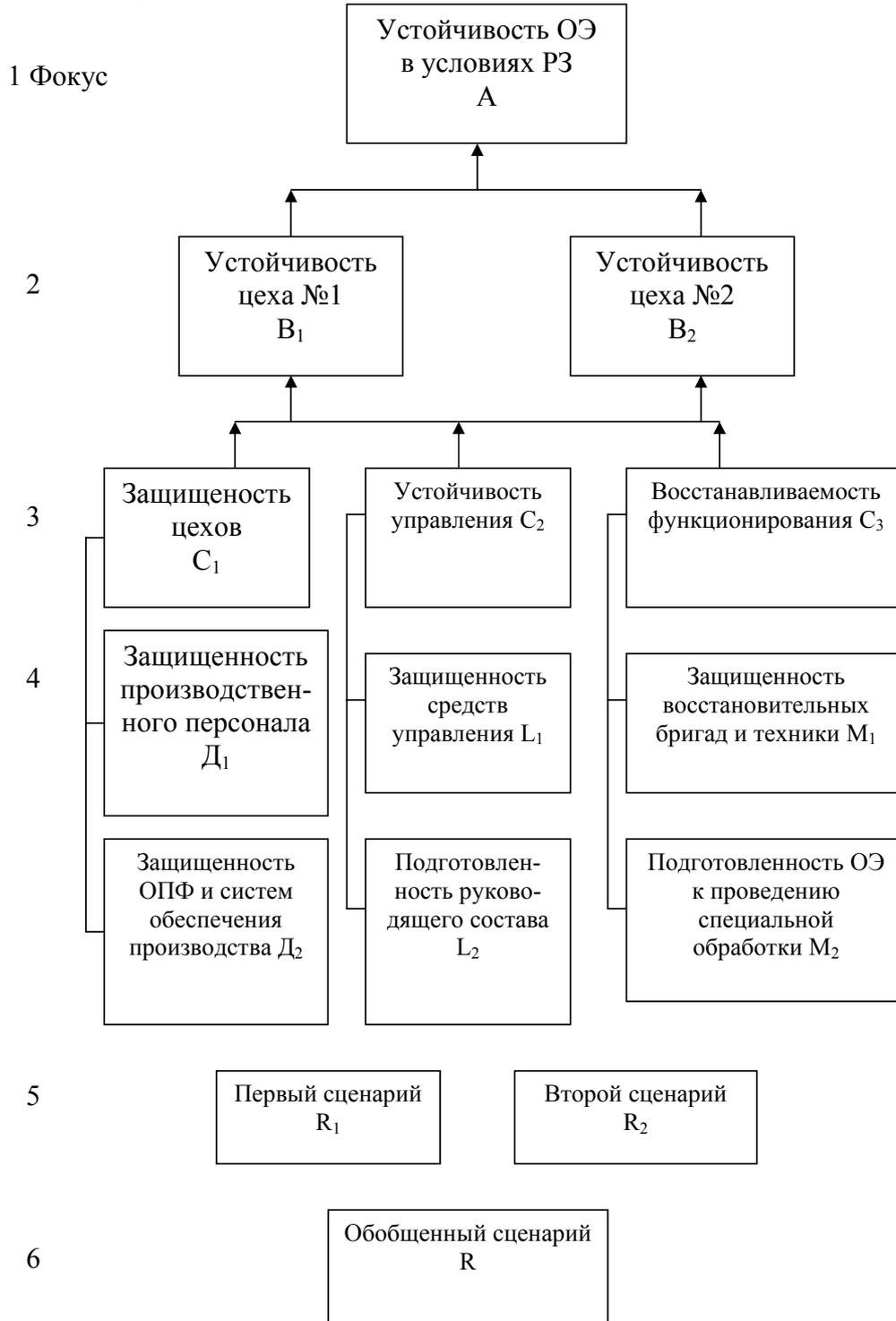


Рис.4.10. Иерархическая структура решаемой задачи.

$$\sum_{i=1}^n S_{B_i}^{(1)} = S_{B_1}^{(1)} + S_{B_2}^{(1)} = 3 + 1,5 = 4,5;$$

$$B_1^{*(1)} = S_{B_1}^{(1)} / \sum_{i=1}^n S_{B_i}^{(1)} = 3 / 4,5 = 0,67.$$

Вторая итерация:

$$S_{B_1}^{(2)} = \theta_{11}^2 + \theta_{12}^2 = 1^2 + 2^2 = 5;$$

$$S_{B_2}^{(2)} = \theta_{21}^2 + \theta_{22}^2 = 0,5^2 + 1^2 = 1,25;$$

$$\sum_{i=1}^n S_{B_i}^{(2)} = 5 + 1,25 = 6,25;$$

$$B_1^{*(2)} = S_{B_1}^{(2)} / \sum_{i=1}^n S_{B_i}^{(2)} = 5 / 6,25 = 0,8;$$

$$|B_1^{*(2)} - B_1^{*(1)}| = |0,8 - 0,67| = 0,13 < \epsilon; \quad \underline{B_1^* = 0,8}$$

$$B_2^{*(1)} = S_{B_2}^{(1)} / \sum_{i=1}^n S_{B_i}^{(1)} = 1,5 / 4,5 = 0,33; \quad B_2^{*(2)} = S_{B_2}^{(2)} / \sum_{i=1}^n S_{B_i}^{(2)} = 1,25 / 6,25 = 0,2;$$

$$|B_2^{*(2)} - B_2^{*(1)}| = |0,2 - 0,33| = 0,13 < \epsilon; \quad \underline{B_2^* = 0,2} \text{ и вектор приоритетов}$$

$$B^* = \begin{vmatrix} B_1^* \\ B_2^* \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,8 \\ 0,2 \end{vmatrix}.$$

Определим вектор приоритетов элементов третьего уровня иерархии относительно фокуса, для чего предварительно составим матрицы парных сравнений элементов третьего уровня относительно элементов второго уровня.

$$\begin{array}{c|ccc} & B_1 & & B_2 \\ \hline & C_1 & C_2 & C_3 \\ \hline C_1 & c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ C_2 & c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ C_3 & c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{array} = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 4 \\ 0,5 & 1 & 1 \\ 0,25 & 1 & 1 \end{vmatrix}, \quad \begin{array}{c|ccc} & C_1 & C_2 & C_3 \\ \hline C_1 & c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ C_2 & c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ C_3 & c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{array} = \begin{vmatrix} 1 & 0,5 & 0,5 \\ 5 & 1 & 5 \\ 2 & 0,2 & 1 \end{vmatrix}$$

где числовые значения C_{ij} - мнения экспертов о парах элементов $(C_i; C_j)$.

Аналогично предыдущему оценим интенсивности влияния C_{ij}^* групп факторов третьего уровня на элементы второго уровня иерархии B_1 и B_2 .

В результате получим:

$$\begin{array}{c|cc} & B_1 & B_2 \\ \hline C_1 & C_{11}^* & C_{12}^* \\ C_2 & C_{21}^* & C_{22}^* \\ C_3 & C_{31}^* & C_{32}^* \end{array} = \begin{vmatrix} 0,83 & 0,04 \\ 0,09 & 0,87 \\ 0,08 & 0,10 \end{vmatrix}$$

Произведение полученной матрицы на вектор B^* даст вектор приоритетов элементов третьего уровня относительно фокуса иерархии:

$$\begin{vmatrix} C_{11}^* & C_{12}^* \\ C_{21}^* & C_{22}^* \\ C_{31}^* & C_{32}^* \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} B_1^* \\ B_2^* \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C_{11}^* B_1^* + C_{12}^* B_2^* \\ C_{21}^* B_1^* + C_{22}^* B_2^* \\ C_{31}^* B_1^* + C_{32}^* B_2^* \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C_1^* \\ C_2^* \\ C_3^* \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,67 \\ 0,18 \\ 0,08 \end{vmatrix}.$$

Определим интенсивности влияния факторов четвертого уровня на группы факторов третьего уровня, для чего составим матрицы парных сравнений относительно элементов C_1, C_2, C_3 . Числовые значения d_{ij}, l_{ij}, m_{ij} как и прежде отражают мнения экспертов.

$$\begin{array}{c} C_1 \\ \hline D_1 \quad D_2 \\ \hline D_1 \quad d_{11} \quad d_{12} \\ D_2 \quad d_{21} \quad d_{22} \end{array} = \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 0,5 & 1 \end{vmatrix}; \quad \begin{array}{c} C_2 \\ \hline L_1 \quad L_2 \\ \hline L_1 \quad l_{11} \quad l_{12} \\ L_2 \quad l_{21} \quad l_{22} \end{array} = \begin{vmatrix} 1 & 2,5 \\ 0,4 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\begin{array}{c} C_3 \\ \hline M_1 \quad M_2 \\ \hline M_1 \quad m_{11} \quad m_{12} \\ M_2 \quad m_{21} \quad m_{22} \end{array} = \begin{vmatrix} 1 & 0,5 \\ 2 & 1 \end{vmatrix}$$

Опуская расчеты, приведем результаты:

$$D^* = \begin{vmatrix} D_1^* \\ D_2^* \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,8 \\ 0,2 \end{vmatrix}; \quad L^* = \begin{vmatrix} L_1^* \\ L_2^* \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,86 \\ 0,14 \end{vmatrix}; \quad M^* = \begin{vmatrix} M_1^* \\ M_2^* \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,2 \\ 0,8 \end{vmatrix}.$$

Определяем веса контрастных сценариев относительно факторов четвертого уровня иерархии D, L, M в предположении, что числовые значения матриц отражают мнение экспертов.

$$\underline{D} \\ \begin{array}{c|cc} & R_1 & R_2 \\ \hline R_1 & R_{11} & R_{12} \\ R_2 & R_{21} & R_{22} \end{array} = \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 0,5 & 1 \end{vmatrix} \rightarrow R_D^* = \begin{vmatrix} R_{1D}^* \\ R_{2D}^* \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,8 \\ 0,2 \end{vmatrix};$$

\underline{L}

$$\begin{array}{c|cc} & R_1 & R_2 \\ R_1 & R_{11} & R_{12} \\ R_2 & R_{21} & R_{22} \end{array} = \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 0,5 & 1 \end{vmatrix} \rightarrow R_L^* = \begin{vmatrix} R_{1L}^* \\ R_{2L}^* \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,8 \\ 0,2 \end{vmatrix};$$

М

$$\begin{array}{c|cc} & R_1 & R_2 \\ R_1 & R_{11} & R_{12} \\ R_2 & R_{21} & R_{22} \end{array} = \begin{vmatrix} 1 & 0,25 \\ 4 & 1 \end{vmatrix} \rightarrow R_M^* = \begin{vmatrix} R_{1M}^* \\ R_{2M}^* \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,06 \\ 0,94 \end{vmatrix}.$$

В результате можем составить матрицу:

<i>сценарии</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>M</i>
<i>R</i> ₁	<i>R</i> _{1D} [*]	<i>R</i> _{1L} [*]	<i>R</i> _{1M} [*]
<i>R</i> ₂	<i>R</i> _{2D} [*]	<i>R</i> _{2L} [*]	<i>R</i> _{2M} [*]

$$= \begin{vmatrix} 0,8 & 0,8 & 0,06 \\ 0,2 & 0,2 & 0,94 \end{vmatrix}.$$

Умножив полученную матрицу на вектор $\begin{vmatrix} D^* \\ L^* \\ M^* \end{vmatrix}$, получим вектор

приоритетов контрастных сценариев относительно фокуса иерархии:

<i>сценарии</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>M</i>
<i>R</i> ₁	<i>R</i> _{1D} [*]	<i>R</i> _{1L} [*]	<i>R</i> _{1M} [*]
<i>R</i> ₂	<i>R</i> _{2D} [*]	<i>R</i> _{2L} [*]	<i>R</i> _{2M} [*]

$$\cdot \begin{vmatrix} D^* \\ L^* \\ M^* \end{vmatrix} \rightarrow R^* = \begin{vmatrix} R_1^* \\ R_2^* \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1,66 \\ 1,34 \end{vmatrix}.$$

Для описания содержания предлагаемых в условии задачи контрастных сценариев обеспечения устойчивости ОЭ введем и выполним градуировку их переменных состояния (характеристик). Характеристики и результаты градуировки сведем в таблицу.

На основе полученных обобщенных весов и приоритетов контрастных сценариев составим обобщенный сценарий рациональной системы обеспечения устойчивости рассматриваемого ОЭ в условиях радиоактивного заражения. Если предположить, что нас удовлетворяют, например, численные значения обобщенных весов, равные 5...6, то в этом случае обобщенный сценарий будет включать в себя мероприятия первого контрастного сценария с добавлением мероприятий второго сценария, направленных на защиту систем энергоснабжения и восстанавливаемости производства. Такими мероприятиями в данном случае являются прокладка дополнительных линий энергосистем от источников, расположенных за пределами зоны возможного радиоактивного заражения, и размещение за ее пределами части материальных ресурсов, предназначенных для восстановления производства. Реализация этого сценария значительно улучшает характеристику затрат, направленных на обеспечение устойчивости ОЭ.

Градуировка характеристик контрастных сценариев

Характеристики	Веса сценариев		Обобщенный вес
	R_1^*	R_2^*	
Защищенность производственного персонала, X_1	3	2	$1,66 \cdot 3 + 1,34 \cdot 2 = 7,66$
Защищенность ОПФ, X_2	3	0	$1,66 \cdot 3 + 1,34 \cdot 0 = 4,98$
Защищенность материальных ресурсов, X_3	3	1	$1,66 \cdot 3 + 1,34 \cdot 1 = 6,32$
Возможность сбыта готовой продукции, X_4	3	2	$1,66 \cdot 3 + 1,34 \cdot 2 = 7,66$
Защищенность систем энергоснабжения, X_5	1	3	$1,66 \cdot 1 + 1,34 \cdot 3 = 5,68$
Защищенность системы управления производством, X_6	3	2	$1,66 \cdot 3 + 1,34 \cdot 2 = 7,66$
Восстанавливаемость производства, X_7	2	2	$1,66 \cdot 2 + 1,34 \cdot 2 = 6,0$
Затраты на обеспечение устойчивости, X_8	-1	-3	$1,66 \cdot (-1) + 1,34 \cdot (-3) = -5,68$

5. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ

ОЭ в ЧС

5.1. Оценка ущерба

Одним из следствий ЧС является ущерб, который наносится окружающей природной среде и ОЭ. При этом размер ущерба ОЭ тем значительней, чем менее они устойчивы к действию поражающих факторов. В этой связи величина ущерба выступает в качестве объективного критерия при оценке устойчивости ОЭ и экономическом обосновании осуществляемых мероприятий по ее обеспечению.

Величина ущерба, при которой ОЭ еще способен восстановить свою производственную деятельность, может рассматриваться в качестве обобщенного предела его устойчивости к действию соответствующего поражающего фактора или группы потенциально возможных для данного объекта факторов. Условие устойчивости при этом может быть представлено в виде:

$$Y^n > Y,$$

где Y^n и U - соответственно предел устойчивости ОЭ и возможная величина ущерба при ЧС.

Очевидно, что предел устойчивости Y^n равен величине имеющегося у ОЭ страхового фонда $C_{стр.}$, а при его отсутствии – величине кредита или государственной субсидии, на которые объект может рассчитывать.

В общем случае в условиях рыночной экономики величина кредита не может превышать остаточной стоимости объекта с учетом оборотных средств за вычетом понесенного в результате ЧС ущерба, т.е.

$$K \leq Ц_{ОЭ_0} - U,$$

где $Ц_{ОЭ_0}$ - остаточная (за вычетом амортизации) рыночная цена ОЭ,

U - возможная величина ущерба при потенциальных ЧС.

K - величина кредита.

Знание ущерба необходимо не только для использования в этих целях, но и для экономической оценки масштабов ЧС, определения размеров финансовых и материальных ресурсов для ее ликвидации, возможных рисков, размеров страховых фондов, а также решения других важных задач.

При оценке ущерба ОЭ используются фактические данные по повреждению объекта, затратам, связанным с ликвидацией ЧС и ее последствий, данные технической и бухгалтерской документации, те или иные экономико-математические модели. Некоторые из них приведены ниже.

5.1.1. Оценка прямого ущерба

В целом ущерб, его называют полным ущербом, может быть представлен в виде двух составляющих – прямого и косвенного ущерба, т.е.

$$Y = Y_{пр} + Y_{к}. \quad (5.1)$$

Оценка прямого ущерба, как правило, не вызывает затруднений, поскольку он очевиден, и представляет собой сумму ущерба, который наносится основным производственным фондам (ОПФ) и оборотным средствам (ОС),

$$Y_{пр} = C_{опф} + C_{ос}, \quad (5.2)$$

где $C_{опф} = C_з + C_{то} + C_{кэс}$ - ущерб, нанесенный ОПФ;

$$C_з = \sum_{i=1}^n C_{з_{ост_i}} \cdot G_{з_i},$$

$$C_{TO} = \sum_{i=1}^n C_{TO_{ост_i}} \cdot G_{TO_i}, \quad (5.3)$$

$$C_{KЭС} = \sum_{i=1}^n C_{KЭС_{сто_i}} \cdot G_{KЭС_i} - \text{соответственно ущерб, нанесенный}$$

зданиям, технологическому оборудованию и коммунально-энергетическим сетям (КЭС) объекта;

$$C_{З_{ост_i}} = C_{З_{б_i}} \left(1 - \frac{H_{a_{з_i}} \cdot T_{\phi_{з_i}}}{100} \right) - \text{остаточная стоимость } i\text{-го здания к}$$

моменту ЧС,

$$C_{TO_{ост_i}} = C_{TO_{б_i}} \left(1 - \frac{H_{a_{нл_i}} \cdot T_{\phi_{то_i}}}{100} \right) - \text{остаточная стоимость } i\text{-го}$$

вида технологического оборудования,

$$C_{KЭС_{ост_i}} = C_{KЭС_{б_i}} \left(1 - \frac{H_{a_{кэс_i}} \cdot T_{\phi_{кэс_i}}}{100} \right) - \text{остаточная стоимость } i\text{-х}$$

коммунально-энергетических сетей,

$G_{З_i}, G_{TO_i}, G_{KЭС_i}$ - относительная величина ущерба, нанесенного i -му зданию, виду технологического оборудования, КЭС. На основании статистических данных, полученных при испытаниях и катастрофах, относительная величина ущерба составляет: при слабых повреждениях – (0,1...0,15), средних – (0,3...0,4), сильных – (0,5...0,7) стоимости поврежденного объекта.

При пожарах относительная величина ущерба может быть определена как отношение площади пожара к общей площади объекта (помещения, здания, сооружения и др.), т.е.

$$G = \frac{F_n}{F_0},$$

где F_n - площадь пожара, определяемая в соответствии с рекомендациями ГОСТ [30], м². Метод определения F_n приведен в разделе 3.2.4.,

F_0 - площадь объекта, м².

n - количество пострадавших зданий, технологического оборудования, КЭС;

$C_{З_{б_i}}, C_{TO_{б_i}}, C_{KЭС_{б_i}}$ - балансовые стоимости i -го здания, вида технологического оборудования, КЭС, тыс. руб.;

$H_{a_{zi}}, H_{a_{тоi}}, H_{a_{кэсi}}$ - норма амортизации i -го здания, вида технологического оборудования, КЭС, $\frac{\%}{год}$;

$T_{ф_{zi}}, T_{ф_{тоi}}, T_{ф_{кэсi}}$ - фактический срок эксплуатации i -го здания, технологического оборудования, КЭС до ЧС, год.

$$C_{OC} = \sum_{i=1}^n C_{OCi} \cdot N_{OCi} \cdot G_{OCi} \quad (5.5)$$

стоимость пострадавших оборотных средств.

Оборотные средства включают в себя производственные запасы, остатки незавершенного производства, готовую продукцию и другие ценности (сырье, вспомогательные материалы, наличность, денежные средства в расчетах предприятия), необходимые для бесперебойной производственной деятельности и реализации продукции.

C_{OCi} - фактическая себестоимость i -х оборотных средств на единицу i -го ресурса, $\frac{руб}{шт}$, $\frac{руб}{м^3}$, $\frac{руб}{т}$ и т.п.;

N_{OCi} - количество i -го вида оборотных средств в натуральном выражении, шт, $м^3$, т. и т.п.;

G_{OCi} - относительная величина ущерба, причиненного i -му виду оборотных средств.

5.1.2. Оценка косвенного ущерба

Оценка косвенного ущерба более сложна, чем прямого, поскольку некоторые ее составляющие могут проявляться неявно и часто не сразу после ЧС. С учетом очевидных составляющих выражение для косвенного ущерба может быть представлено в виде:

$$Y_K = C_B + C_P + C_{ш} + C_{оп} + C_{лчс} + C_{лпчс} \quad (5.6)$$

где C_B - затраты, связанные с восстановлением производства, руб.;

C_P - утраченная величина прибыли за время восстановления производства, руб.;

$C_{ш}$ - величина штрафов за невыполнение договорных обязательств по поставкам продукции, руб.;

$C_{оп}$ - средства, необходимые для оказания помощи пострадавшим, руб.;

$C_{лчс}$ - средства, необходимые для ликвидации ЧС, руб.;

$C_{лпчс}$ - средства, необходимые для ликвидации последствий ЧС, руб.;

5.1.2.1. Затраты на восстановление производства

$$C_B = (C_{3П} + C_a + C_m + C_{np}) \frac{C_K}{100} \times t_B \quad (5.7)$$

где $C_{3П}$ - заработная плата с отчислениями за единицу времени проведения работ, руб/сут; руб/мес;...

C_a - амортизационные отчисления от применяемых при проведении работ технических средств, за единицу времени руб/сут; руб/мес;...

C_m - стоимость материальных ресурсов, необходимых для проведения работ, за единицу времени руб/сут; руб/мес;...

C_{np} - прочие затраты по проводимым работам, руб.;

$$C_{3П} = \sum_{i=1}^n R_i \cdot V_i, \text{ или } C_{3П} = \sum_{i=1}^m C_{3Пi} \quad (5.8)$$

где R_i - расценка за выполнение i -го вида работ, $\frac{\text{руб}}{\text{м}^3}$ и т.п.;

V_i - объем i -го вида работ, м^3 , и т.п.;

n – число видов работ, m – число категорий работающих

$$C_a = \sum_{i=1}^n \frac{C_{o_i} \cdot H_{a_{o_i}}}{100}; \quad (5.9)$$

где C_{o_i} - первоначальная стоимость i -го вида оборудования, руб.;

$H_{a_{o_i}}$ - норма амортизации по i -му виду оборудования, $\frac{\%}{\text{мес}}$;

n – число видов оборудования.

$$C_m = \sum_{i=1}^n C_{M_i} \cdot N_{M_i}, \quad (5.10)$$

где C_{M_i} - цена единицы i -го вида материальных ресурсов, $\frac{\text{руб}}{\text{ед}}$, $\frac{\text{руб}}{\text{т}}$, и т.п.;

N_{M_i} - количество i -го вида материальных ресурсов, расходуемых в единицу времени, ед/сут, т. и т.п.;

n – число видов материальных ресурсов.

$$C_{np} = (C_{3П} + C_a + C_m) \cdot K, \quad (5.11)$$

где K – планируемый удельный вес прочих расходов в себестоимости продукции. В соответствии со сложившейся практикой K принимается равным 0,02...0,05.

C_K - ставка банковского кредита, %/день.

Время восстановления производства.

$$t_B = \frac{T \cdot R}{R^1}, \text{ дни,} \quad (5.12)$$

где T – количество рабочих дней в году;

R – вероятная потребность в рабочей силе для ведения восстановительных работ, в течение года чел.;

R^1 – количество рабочей силы, которое может быть привлечено к ведению восстановительных работ после ЧС, чел.

$$R = R_3 + R_{TO} + R_{KЭС} = \frac{C_{B3}}{P_3} + \frac{C_{BTO}}{P_{TO}} + \frac{C_{BKЭС}}{P_{KЭС}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{3б_i} \cdot G_{3_i}}{P_3} + \frac{\sum_{i=1}^n C_{тоб_i} \cdot G_{то_i}}{P_{TO}} + \frac{\sum_{i=1}^n C_{кэсб_i} \cdot G_{кэс_i}}{P_{KЭС}}; \quad (5.13)$$

где $P_3, P_{TO}, P_{KЭС}$ – нормы выработки на одного рабочего в год при ведении работ по восстановлению зданий, технологического оборудования, КЭС, $\frac{\text{руб}}{\text{чел} \cdot \text{год}}$; R^1 может быть принято равным $R_{III} - N_{II}$, где R_{III} – количество производственного персонала, N_{II} – количество потерь производственного персонала при ЧС.

Величина стоимости восстановления предприятия может быть также определена по формуле:

$$C_B = (C_{B3} + C_{BTO} + C_{BKЭС}) \cdot \frac{C_K}{100} \cdot t_B = \left(\sum_{i=1}^n C_{3б_i} G_{3_i} + \sum_{i=1}^n C_{тоб_i} G_{то_i} + \sum_{i=1}^n C_{кэсб_i} G_{кэс_i} \right) \cdot \frac{C_K}{100} \cdot t_B \quad (5.14)$$

5.1.2.2. Утраченная величина прибыли за время восстановления производства

$$C_{II} = \frac{\Pi^1}{100} \cdot C_{III} \cdot N_C \cdot t_B, \quad (5.15)$$

где Π^1 – величина прибыли от реализации единицы товарной продукции, %;

C_{III} – цена единицы товарной продукции, руб.;

N_C – планируемое количество единиц товарной продукции, выпускаемой за рабочий день.

5.1.2.3. Величина штрафов за невыполнение договорных обязательств

$$C_{ш} = \sum_{i=1}^n R_{ш_i} \cdot V_{нн_i}, \quad (5.16)$$

где $R_{ш_i}$ - норматив штрафов за определенный объем недоставки готовой продукции i -му потребителю, $\frac{руб}{ед}$, $\frac{руб}{т}$ и т.д.;

$V_{нн_i}$ - объем недопоставки готовой продукции i -му потребителю в натуральном выражении, ед., т, и т.д.;

n – количество потребителей готовой продукции.

5.1.2.4. Компенсации пострадавшим при ЧС и семьям погибших

Компенсации пострадавшим и семьям погибших выплачиваются в соответствии с действующим законодательством [69,70 и др.]. В общем случае в соответствии со сложившейся мировой практикой сумма расходов может быть определена по формуле:

$$C_{оп} = \sum_{i=1}^n N_{n_i} \cdot D_i, \quad (5.17)$$

где N_{n_i} - количество пострадавших, получивших i -ю степень поражения;

D_i - сумма денежной компенсации при i -ой степени поражения, руб.;

n – количество степеней поражения.

$$D_i = C_{зн_i} + C_{л_i} + C_{м_i}, \quad (5.18)$$

где $C_{зн_i} = C_{зн_m} \cdot t_i$ - заработная плата с отчислениями за время лечения при i -ой степени поражения или до достижения погибшим пенсионного возраста при исчислении компенсации семьям погибших, $\frac{руб}{чел}$;

$C_{зн_m}$ - среднемесячная заработная плата пострадавших, $\frac{руб}{чел \cdot мес}$;

t_i - время лечения при i -ой степени поражения или недоработки до пенсионного возраста погибшим, мес.;

$$C_{л_i} = C_{лд} \cdot n_i = (C_{кв} + C_{п} + C_{лек} + C_a + C_y) \cdot n_i \quad (5.19)$$

-затраты на лечение одного пострадавшего при i -ой степени поражения, $\frac{руб}{чел}$;

$C_{лд}$ - стоимость дня лечения в лечебном учреждении, $\frac{руб}{чел \cdot день}$;

$C_{ку}$ - стоимость коммунальных услуг (нахождения в больнице),
 $\frac{руб}{чел \cdot день}$;

C_n - стоимость питания, $\frac{руб}{чел \cdot день}$;

$C_{лек}$ - стоимость лекарств, $\frac{руб}{чел \cdot день}$;

C_a - амортизационные отчисления от применяемого медицинского инвентаря и техники, $\frac{руб}{чел \cdot день}$;

C_v - стоимость услуг медицинского персонала по лечению (зароботная плата персонала лечебного учреждения в расчете на одного больного в день), $\frac{руб}{чел \cdot день}$;

n_i - число дней лечения при i -й степени поражении, руб.;

C_{M_i} - компенсация за моральный ущерб при i -й степени поражения, руб.

Следствием поражений средней и особенно тяжелой степени, как правило, является наступление инвалидности с полной или частичной потерей трудоспособности. Таким пострадавшим после прохождения курса лечения будет выплачиваться пенсия по инвалидности и компенсация за ущерб здоровью [70], которые также должны учитываться. Учет этой составляющей сложен, особенно при прогнозировании, что связано с неопределенностью наступления тех или иных последствий поражения нестабильностью и правовой неопределенностью существующих законов.

5.1.2.5. Средства необходимые для ликвидации ЧС

Средства необходимые для ликвидации ЧС зависят от ее характера и масштабов, определяющих объемы спасательных других неотложных работ. В общем случае очага комбинированного поражения главными видами работ, выполняемыми при ликвидации ЧС и определяющими затраты, являются разведка очага и поиск в нем пострадавших, устройство проездов в завалах и на зараженных участках местности, отключение поврежденных участков КЭС, тушение пожаров, извлечение пострадавших из-под завалов и их эвакуация в лечебные учреждения, проведение частичной специальной обработки. В число затрат следует также включить стоимость израсходованных средств индивидуальной защиты.

$$C_{лчс} = C_p + C_{уп} + C_{окэс} + C_{тп} + C_{ип} + C_{эв} + C_{чсо} + C_{сиз} + C_{пр}, \quad (5.20)$$

где C_p - затраты, связанные с ведением разведки, руб.;

$C_{уп}$ - затраты на устройство проездов в завалах и на зараженных участках местности, руб.;

$C_{окэс}$ - затраты, необходимые для отключения поврежденных участков КЭС, руб.;

$C_{пш}$ - затраты, связанные с тушением пожаров, руб.;

$C_{шп}$ - затраты, связанные с извлечением пострадавших из-под завалов, руб.;

$C_{эв}$ - затраты, связанные с эвакуацией пострадавших в лечебные заведения, руб.;

$C_{чсо}$ - затраты по частичной специальной обработке зараженных объектов, руб.

$C_{сиз}$ - стоимость индивидуальных средств защиты, руб.;

$C_{пр}$ - прочие или неучтенные затраты, руб.;

В структуру каждого вида затрат входят затраты по выплате заработной платы работающим за время ведения работ, амортизации использованных технических средств, стоимость израсходованных материалов.

$$C_i = C_{i_{зп}} + C_{i_{атс}} + C_{i_m}$$

В некоторых случаях отдельные составляющие могут не вносить существенного вклада в суммарные затраты и ими целесообразно пренебречь.

Затраты на ведение разведки.

$$C_p = C_{зпч} \cdot T \cdot n, \quad (5.21)$$

где $C_{зпч} = \frac{C_{зпм}}{k}$ - средняя часовая заработная плата разведчика, $\frac{руб}{ч}$;

$C_{зпм}$ - средняя месячная заработная плата разведчика, $\frac{руб}{мес}$;

$k=8 \cdot t$ - количество рабочих часов в месяце;

t - количество рабочих дней в месяце;

$T = t + t_{шп}$ - общее время ведения разведки, ч;

t - время, в течение которого должна быть проведена первоначальная разведка, равное времени готовности к проведению спасательных работ, ч;

$t_{шп}$ - время, необходимое для извлечения пострадавших из-под завалов, ч;

$$n = n^1 \cdot \frac{N_{P3}}{N_{P3}^1 \cdot t} - \text{количество человек, необходимое для}$$

проведения разведки в течение времени t , чел;

N_{P3} - количество разрушенных и поврежденных зданий в очаге поражения, ед.;

N_{P3}^1 - нормативное количество зданий, которое может осмотреть разведывательный дозор за 1 час работы, ед/ч;

n^1 - нормативное количество человек в разведывательном дозоре, чел.

Затраты на устройство проездов в завалах и на зараженных участках местности.

$$C_{\text{уп}} = C_{\text{зпв}} + C_{\text{атс}} + C_M, \quad (5.22)$$

где $C_{\text{зпв}} = C_{\text{зпч}} \cdot t$ - средняя заработная плата водителя технического средства (бульдозера, автогрейдера, поливомоечной машины и др.) за время работы, руб.;

$$t = \frac{L}{\Pi_{\text{ТС}}} - \text{время работы технического средства, ч.};$$

L - суммарная длина завалов (зараженных участков местности), пог. м.;

$\Pi_{\text{ТС}}$ - производительность технического средства при устройстве проездов, $\frac{\text{пог.м.}}{\text{ч}}$;

$$C_{\text{атс}} = \frac{C_{\text{ТС}} \cdot H_{\text{атс}} \cdot t}{100} - \quad (5.23)$$

- амортизационные отчисления за время работы технического средства, руб.;

$C_{\text{ТС}}$ - первоначальная стоимость технического средства, руб.;

$H_{\text{атс}}$ - норма амортизации технического средства, $\frac{\%}{\text{час}}$;

$C_M = C_G + C_{\text{см}} + C_\delta$ - стоимость израсходованных материалов, руб.;

$C_G = C_G^1 \cdot q_{\text{ТС}} \cdot t$ - стоимость израсходованного горючего, руб.;

C_G^1 - цена горючего, $\frac{\text{руб}}{\text{л}}$;

$q_{\text{ТС}}$ - часовой расход горючего техническим средством, $\frac{\text{л}}{\text{час}}$;

$C_{CM} = C_{CM}^1 \cdot 0,04 \cdot q_{TC} \cdot t$ - стоимость израсходованных смазочных материалов, руб.;

0,04 – относительный расход смазочных материалов по отношению к израсходованному горючему;

$C_o = C_o^1 \cdot q_o \cdot t$ - стоимость израсходованных обеззараживающих (дезактивирующих, дегазирующих, дезинфицирующих) веществ, руб.;

C_o^1 - цена обеззараживающего вещества, $\frac{\text{руб}}{\text{л}}$;

q_o - расход обеззараживающего вещества техническим средством, $\frac{\text{л}}{\text{с}}$.

Затраты на отключение разрушенных коммунально-энергетических сетей.

$$C_{окс} = C_{знч} \cdot m \cdot n \cdot t_0, \quad (5.24)$$

где $C_{знч}$ - средняя часовая заработная плата рабочего аварийной группы, $\frac{\text{руб}}{\text{ч}}$;

m - нормативное количество человек в аварийной группе, чел.;

$n = n_c \cdot N_{P3}$ - количество отключенных разрушенных участков сетей, ед.;

n_c - количество сетей в здании, ед.;

N_{P3} - количество зданий, получивших средние, сильные и полные разрушения, ед.;

t_0 - нормативное время отключения аварийной группой разрушенного участка внутридомовых сетей (водопровода, теплоснабжения и др.) со вскрытием колодцев, закрытием задвижек, выключением рубильников и разборкой завала, $\frac{\text{ч}}{\text{уч}}$.

Затраты, связанные с тушением пожаров.

$$C_{ПП} = C_{знп} + C_{апп} + C_M,$$

$C_{знп} = C_{знпч} \cdot t_{ПП} \cdot n$ - средняя заработная плата пожарных за время тушения пожара $t_{ПП}$, руб.;

$C_{знпч}$ - средняя часовая заработная плата пожарного, $\frac{\text{руб}}{\text{ч}}$;

$t_{ПП}$ - расчетная продолжительность тушения пожара на промышленном предприятии, ч.;

$n = n_э \cdot n_{ПМ}$ - число пожарных, участвующих в тушении пожара, чел.;

$n_{э}$ - численность экипажа пожарной машины, чел;

$$n_{ПМ} = \sum_{i=1}^{N_{ГЗ}} \frac{a_i + b_i - 10}{q_{ОВ}} \quad (5.25)$$

- количество пожарных машин, необходимых для тушения пожаров [10], ед.;

$a_i \cdot b_i$ - соответственно длина и ширина i -го здания, охваченного пожаром, м.;

$q_{ОВ}$ - расход огнетушащего вещества одной пожарной машиной при тушении пожара, $\frac{л}{с}$;

$N_{ГЗ}$ - количество горящих зданий, ед.;

$C_{a_{ПМ}} = n_{ПМ} \cdot \frac{C_{ПМ} \cdot C_{a_{ПМ}} \cdot t_{ТП}}{100}$ - стоимость амортизации пожарных машин, руб.;

$H_{a_{ПМ}}$ - норма амортизации пожарной машины, $\frac{\%}{ч}$;

$C_M = C_{Г} + C_{СМ} + C_{ОВ}$ - стоимость материалов, расходуемых при тушении пожара, руб.;

$C_{Г} = C_{Г}^1 \cdot q_{ПМ} \cdot t_{ТП} \cdot n_{ПМ}$ - стоимость расходуемого горючего, руб.;

$q_{ПМ}$ - расход горючего пожарной машиной при тушении пожара, $\frac{л}{ч}$;

$C_{СМ} = C_{СМ}^1 \cdot 0,04 \cdot q_{ПМ} \cdot t_{ТП} \cdot n_{ПМ}$ - стоимость расходуемых смазочных материалов, руб.;

$C_{ОВ} = C_{ОВ}^1 \cdot q_{ОВ} \cdot t_{ТП} \cdot n_{ПМ}$ - стоимость расходуемого огнетушащего вещества, руб.;

$C_{ОВ}^1$ - стоимость огнетушащего вещества, $\frac{руб}{л}$.

Затраты, связанные с извлечением пострадавших из-под завалов.

Откопка пострадавших с целью извлечения их из-под завалов производится, как правило, вручную с использованием средств малой механизации, имеющей незначительную стоимость. Поэтому основные затраты связаны с выплатой работающим заработной платы.

$$C_{шт} = C_{зн_{сч}} \cdot t \cdot n_{с},$$

где $C_{зн_{сч}}$ - средняя часовая заработная плата спасателя, $\frac{руб}{ч}$;

$t = 10ч.$ - предельное время оказания первой медицинской помощи пострадавшему;

$$n_c = n_3 \cdot \frac{n_{\text{п}} \cdot N_{\text{шт}}}{t} - \text{количество спасателей, необходимое для}$$

проведения работы в течение времени t , чел.;

n_3 - количество спасателей в спасательном звене, чел.;

$n_{\text{п}}$ - количество пострадавших, находящихся под завалами, чел.;

При оценке возможного ущерба $n_{\text{п}}$ может быть принято равным количеству безвозвратных и санитарных потерь производственного персонала, находящегося в зданиях, которые могут получить сильные и полные разрушения.

$N_{\text{шт}}$ - норматив времени, необходимого спасательному звену для откопки одного пострадавшего, $\frac{\text{ч}}{\text{чел}}$.

Затраты на эвакуацию пострадавших в лечебные учреждения.

$$C_{\text{эв}} = C_{\text{зп}} + C_{a_m} + C_M,$$

где $C_{\text{зп}} = C_{\text{знч}} \cdot t \cdot n$ - заработная плата персонала, участвующего в эвакуации, за время работы, руб.;

$$t = 2 \cdot \frac{l}{V_{\text{сп}}} - \text{время работы одной машины скорой помощи, ч.};$$

l - расстояние от очага поражения до лечебного учреждения, км.;

$V_{\text{сп}}$ - средняя скорость движения машины, $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$;

$n = n_э \cdot n_M$ - количество персонала, обеспечивающего эвакуацию, чел.;

$n_э$ - экипаж санитарной машины, чел.;

$n_M = \frac{n_{\text{п}}}{n_{\text{эв}}}$ - количество машин, необходимое для проведения эвакуации, ед.;

$n_{\text{п}}$ - количество пострадавших, чел.;

$n_{\text{эв}}$ - количество эвакуируемых одной машиной, чел.;

$$C_{a_m} = n_M \cdot \frac{C_M \cdot H_{a_m} \cdot t}{100} - \text{стоимость амортизации машин скорой}$$

помощи, руб.;

C_M - первоначальная стоимость машины, руб.;

H_{a_m} - норма амортизации машины, $\frac{\%}{\text{ч}}$;

$C_M = C_{\text{г}} + C_{\text{см}}$ - стоимость расходуемого горючего и смазочных материалов, руб.;

$C_G = C_G^1 \cdot q_M \cdot 2l \times n_M$ - стоимость израсходованного горючего, руб.;

q_M - расход горючего одной машиной скорой помощи, $\frac{л}{км}$;

$C_{CM} = C_{CM}^1 \cdot 0,04 q_M \cdot 2l \cdot n_M$ - стоимость израсходованных смазочных материалов, руб.

Затраты на проведение частичной специальной обработки.

Частичная специальная обработка состоит из частичной санитарной обработки людей и частичного обеззараживания используемой техники. Она производится работающими в очаге поражения людьми, как правило, без применения технических средств, и поэтому затраты на ее проведение связаны с увеличением времени их работы, и следовательно, заработной платы, и расходом обеззараживающих материалов (дезактивирующих, дегазирующих, дезинфицирующих веществ, растворителей).

$$C_{ЧСО} = C_{ЗП} + C_M,$$

где $C_{ЗП} = \sum_{i=1}^n C_{ЗП_{ч_i}} \cdot \frac{S_i}{N_i}$ - средняя заработная плата за время

проведения частичной специальной обработки, руб.;

$C_{ЗП_{ч_i}}$ - средняя часовая заработная плата i -й категории работающих, $\frac{руб}{ч}$;

S_i - количество i -й категории работающих, i -й техники, i -й обеззараживаемой площади, ед., $м^2$;

N_i - норматив времени на проведение частичной санитарной обработки, частичного обеззараживания i -й техники, $\frac{чел}{ч}$, $\frac{ед}{ч}$, $\frac{М^2}{ч}$;

n - количество категорий работающих, видов техники, ед.;

$C_M = \sum_{j=1}^m C_{M_j} \cdot Q_j$ - стоимость израсходованных материалов, руб.;

m - количество видов материалов;

C_{M_j} - цена j -го материала (дезактивирующего, дегазирующего вещества и др.), $\frac{руб}{л}$, $\frac{руб}{кг}$, $\frac{руб}{ед}$;

$Q_j = \sum_{i=1}^n N_{ji} \cdot S_i$ - количество израсходованных j -х материалов, л., кг, ед.;

N_{ji} - норма расхода j-го материала на обработку i-го вида техники, i-й площади, санитарной обработки людей, $\frac{\text{л}}{\text{ед}}$, $\frac{\text{л}}{\text{м}^2}$, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$ и т.д.

Стоимость израсходованных средств индивидуальной защиты (противогазов, респираторов и т.д.).

$$C_{СИЗ} = \sum_{i=1}^n C_{СИЗ_i} \cdot Q_i,$$

где $C_{СИЗ_i}$ - цена i-го средства индивидуальной защиты, $\frac{\text{руб}}{\text{ед}}$;

Q_i - количество i-х средств индивидуальной защиты, ед.;

Прочие (неучтенные) расходы в соответствии со сложившейся практикой принимаются равными (2...5)% от себестоимости произведенной продукции, т.е.

$$C_{пр} = (0,02...0,05) \cdot (C_P + C_{ум} + C_{окэс} + C_{тп} + C_{ип} + C_{эв} + C_{чсо} + C_{СИЗ}).$$

5.1.2.6. Ущерб, связанный с ликвидацией последствий ЧС

Ущерб, связанный с ликвидацией последствий ЧС, определяется затратами на производство комплекса работ. В общем случае основными из них являются: откачивание воды из затопленных при повреждении КЭС и тушении пожаров подвальных помещений; демонтаж технического оборудования из поврежденных зданий, получивших сильные повреждения, восстановление которых нецелесообразно; уборка образовавшихся завалов и специальная обработка зараженных объектов. При ведении работ в условиях заражения используются средства индивидуальной защиты, стоимость которых также должна быть отнесена к ущербу. Увеличение приведенных затрат на (2...5)% позволит учесть непредвиденные работы и работы, не вносящие существенного вклада в ущерб. Таким образом,

$$C_{лпчс} = C_{ов} + C_{д} + C_{обр} + C_{зав} + C_{псo} + C_{СИЗ} + C_{пр}, \quad (5.26)$$

где $C_{ов}$ - стоимость работ по откачиванию воды из затопленных помещений, руб.;

$C_{д}$ - стоимость демонтажных работ, руб.;

$C_{обр}$ - затраты, связанные с обрушением зданий, руб.;

$C_{зав}$ - затраты, связанные с уборкой завалов, руб.;

$C_{псo}$ - затраты на специальную обработку зараженных объектов, руб.;

$C_{СИЗ}$ - стоимость используемых средств индивидуальной защиты, руб.;

C_{np} - прочие (неучтенные) затраты, руб.

Затраты, связанные с откачиванием воды из затопленных подвальных помещений.

$$C_{OB} = C_{3П} + C_a + C_M,$$

где
$$C_{3П} = C_{3Пч} \cdot t = C_{3Пч} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{3600 \sum_{i=1}^m П_i}$$
 - заработная плата,

выплачиваемая за время работы, руб.;

$$C_{3Пч} - \text{ часовая заработная плата работающих, } \frac{\text{руб}}{\text{ч}};$$

V_i - объем откачиваемой воды из i -го подвального помещения (объем i -го подвала), л.;

$П_i$ - производительность i -й пожарной, поливовой машины или мотопомпы, $\frac{\text{л}}{\text{с}};$

n и m – соответственно количество затопленных подвальных помещений и применяемых для откачивания воды технических средств (мотопомп и т.д.), ед.;

$$C_a = \sum_{i=1}^m \frac{C_{тс_i} \cdot H_{a_{тс_i}} \cdot t_i}{100} - \text{ амортизационные отчисления за}$$

использование i -х технических средств;

$$C_{тс_i}, H_{a_{тс_i}} \text{ и } t_i = \frac{V_i}{60 П_i} - \text{ соответственно первоначальная цена,}$$

руб.; норма амортизации, $\frac{\%}{\text{ч}}$ и время работы, ч. i -го технического средства;

$$C_M = C_G + C_{CM} = \sum_{i=1}^m (C_G^i \cdot q_{тс_i} \cdot t_i + C_{CM}^i \cdot 0,04 q_{тс_i} \cdot t_i) - \text{ стоимость}$$

израсходованных горюче-смазочных материалов, руб.

Стоимость демонтажных работ.

$$C_{\partial} = \frac{K}{100} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n C_{to_{\partial ij}}, \quad (5.27)$$

где K – коэффициент, характеризующий долю стоимости монтажных (демонтажных работ в балансовой стоимости смонтированного технологического оборудования с учетом повышенной сложности демонтажа из поврежденных и разрушенных зданий, %;

$C_{to_{\partial ij}}$ - балансовая стоимость i -го смонтированного технологического оборудования в j -м здании, руб.;

n – количество видов оборудования в j -м здании, ед.;

m – количество поврежденных зданий, из которых осуществляется демонтаж оборудования, ед.

Затраты, связанные с обрушением поврежденных зданий.

Обрушение зданий может производиться механическим или взрывным способом. Последний является более прогрессивным, поэтому возможные затраты по обрушению зданий рассмотрим применительно к этому способу.

При обрушении зданий взрывом по их периметру в стенах бурят несколько рядов шпуров. Шпуры снаряжаются взрывчатым веществом и детонаторами, подключаемыми к общей магистральной сети, выводимой в безопасное место [41]. Затраты при этом способе как и ранее могут быть представлены в виде:

$$C_{об} = C_{зпв} + C_{а_{тс}} + C_M,$$

где $C_{зпв} = C_{зн_{чс}} \cdot t$ - средняя заработная плата взрывника за время работы t , руб.;

$C_{зн_{чс}}$ - средняя часовая заработная плата взрывника, $\frac{руб}{ч}$;

$$t = t_{из.шп} + t_{сн.шп} + t_{из.с} = 1,5 t_{из.шп} \quad (5.28)$$

где $t_{из.шп} = t_{из.шп}^1 \cdot n_{шп}$ - время изготовления шпуров в стенах поврежденных зданий для размещения зарядов взрывчатого вещества (ВВ), ч.;

$t_{из.шп}^1 = \frac{l_{шп}}{V_{\sigma} \cdot 60}$ - время изготовления одного шпура, ч.;

$l_{шп} = \frac{2}{3} h$ - длина шпура, см.;

h - толщина стены взрываемого здания, см.;

V_{σ} - скорость бурения, $\frac{см}{мин}$. При бурении перфоратором ПР-

10 $V_{\sigma} = 85 \frac{мм}{мин}$;

$$n_{шп} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{зди}}{C} \cdot m \quad (5.29)$$

- количество шпуров в стенах взрываемых зданий, ед.; $P_{зди}$ - периметр i -го взрываемого здания, м; n – количество зданий, ед.;

$$C = 0,63 \sqrt{\frac{1}{q}} \quad (5.30)$$

- расстояние между шпурами, м; q - удельный расход ВВ, $\frac{кг}{м^3}$.

При толщине железобетонной стены 0,45 м. $q = 2,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, кирпичной

стены на цементном растворе $q = 2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

m - количество рядов шпуров. $m = 2 \dots 3$ в зависимости от прочности материала стен здания;

$t_{\text{сн.ш.}}$ - время снаряжения шпуров ВВ, ч.;

$t_{\text{из.с}}$ - время изготовления взрывной сети, ч.;

$C_{a_{\text{ТС}}} = \sum_{i=1}^r \frac{C_{\text{ТО}i} \cdot H_{a_{\text{ТС}i}} \cdot t_i}{100}$ - стоимость амортизации используемых

технических средств (инструмента для изготовления шпуров, транспортных средств и др.), руб.;

$C_{\text{ТО}i}$ - первоначальная стоимость i -го технического средства, руб.;

$H_{a_{\text{ТС}i}}$ - норма амортизации i -го технического средства, $\frac{\%}{\text{ч}}$;

t_i - время амортизации i -го технического средства, ч.;

r - количество используемых технических средств, ед.;

$C_M = C_{\text{ВВ}} + C_{\text{д}} + C_{\text{П}} + C_{\text{э}}$ - стоимость израсходованных материалов, руб.;

$C_{\text{ВВ}} = C_{\text{ВВ}}^1 \cdot n_{\text{шп}} \cdot Q_{\text{ВВ}}$ - стоимость ВВ, израсходованного для обрушения поврежденных зданий, руб.;

$C_{\text{ВВ}}^1$ - цена ВВ, $\frac{\text{руб}}{\text{кг}}$;

$Q_{\text{ВВ}} = 0,5 h p$ - масса заряда ВВ в шпуре, кг.;

p - вместимость 1 м шпура, $\frac{\text{кг}}{\text{м}}$. При использовании стандартного

патрона $p = 0,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}}$;

$C_{\text{д}} = C_{\text{д}}^1 n_{\text{шт}}$ - стоимость израсходованных детонаторов, руб.;

$C_{\text{д}}^1$ - цена детонатора, $\frac{\text{руб}}{\text{шт}}$;

$C_n = C_n^1 \cdot l_{\text{пр}} = C_n^1 \cdot 2(l_{\text{мн}} + n_{\text{шт}} \cdot l_{\text{шт}})$ - стоимость взрывной электросети, руб.;

C_n^1 - цена провода, $\frac{\text{руб}}{\text{м}}$;

$l_{\text{мн}}$ - длина магистрального провода, м. $l_{\text{мн}} \approx \sum_{i=1}^n P_{3\text{д}i}$;

$C_{\text{э}} = C_{\text{э}}^1 \cdot P_{\text{эс}} \cdot t_{\text{из.ум}}$ - стоимость израсходованной электроэнергии, руб.;

$C_{\text{э}}^1$ - цена электроэнергии, $\frac{\text{руб}}{\text{квт.ч}}$;

$P_{\text{эс}}$ - мощность электросверла для бурения шпуров, квт. Мощность перфоратора ПР – 10 $P_{\text{эс}} = 1$ квт.

Стоимость уборки завалов. $C_{\text{зав}} = C_{\text{зп}} + C_{\text{аис}} + C_{\text{м}}$, где

$C_{\text{зп}} = \sum_{i=1}^r C_{\text{зн}_{\text{чи}}} \cdot n_i \cdot t_i$ - средняя заработная плата работающих на уборке завалов за время работы, руб.;

$C_{\text{зн}_{\text{чи}}}$ - средняя часовая заработная плата i -й категории работающих, $\frac{\text{руб}}{\text{ч}}$;

n_i - количество работающих i -й категории, чел.;

t_i - время работы i -й категории работающих, ч.;

r – количество категорий работающих.

При уборке завалов обычно используются бульдозеры, экскаваторы и автосамосвалы. Бульдозеры используются для подготовки рабочих площадок для экскаваторов и растаскивания крупногабаритных элементов завала, экскаваторы – для погрузки элементов завала в автосамосвалы, автосамосвалы – для транспортировки элементов завала к местам их складирования. Предварительная резка металлических конструкций и арматуры крупногабаритных элементов завала осуществляется рабочим, одновременно выполняющим функции стропальщика при использовании экскаватора для подъема встречающихся в завале длинномерных элементов и крупных глыб.

Количество работающей техники не существенно при определении суммарной величины заработной платы, т.к. общий объем оплачиваемой работы от этого не меняется. С точки зрения организации работы количество техники должно быть таким, чтобы не создавались взаимные помехи. Это условие выполняется при работе одного бульдозера и экскаватора на уборке завала одного здания, т.е. количество бульдозеров и экскаваторов в этом случае равно количеству зданий, получивших сильные и полные разрушения.

Количество самосвалов определяется условием обеспечения непрерывной работы экскаватора. Например, для обеспечения работы экскаватора с емкостью ковша $(0,5 \dots 0,65) \text{ м}^3$ и дальностью возки грунта на расстояние 1 км необходимо 4 автосамосвала грузоподъемностью 5 т [55].

Все категории работающих участвуют в работе в течение всего времени уборки завалов. Поэтому

$$C_{3П} = (C_{3нч} \cdot n_{э} + C_{3нб} \cdot n_{б} + C_{3нв} \cdot n_{в} + C_{3нс} \cdot n_{с}) \cdot t,$$

где $C_{3нч}, C_{3нб}, C_{3нв}, C_{3нс}$ - соответственно средняя часовая заработная плата экскаваторщика, бульдозериста, водителя самосвала и стропальщика, руб/ч;

$пс=пэ=пб=пзд$ - количество работающих на уборке завалов стропальщиков, экскаваторщиков и бульдозеристов, чел;

$пзд$ - количество зданий, получивших сильные и полные повреждения, ед;

$пв=п \cdot пэ$ - количество водителей самосвалов, чел;

$п$ - коэффициент, характеризующий соотношение между количеством экскаваторов и автосамосвалов из условия обеспечения

непрерывности работы [55], $\frac{V_{3AB}}{П_{э}}$ - время работы по уборке завалов, ч;

$$V_{3AB} = \sum_{i=1}^{n_{э}} V_{3ABi} - \text{суммарный объём завалов, м}^3;$$

$V_{3ABi} = (0,05 \dots 0,2) a_i \cdot b_i \cdot h_i$ - объём завала при полном разрушении i -го здания, м^3 ;

a_i, b_i, h_i - соответственно длина, ширина и высота i -го здания, м;

$$П_{э} = \sum_{i=1}^{n_{э}} П_{эi} - \text{суммарная производительность экскаваторов,}$$

работающих на уборе завалов, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$$Сатс = \sum_{i=1}^m n_i \cdot C_{TCi} \cdot Намс_i \cdot t_i / 100 - \text{стоимость амортизации}$$

применяемых технических средств, руб;

$п$ -количество видов технических средств, ед;

$п_i$ - количество i -го вида технических средств, ед;

$Стс_i$ - первоначальная стоимость i -го технического средства, руб;

$Намс_i$ - норма амортизации i -го технического средства, %/ч;

t_i - время работы i -го технического средства, ч;

$См=Сг+Ссм$ - стоимость израсходованных материалов, руб;

$$См = \sum_{i=1}^m n_i C' r_i q_i t_i - \text{стоимость израсходованного горючего, руб};$$

q_i - расход горючего i -м техническим средством, л/ч;

$С'г$ - цена горючего, руб/л;

$$С'см = \sum_{i=1}^m n_i \cdot C'_{смi} \cdot 0,04 q_i \cdot t_i - \text{стоимость израсходованных}$$

смазочных материалов, руб;

$С'см$ - цена смазочных материалов, руб/л;

По завершении работ в зонах заражения проводится полная специальная обработка, отличающаяся объёмом и применением технических средств от ранее рассмотренной частичной специальной обработки. Расчёт затрат на её проведение аналогичен, но требует дополнительного учёта амортизации используемых технических средств (поливомоечных машин, бульдозеров, автосамосвалов, отвозящих заражённый грунт к местам захоронения и т.п.), а также расходуемых горючего и смазочных материалов. Примеры подобных расчётов приведены выше. Аналогично оценивается и стоимость израсходованных средств индивидуальной защиты. Прочие (неучтённые) расходы как и ранее

$$C_{пр} = (0,02 \dots 0,05)(C_{д} + C_{отр} + C_{зав} + C_{псо} + C_{сиз})$$

При наличии стоимостных показателей работ затраты на их выполнение могут быть представлены в виде

$$C_i = R_i \cdot V_i, \quad (5.31)$$

где R_i – расценка за выполнение единицы i -й работы с учётом амортизации используемых технических средств и стоимости расходуемых материалов, руб/ед, руб/м², руб/м³ и тд.

V_i – объём i -й работы, ед, м², м³ и тд.

В этом случае затраты, связанные с проведением работ по ликвидации ЧС и её последствий:

$$C_{лчс} = \sum_{i=1}^n R_i V_i + C_{пчс}, \quad (5.32)$$

$$C_{лпчс} = \sum_{i=1}^m R_i V_i + C_{пчс},$$

где n и m – соответственно число видов работ, выполняемых при ликвидации ЧС и её последствий.

При полном отсутствии информации и необходимости хотя бы самой грубой оценки затрат на ликвидацию ЧС и её последствий могут быть использованы зависимости:

$$\begin{aligned} C_{лчс} &= K_{лчс} \cdot U_{пр}, \\ C_{лпчс} &= K_{лпчс} \cdot U_{пр}, \end{aligned} \quad (5.33)$$

где на основании статистических данных, отражающих опыт произошедших аварий и катастроф,

$$K_{лчс} = 0,005 \dots 0,01,$$

$$K_{лпчс} = 0,05 \dots 0,15.$$

Пример.

Определить максимально возможную величину ущерба объекта экономики при ЧС, связанной со взрывом пропановоздушной смеси, образовавшейся при выходе в окружающую среду 120т пропана при аварии на магистральном газопроводе. Расстояние от места аварии до ОЭ $r=500$ м. ОЭ представляет собой производственное здание бескаркасной

конструкции длиной $l=125\text{м}$, шириной $v=70\text{м}$ и имеет подвальные помещения по всей его площади высотой $h=2\text{м}$. Количество производственного персонала в здании $R_{\text{пп}}=360\text{чел}$. Время эксплуатации ОЭ до аварии $T_{\text{ф}}=10\text{лет}$.

Балансовая стоимость здания и технологического оборудования $C_{36}=C_{\text{Тоб}}=1,7\text{млн.руб}$, коммунально-энергетических систем (КЭС) $C_{\text{КЭС}}=0,54\text{ млн.руб}$, стоимость оборотных средств $C_{\text{ос}}=0,17\text{ млн.руб}$. Нормы амортизации: здания $N_{\text{аз}}=2\text{ \%/год}$, технологического оборудования $N_{\text{то}}=5\text{ \%/год}$, КЭС $N_{\text{кэс}}=4\text{ \%/год}$. Суточный выпуск товарной продукции $N_{\text{с}}=9\text{ед}$, цена единицы товарной продукции $C_{\text{тп}}=20\text{ тыс. руб}$. Норматив штрафов за недопоставку единицы товарной продукции $R_{\text{ш}}=0,2\text{ тыс. руб}$. Ставка банковского кредита $S_{\text{к}}=60\text{ \%/год}$. Величина прибыли в единице товарной продукции $\Pi'=5\%$. Нормы выработки при ведении восстановительных работ: по ремонту зданий $R_{\text{з}}=27,5\text{ тыс.руб/чел.год}$, технологического оборудования $R_{\text{то}}=30\text{ тыс.руб/чел/год}$, КЭС $R_{\text{кэс}}=25\text{ тыс.руб/чел/год}$.

Решение.

Взрыв газовоздушной смеси в условиях открытой атмосферы может происходить в режиме детонации и в дефлаграционном режиме. Наиболее высокие параметры ударной волны, а следовательно, разрушение и ущерб имеют место при взрыве в режиме детонации. Оценим физическую возможность такого взрыва, для чего найдём радиус образующего пропановоздушного облака r_0 и проверим выполнение условия $r_0 \Rightarrow r_{\text{min}}$, где r_{min} – минимальный радиус облака, при котором возможна детонация. Считаем, что в условиях города необходимое перемешивание смеси и энергия зажигания обеспечиваются.

$r_0 = 1,75^3 \sqrt{W M_0} = 1,75 \sqrt{1 \cdot 120 \cdot 10^3} = 85,6\text{м} > 54,8\text{м}$, т.е. взрыв в режиме детонации возможен.

Величина избыточного давления на фронте воздушной ударной волны $\Delta P_{\text{ф}}$ в месте расположения ОЭ

$$\Delta P_{\text{ф}} = 230 / \sqrt{1 + 0,41 \left(\frac{r}{r_0} \right)^3} - 1 = 230 / \sqrt{1 + 0,41 \left(\frac{500}{85,6} \right)^3} - 1 = 28 \text{ кПа}.$$

Пользуясь таб. 3.4 устанавливаем, что при $\Delta P_{\text{ф}}=28\text{кПа}$ здание ОЭ получит средние разрушения, а технологическое оборудование и КЭС – слабые разрушения. Исходя из характера разрушений и необходимости определения максимального ущерба, принимаем относительную величину ущерба, причиняемого зданию, равной $G_{\text{з}}=0,4$, технологическому оборудованию, КЭС и оборотным средствам – $G_{\text{то}}=G_{\text{кэс}}=G_{\text{ос}}=0,15$ от их остаточной стоимости.

Определим возможную структуру поражения производственного персонала, пользуясь табл. 3.1. Из таблицы следует, что 15% или 54

человека из числа производственного персонала, находящегося в кирпичном бескаркасном производственном здании, получившем средние разрушения, погибнут; 10% или 36 человек получают тяжёлые травмы; 8% или 29 чел. получают травмы средней тяжести и 7% или 25 чел – лёгкие травмы.

Определим величину возможного прямого ущерба

$$y_{\max} = Cзб(1 - \text{НазТф}/100)Gз + Cтоб(1 - \text{НатоТф}/100)Gто + Cкэс(1 - \text{НакэсТф}/100)Gкэс + CасGос = 1,7(1 - 2 \cdot 10/100) \cdot 0,4 + 1,7(1 - 5 \cdot 10/100) \cdot 0,15 + 0,54(1 - 4 \cdot 10/100) \cdot 0,15 + 0,17 \cdot 0,15 = 0,7456 \text{ млн.руб}$$

Величину возможного косвенного ущерба определим, пользуясь данными, приведёнными в приложении.

Потребное количество рабочей силы для ведения восстановительных работ

$$R = CзбGз/Pз + CтобGто/Pто + CкэсбGкэс/Pкэс = 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,4/27,5 + 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,15/30 + 0,54 \cdot 10^3 \cdot 0,15/25 = 36 \text{ чел}$$

Количество производственного персонала, который может быть привлечён к восстановительным работам после аварии

$$R' = R_{пп} - N_{п} = 360 - (54 + 36 + 29 + 25) = 216 \text{ чел.}$$

Время восстановления ОЭ

$$t_{в} = T \cdot R / R' = 12 \cdot 36 / 216 = 2 \text{ мес.}$$

Стоимость восстановления ОЭ

$$C_{в} = (Cзб \cdot Gз + CтобGто + CкэсбGкэс) \cdot (Cк/100) \cdot t_{в} = (1,7 \cdot 0,4 + 1,7 \cdot 0,15 + 0,54 \cdot 0,15) \cdot (60/100 \cdot 12) \cdot 2 = 0,1 \text{ млн. руб.}$$

Утраченная величина прибыли за время восстановления производства

$$C_{п} = (П'/100) \cdot C_{пп} \cdot N_{с} \cdot t_{в} = (5/100) \cdot 20 \cdot 9 \cdot 2 \cdot 30 = 0,54 \text{ млн.руб.}$$

Величина штрафов за невыполнение договорных обязательств

$$C_{ш} = R_{ш}V = 0,2 \cdot 9 \cdot 2 \cdot 30 = 0,108 \text{ млн.руб.},$$

где V – объём недопоставки товарной продукции.

Объём компенсаций пострадавшим и семьям погибших

$$C_{оп} = Cзп \cdot \Delta t_{пп} \cdot N_{пог} + \sum_{i=1}^n (Cзз_i t_i + Cсл \cdot t_i + Cм_i) N_{п_i}$$

где $\Delta t_{пп} = (65 + 60) / 2 - 40 = 22,5$ лет – среднее время недоработки погибшим до пенсионного возраста;

$Cзп = 800$ руб. – средняя заработная плата в месяц;

$N_{пог}$ и $N_{п_i}$ – соответственно число погибших и получивших i -ю степень поражения;

$Cсл = 200$ руб. – стоимость дня лечения;

t_i – продолжительность лечения при i -й степени поражения (при тяжёлых травмах – $t_i = 3$ мес; средней тяжести – $t_i = 2$ мес; при лёгких травмах – $t_i = 1/2$ мес).

Таким образом,

$$C_{оп} = 800 \cdot 22,5 \cdot 12 \cdot 54 + (800 \cdot 3 + 200 \cdot 3 \cdot 30 + 800 \cdot 3 \cdot 0,1) \cdot 36 + (800 \cdot 2 + 200 \cdot 2 \cdot 30 + 800 \cdot 2 \cdot 0,1) \cdot 29 + (800 \cdot 0,5 + 200 \cdot 0,5 \cdot 30 + 800 \cdot 0,5 \cdot 0,1) = 12,892 \text{ млн. руб.}$$

Определим затраты на ликвидацию ЧС.

При средних разрушениях завалы несутся. Поэтому,

$$C_{лчс} = C_{р} + C_{окэс} + C_{стп} + C_{э} + C_{спр} = 1,05(C_{р} + C_{окэс} + C_{стп} + C_{э}).$$

Средства, затрачиваемые на ведение разведки

$$C_{р} = C_{зпч} \cdot n' \cdot N_{рз} / N'_{рз} = 800 / (24 \cdot 8) \cdot 3 \cdot 1/2 = 6 \text{ руб.}$$

Затраты на отключение КЭС

$$C_{окэс} = C_{зпч} \cdot n \cdot m \cdot t_{о} = 800 / (24 \cdot 8) \cdot 4 \cdot 4 \cdot 3 = 200.$$

Количество пожарных машин, необходимое для тушения пожара

$$n_{пм} = l + b - 10 / q_{ов} = 125 + 70 - 10 / 20 = 9 \text{ машин}$$

Количество пожарных, участвующих в тушении пожара

$$n = n_3 \cdot n_{пм} = 7 \cdot 9 = 63 \text{ чел.}$$

Время тушения пожара в городских условиях в соответствии со статистическими данными $t_{тп} = 3$ час [40].

Затраты на тушение пожара

$$C_{стп} = C_{зпч} \cdot t_{тп} \cdot n + n_{пм} \cdot (C_{пм} \cdot N_{апм} \cdot t_{тп}) / 100 + (C'_{г} \cdot q_{пм} + C'_{см} \cdot 0,04 q_{пм} + C'_{о} \cdot v_{ов}) \cdot t_{тп} \cdot n_{пм} = 800 / (24 \cdot 8) \cdot 3 \cdot 63 + 9 \cdot (120 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 3) / (100 \cdot 365 \cdot 24) + (1,7 \cdot 18 + 20 \cdot 0,04 \cdot 18 + 0,002 \cdot 20) \cdot 3 \cdot 9 = 1995 \text{ руб.}$$

Затраты на эвакуацию 119 человек, погибших и пострадавших при аварии, при средней удалённости лечебного учреждения от места аварии $l = 10$ км., перевозке двух пострадавших ($n_{эв} = 2$) одной машиной скорой помощи и средней скорости её движения по городским магистралям $V = 50$ км/час составят.

$$C_{эв} = (C_{зпч} \cdot 2 \cdot l / V \cdot n_{эв} + (C_{м} \cdot N_{ам} \cdot 2)) / (100 \cdot V) + C'_{г} \cdot q_{м} \cdot 2l + C'_{см} \cdot 0,04 q_{м} \cdot 2l \cdot n_{п} / n_{эв} = (800 / (24 \cdot 8) \cdot 2 \cdot 10 / 50 \cdot 2 + 100 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 10) / (100 \cdot 50) + 2,1 \cdot 0,16 \cdot 2 \cdot 10 + 20 \cdot 0,04 \cdot 0,16 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 119 / 2 = 775 \text{ руб.}$$

$$C_{лчс} = 1,05(6 + 200 + 1995 + 775) = 3125 \text{ руб.}$$

При средних разрушениях здания затраты, связанные с ликвидацией последствий ЧС, будут представлять собой затраты по откачиванию воды из затопленных в результате повреждения водопроводных сетей и тушения пожара подвальных помещений, т.е. с учётом неучтённых затрат.

$$C_{слпчс} = 1,05 C_{ов} = 1,05(C_{зпч} + C_{пм} N_{апм} / 100 + C'_{г} q_{пм} + C'_{см} \cdot 0,04 q_{пм}) \cdot (l \cdot b \cdot h \cdot 10^3 / 3600 P_{пм}) = 1,05(800 / (24 \cdot 8) + (120 \cdot 10^3 \cdot 10) / (100 \cdot 365 \cdot 24) + 1,7 \cdot 18 + 20 \cdot 0,04 \cdot 18) \cdot (125 \cdot 70 \cdot 2 \cdot 10^3) / (3600 \cdot 20) = 12898 \text{ руб.}$$

Максимальная величина косвенного ущерба

$$Y_{kmax} = C_{в} + C_{п} + C_{ш} + C_{оп} + C_{лчс} + C_{слпчс} = 0,1 + 0,54 + 0,108 + 12,892 + 0,0025 + 0,0129 = 13,6554 \text{ млн. руб.}$$

Максимальная величина полного ущерба

$$Y_{max} = Y_{пmax} + Y_{kmax} = 0,7456 + 13,6554 = 14,401 \text{ млн. руб.}$$

5.1.2.7. Затраты, связанные с возмещением ущерба, причинённого физическим и юридическим лицам

Предприятие-виновник ЧС в соответствии с действующим законодательством [50 и др.] должно возмещать ущерб, причинённый им физическим и юридическим лицам, а так же окружающей природной среде.

Ущерб, причинённый физическим и юридическим лицам, и следовательно, затраты, связанные с его возмещением, могут быть представлены в виде

$$C_{\text{фю}} = \sum_{i=1}^m C_{\text{ф}_i} + \sum_{i=1}^m C_{\text{ю}_i} \quad (5.34)$$

$$\text{где} \quad C_{\text{ф}_i} = C_{\text{оп}_i} + C_{\text{ц}_i} - \quad (5.35)$$

затраты на возмещение ущерба, причинённого i -му физическому лицу, руб;

$C_{\text{оп}_i}$ – затраты, связанные с оказанием помощи пострадавшему i -му физическому лицу, руб.

Порядок определения этого вида затрат приведён выше;

$C_{\text{ц}_i} = C_{\text{ср}_i} \cdot G_{\text{ц}_i}$ – затраты по возмещению ущерба нанесённого имуществу i -го физического лица, руб.

$C_{\text{ср}_i}$ – средняя стоимость имущества физического лица с учётом износа, руб. При прогнозировании может быть принята равной суммарной стоимости имущества граждан страны, отнесённой к их числу с использованием статистических данных;

$G_{\text{ц}_i}$ – относительная величина ущерба, соответствующая степени повреждения объекта (здания, движимого имущества). При радиоактивном заражении сверх допустимых пределов и неэффективности дезактивации $G_{\text{ц}_i} = 1$; n и m – соответственно число пострадавших физических и юридических лиц, чел.

При оценке фактического ущерба $C_{\text{ц}_i}$ определяются на основании экспертных оценок и предъявляемых исков.

Оценка ущерба, который может быть причинён юридическому лицу $C_{\text{ю}_i}$, производится в соответствии с изложенными выше рекомендациями.

5.1.2.8. Затраты, связанные с возмещением ущерба, причинённого окружающей среде

$$C_{\text{ос}} = C_{\text{зв}} + C_{\text{зм}} + C_{\text{сп}}, \quad (5.36)$$

где $C_{\text{зв}} = C_{\text{зв}}' \cdot S_{\text{зв}} \cdot t$ – ущерб, причинённый выводом земель(вод) из оборота, руб;

$C_{\text{зв}}'$ – арендная плата (цена) за пользование землёй (водой) с учётом её народнохозяйственной и экологической значимости, руб/га·год;

$S_{зв}$ – площадь земель (водного бассейна), выведенных из оборота в результате ЧС, га;

t – время ликвидации ЧС, годы;

$$C_{зм} = \sum_{i=1}^n C_{зм_i} - \text{стоимость защитных мероприятий}$$

(затраты на строительство дамб, плотин, постановку завес, стоимость израсходованных средств индивидуальной защиты), руб;

n – количество видов защитных мероприятий, ед;

$$C_{сл} = \sum_{i=1}^n C_{сл_i} - \text{затраты на ликвидацию последствий аварии, руб;}$$

$C_{сл_i}$ – стоимость ликвидации i -ых последствий (заражения, размывов и т.п.), руб;

n – число видов последствий, ед.

Порядок определения и структура затрат изложены выше.

5.2. Оценка достоверности ущерба

Оценка достоверности определения ущерба обеспечивается комбинированным применением способов логического, математического, документального и фактического контроля.

Источниками информации для документального контроля служат первичные документы, в том числе технические носители информации, регистры бухгалтерского учёта (машинограммы, накопительные и разработочные таблицы, журналы-ордера, вспомогательные ведомости к ним и пр.), данные оперативно-технического учёта, бухгалтерская, статистическая и оперативно-техническая отчётность и др. документация.

Основными способами документального контроля являются:

- формальная и арифметическая проверка документов;
- юридическая оценка отражённых в документах хозяйственных операций;
- логический контроль объективной возможности документально оформленных хозяйственных операций;
- сплошной и несплошной контроль;
- встречная проверка документов или записей в учётных регистрах посредством сличения их с одноимёнными или взаимосвязанными данными у ОЭ, с которыми пострадавшие объект имеет хозяйственные связи;
- способ обратного счёта;
- оценка законности и обоснованности хозяйственных операций по данным корреспонденции счетов бухгалтерского учёта;
- балансовые увязки движения товарно-материальных ценностей;

- различные методические и технические приёмы экономического анализа.

В процессе формальной и арифметической проверки документов, наиболее тщательно проверяются первичные документы, вызывающие сомнения. При проверке правильности оформления документов устанавливается заполнение требуемых реквизитов, наличие неоговоренных исправлений, подчисток, дописок текста и цифр, подлинность подписей должностных лиц. Выясняется правильность подсчётов в документах.

Целью юридической (нормативной) оценки документально-оформленных хозяйственных операций является определение соответствия отражённых в документах операций существующему законодательству и их экономической целесообразности. По выявленным незаконным операциям устанавливаются виновные юридические и физические лица, на счёт которых относится величина причинённого материального ущерба.

Логический контроль предполагает изучение объективной возможности документально-оформленных хозяйственных операций посредством различных сопоставлений взаимосвязанных производственных и финансовых показателей. Этот способ позволяет выявить нарушение финансовой дисциплины и неправомерное расходование средств. В процессе контроля вскрываются случаи приписок объёмов продукции, находящейся в момент ЧС на складах и в подразделениях ОЭ.

При сплошном контроле проверяются все документы и записи в регистрах бухгалтерского учёта. Сплошным контролем охватываются участки экономической деятельности ОЭ, где злоупотребления наиболее вероятны. Например, движение денежных средств, особо дефицитных и дорогостоящих материальных ценностей. Остальные участки подвергаются несплошному контролю.

Встречная проверка представляет собой сличение первичных документов или учётных записей пострадавшего в результате ЧС ОЭ с одноимёнными или взаимосвязанными данными у объектов, с которыми он имеет хозяйственной связи.

Способ обратного отчёта заключается в предварительной экспертной оценке материальных затрат с целью последующего определения обратным счётом величины необоснованных списаний сырья и материалов на производство продукции. Применению способа предшествует экспертная оценка специалистов о действительных затратах сырья и материалов на изготовление этой продукции. Способом обратного счёта определяется кол-во и стоимость материалов, излишне отнесённых на издержки производства.

В оценке законности и обоснованности хоз. операций по данным корреспонденции счетов бухгалтерского учёта главное заключается в “стыковке” записей в учётных регистрах с оправдательными документами, а также данных регистров с показаниями отчётности, т.к. незаконные действия иногда скрываются посредством необоснованных записей на счетах бухгалтерского учета.

При балансовых увязках движения товарно-материальных ценностей производят сопоставление поступления отдельных видов ценностей за определенный период с их расходом за этот же период и с остатками по инвентаризационной ведомости на день проверки.

В числе методических и технических приемов экономического анализа широко применяются средние и относительные величины, группировки, индексный метод, метод цепных подстановок, расчёты корреляционных зависимостей и другие экономико-математические приёмы, способствующие выявлению симптомов негативных явлений

Фактический контроль представляет собой изучение фактического состояния пострадавшего ОЭ по данным его осмотра в натуре (обмера, взвешивания и т.д). Приёмы фактического контроля подразделяются на инвентаризацию и экспертную оценку. Инвентаризации могут быть полными и частичными в зависимости от охвата хозяйственных средств, а также сплошными и несплошными. Экспертная оценка представляет собой способ фактического контроля, основанный на проведении квалифицированными специалистами экспертизы действительных объёмов нанесённого ущерба, соблюдения технологических режимов и т.п.

5.3. Прогнозирование ущерба

Для определения объёма и структуры затрат по обеспечению устойчивости ОЭ, оценки экологической эффективности принимаемых мер, создания страховых фондов, а также решения ряда других задач необходимо знание величины ущерба, который может понести ОЭ в результате ЧС. Решение этой задачи может быть получено при прогнозировании возможного ущерба с использованием аппарата теории вероятностей.

Ущерб является случайной величиной и поэтому при прогнозировании должен предоставляться как таковая. Эта случайная величина непрерывна, является суммой большого числа случайных слагаемых и поэтому распределение вероятностей её появления подчиняется нормальному закону. Для непрерывных, случайных величин имеет смысл только вопрос о вероятности принятия ими значения в некотором интервале. Чаще всего ставится задача вычисления вероятности того, что случайная величина, заданная в определённой области, примет

какое-нибудь значение в интервале, составляющем часть области задания. Именно так ставится задача и в данном случае.

Область задания ущерба « y_{\max} , y_{\min} », т.е. его минимальные и максимальные значения, определяемые достаточно достоверно. Для определения y_{\max} , y_{\min} может быть использована выше приведённая методика. При этом при определении y_{\max} необходимо принимать максимальные значения величин из их возможного диапазона, а при определении y_{\min} – минимальные.

Интересующий интервал $\bar{y} \pm y \Delta y$, где $\bar{y} = (y_{\max} + y_{\min})/2$ – среднее значение ущерба, а Δy – отклонение от среднего значения, чаще всего принимаемое равным среднему квадратичному отклонению δ . Вероятность попадания случайной величины в такой интервал известна и равна 0,6826, а величина среднего квадратичного отклонения может быть найдена из достоверного утверждения, что вероятность отклонения ущерба от среднего значения по абсолютной величине меньше отклонения среднего значения от максимально возможного. С учётом симметричности интервала « y_{\max} , y_{\min} » относительно центра распределения “ y ” можно написать:

$$P\left[|y - \bar{y}| < (y_{\max} - \bar{y})\right] = 1 = 2\Phi\left((y_{\max} - \bar{y})/\delta\right), \quad (5.37)$$

где $\Phi\left((y_{\max} - \bar{y})/\delta\right) = 1/2\pi \int_0^{(y_{\max} - \bar{y})/\delta} \exp(-t^2/2) dt$ интеграл вероятности.

Отсюда $\Phi\left((y_{\max} - \bar{y})/\delta\right) = 0,5$ и $(y_{\max} - \bar{y})/\delta = 5$. следовательно, $\delta = 0,1(y_{\max} - y_{\min})$, а выражение для ущерба может быть записано в виде

$$y = (y_{\max} + y_{\min})/2 \pm 0,1(y_{\max} - y_{\min}) \quad (5.38)$$

с доверительной вероятностью 0,6826.

$$\text{При } \Delta y = 2\delta y = (y_{\max} + y_{\min})/2 \pm 0,2(y_{\max} - y_{\min}) \quad (5.39)$$

с доверительной вероятностью 0,95.

При прогнозировании ущерба от нескольких независимых ЧС он будет равен сумме суммы прогнозируемых ущербов от этих ЧС, т.е.:

$$y_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N y_i, \quad (5.40)$$

а с учётом вероятности их возникновения

$$y_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N y_i \cdot P_i \quad (5.41)$$

где N - число возможных ЧС в течении интересующего интервала времени;

y_i - полная величина прогнозируемого ущерба при i -й ЧС;

y_{Σ} – математическое ожидание возможного ущерба от N ЧС;

P_i – вероятность возникновения i -й ЧС, определяемая с использованием соответствующего закона распределения.

Например, при пожаре ГОСТ [30] рекомендует оценивать возможный ущерб с использованием зависимости

$$y = (y_{\text{пр}} + y_{\text{к}})Q(\text{ПВ}) + y_{\text{гт}}Q_{\text{в}} \quad (5.42)$$

где $y_{\text{пр}}$ – средний прямой ущерб от одного пожара, руб;

$y_{\text{к}}$ – средний косвенный ущерб от одного пожара, руб;

$Q(\text{ПВ})$ – вероятность возникновения пожара на ОЭ, вычисляемая по методике, изложенной в разделе 3.3.2;

$y_{\text{гт}}$ – средний ущерб в случае гибели людей или получения ими телесных повреждений, руб;

$Q_{\text{в}}$ – вероятность воздействия опасных факторов пожара на отдельного человека, определяется по методике, изложенной в разделе 3.3.3.

Под прямым ущербом ГОСТ предлагает понимать сумму материального ущерба, причиненного пожаром, а в состав косвенного ущерба включать выплату заработной платы рабочим за время простоя; доплату рабочим высшей квалификации, привлечённым для ликвидации последствий пожара; оплату демонтажных работ и работ по расчистке и уборке строительных конструкций; потери от снижения прибыли из-за недовыпуска продукции; потери части условно-постоянных расходов; оплату штрафов за недопоставку продукции и потери от отвлечения капитальных вложений на восстановление основных фондов.

В ущерб, связанный с гибелью людей или получением ими телесных повреждений угт включаются выплаты пенсий и пособий в случае потери кормильца, выплата пособий пострадавшим на пожаре, стоимость клинического или санитарно-курортного лечения, оплата по временной нетрудоспособности. Размер материального ущерба, связанного с гибелью людей и получением ими телесных повреждений в 1988 г. оценивался следующими цифрами [24]:

	Материальный ущерб, руб
- гибель человека, имевшего семью	23789
- гибель человека, не имевшего семьи	19510
- гибель детей до 16-летнего возраста	28500
- телесные повреждения человека, который получил инвалидность и работает	9095
- телесные повреждения человека, получившего временную нетрудоспособность	321

Обоснование этих цифр в работе [24] не приводится. При отсутствии статистических данных о пожарах на рассматриваемом объекте предлагается пользоваться зависимостью

$$y = C \cdot \overline{F_{\text{п}}} \cdot Q(\text{ПП}) \quad (5.43)$$

где C – средняя стоимость 1 м^2 площади объекта, руб/ м^2 ;

$F_{\text{п}}$ – средняя площадь пожара, м^2 .

Пример.

Дать вероятностную оценку ущерба ОЭ при условиях, изложенных в примере раздела 5.1

Решение.

← **Формат:** Список

Для решения задачи необходимо определить максимально и минимально возможные величины ущерба. Первая из них найдена при решении примера, приведённого в разделе 5.1

Определим минимальную величину ущерба.

Минимальный ущерб будет иметь место при аварии, завершающейся дефлаграционным взрывом пропановоздушной смеси, и минимальных значениях всех влияющих на него параметров.

Определим тротильный эквивалент взрыва G_T и величину избыточного давления на фронте воздушной ударной волны ΔP_f в месте расположения здания в соответствии с рекомендациями работы [32]

$$G_T = \eta \cdot \omega \cdot M_o \cdot Q_v / Q_{vT} = 0,1 \cdot 1 \cdot 120 \cdot 46,4 / 4,52 = 132 \text{ т.}$$

$$\Delta P_f = 95 \cdot G_T^{1/3} / r + 390 G_T^{2/3} / r^2 + 1300 G_T / r^3 = 95(123 \cdot 10^3)^{1/3} / 500 + 390(123 \cdot 10^3)^{2/3} / 500^2 + 1300(123 \cdot 10^3) / 500^3 = 14,5 \text{ кПа}$$

В соответствии со статистическими данными, приведенными в табл.3.4, при $\Delta P_f = 14,5$ кПа здание ОЭ получит слабое разрушение, а технологическое оборудование, коммунально-энергетические сети и оборотные средства не пострадают. Относительная величина ущерба, причиненного зданию при слабых разрушениях, находится в пределах (0.1...0.15). В соответствии со заданием примем минимальное значение $G_3 = 0,1$.

Из табл.3.1 следует, что в данном случае 15% производительного персонала, т.е. 54 человека, могут получить лёгкие травмы.

Определим величину прямого ущерба

$$уп_{\min} = C_{бз}(1 - (\text{Наз } T_f / 100)) \cdot G_3 = 1,7(1 - (2 \cdot 10 / 100)) \cdot 0,1 = 0,136 \text{ млн. руб.}$$

Величина косвенного ущерба будет складываться из затрат на восстановление здания $C_{вз}$, утраченной величины прибыли за время восстановления $C_{п}$, выплачиваемого штрафа за недопоставку товарной продукции $C_{ш}$ и компенсационных выплат пострадавшим $C_{оп}$. Определим эти составляющие.

Время, необходимое для восстановления здания

$$t_{в} = TR / R^2 = (12 \cdot C_{зб} \cdot G_3) / P_3(R_{пп} - N_{п}) = (12 \cdot 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,1) / 27,5(360 - 54) = 0,242 \text{ мес.}$$

Затраты на восстановление здания

$$C_{в} = C_{зб} \cdot G_3 \cdot (C_{к} / 100) \cdot t_{в} = 1,7 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot (60 / 100 \cdot 12) \cdot 0,242 = 2,057 \text{ тыс. руб.}$$

Утраченная величина прибыли

$$C_{п} = \Pi^* / 100 \cdot C_{тп} \cdot N_c \cdot t_{в} = (5 / 100) \cdot 20 \cdot 9 \cdot 0,242 \cdot 30 = 65,34 \text{ тыс. руб.}$$

Величина штрафов за недопоставку товарной продукции

$$C_{ш} = R_{ш} \cdot N_c \cdot t_{в} = 0,2 \cdot 9 \cdot 0,242 \cdot 30 = 13,068 \text{ тыс. руб.}$$

Объём компенсационных выплат пострадавшим.

$C_{оп}=(C_{зп} \cdot t_{л}+C_{лд} \cdot t_{л}+C_{м}) \cdot N_{п}=(800 \cdot 0,5+200 \cdot 0,5 \cdot 30+800 \cdot 0,5 \cdot 0,1) \cdot 54=18$
5,76 тыс.руб.

Минимальная величина косвенного ущерба

$y_{kmin}=1,05(C_{в}+C_{п}+C_{ш}+C_{оп})=1,05(2,057+65,34+13,068+185,76)=266,2$
тыс. руб.

Минимальная величина полного ущерба

$y_{min}=y_{пmin}+y_{kmin}=0,136+0,2662=0,402$ млн. руб.

Таким образом,

$y=(y_{max}+y_{min})/2 \pm 0,1(y_{max}-y_{min})=(14,401+0,402)/2 \pm 0,1(14,401-0,402)=(7,4 \pm 1,4)$ млн. руб. с доверительной вероятностью 0,6826

5.4. Определение величины страхового фонда

Страховая деятельность Российской Федерации регулируется законом [71].

В соответствии с правовыми документами[43,50] предприятия обязаны создавать на случай ЧС страховые фонды, а следовательно, появляется необходимость определения их оптимальной величины.

Величина страхового фонда к-го ОЭ может быть представлена суммой величины математического ожидания ущерба и выплат, связанных с услугами страховой компании, т.е.

$$C_{стр_k} = \bar{y}_{\Sigma} + C_{y_k}, \quad (5.44)$$

где C_{y_k} – выплаты к-го ОЭ за услуги, оказываемые страховой компанией.

Математическое ожидание полного ущерба при всех возможных ЧС и повреждениях ОЭ

$$\bar{y}_{\Sigma} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^r y_{ji} \cdot P_{ji}, \quad (5.45)$$

где y_{ji} – полный ущерб при j -й степени повреждения предприятия в результате i -й ЧС;

$P_{ji} = (1, t) = 1 - \exp(-\beta_{ji} t_{\Sigma})$ – вероятность j -й степени повреждения при i -й ЧС;

$\beta_{ji} = \frac{N_{ji}}{T}$ - параметр распределения Пуассона;

N_{ji} – число случаев j -х повреждений при i -й ЧС, произошедших на ОЭ, однотипных с рассматриваемым за время T ;

r – число возможных ЧС;

m – число возможных повреждений. Обычно рассматривают слабые, средние, сильные и полные повреждения предприятий.

Величина выплат страхуемых ОЭ за услуги страховой компании определяется самой страховой компанией, исходя из условия

$$Сзат = \sum_{k=1}^n Су_k, \quad (5.46)$$

$$\text{где } Сзат = Св + Сн + Сэ + Са + П - \quad (5.47)$$

затраты страховой компании в течение предельного срока страхования;

Св, Сн, Сэ, Са и П – соответственно суммы выплат страховой компанией по страховым случаям, налогам, эксплуатационным расходам, содержанию аппарата и планируемая прибыль;

n – количество застрахованных предприятий;

С_{у_k} – выплаты k-го предприятия за оказания ему страховых услуг. Величина выплат за оказание страховых услуг может быть представлена в виде

$$Су_k = Сзат \cdot \alpha_k, \quad (5.48)$$

где $\alpha_k = \alpha_{kc} \cdot \alpha_{kt}$ – коэффициент, определяемый страховой кампанией в зависимости от страховой суммы, подлежащей выплате k-му предприятию при наступлении страхового случая, продолжительности страхования и количества клиентов;

α_{kc} , α_{kt} – соответственно коэффициенты, определяемые величиной страховых выплат при ЧС и продолжительностью страхования

$$\alpha_{kc} = Сстр_k / Сстр; \quad \alpha_{kt} = t_k / t_{стр} \quad (5.49)$$

где Сстр_k – величина страховой суммы, подлежащей выплате k-му предприятию, при наступлении страхового случая;

Сстр – предельная страховая сумма, которая может быть выплачена страховой компанией ОЭ без риска банкротства;

t_k – продолжительность страхования k – го предприятия;

t_{стр} – предельная продолжительность страхования, соответствующая времени исчисления затрат Сзат .

Количество страхуемых предприятий (клиентов) определяется страховой компанией из условия:

$$\sum_{k=1}^n \alpha_k = 1 \quad (5.50)$$

6. НЕКОТОРЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРОБЛЕМЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОЭ В ВОЙНАХ БУДУЩЕГО

По представлениям военных теоретиков войны будущего, они их называют войнами шестого поколения, связаны с массированным применением обычного высокоточного оружия и оружия на новых физических принципах.

В историческом аспекте все произошедшие на Земле войны специалисты делят на войны доядерного периода и войны в ядерный период. В доядерный период чередование войны и мира было естественным состоянием человечества. В этот период практически все войны были продолжением политики силовым способом. В ядерный период войны выходят за пределы породившей их политики и неизбежно приводят к катастрофическим последствиям для человечества.

В целом все войны специалисты делят на шесть поколений.

Войны рабовладельческого и феодального периодов в истории человечества относятся к войнам первого поколения. Они велись холодным оружием и имели целью уничтожение войск противника. Войны второго поколения связаны с появлением пороха и гладкоствольного оружия. Появление нарезного оружия привело к возникновению войн третьего поколения. Четвертое поколение войн, которые ведутся до сих пор, вызвано принятием на вооружение автоматического оружия, танков, самолетов, мощных транспортных средств и средств связи. Базой войн пятого поколения стало ракетно-ядерное оружие. Первоочередным объектом поражения в этих войнах в отличие от войн предыдущих поколений, где главными объектами поражения являлись вооруженные силы противника, становятся объекты экономики. Областью применения ракетно-ядерного оружия становится вся планета с катастрофическими последствиями для человечества. Продолжение политики силой оружия становится фактически невозможным. Выход из этого практически безвыходного положения связан с появлением обычного высокоточного оружия и оружия на новых физических принципах, открывающих эпоху войн шестого поколения.

Высокоточное оружие представляет собой вид управляемого обычного оружия, вероятность поражения которым с первого пуска малоразмерных целей, находящихся даже на межконтинентальных дальностях, близка к единице в любых условиях обстановки и при активном противодействии противника. Системы высокоточного оружия органически объединяют в себе высокоэффективные средства разведки, управления и поражения. Основу этого оружия составляют крылатые ракеты с осколочно-фугасными, бетонобойными, кассетными, объемно-

детонирующими и другими головными частями. Для увеличения поражающих свойств они снаряжаются взрывчатым веществом повышенной мощности или веществами, обеспечивающими объемный взрыв. Управление высокоточным оружием связано с применением радионавигационных систем на базе искусственных спутников Земли, вычислительных комплексов и устройств самонаведения на источники излучения. Система управления оружием надежно защищена от средств радиоэлектронного противодействия противника. При эксплуатации высокоточного оружия человек практически исключается из процесса «разведка – целеуказание – поражение», что значительно повышает его надежность. Высокоточное оружие может быть наземного, воздушного и морского базирования. В войнах и вооруженных конфликтах будущего будет также применяться оружие, основанное на использовании энергии всех известных форм движения материи – кинетической, акустической, электромагнитной, тепловой, ядерной, энергии элементарных частиц и других.

Считается, что из числа возможных в ближайшем будущем новых видов оружия наибольшую реальную опасность представляют лучевое, радиочастотное, инфразвуковое, радиологическое и геофизическое оружие.

Лучевое оружие представляет собой совокупность устройств (генераторов), поражающее действие которых основано на использовании остронаправленных лучей электромагнитной энергии или концентрированного пучка элементарных частиц, разогнанных до больших скоростей. Один из видов лучевого оружия основан на использовании лазеров, другим его видом является пучковое (ускорительное) оружие. Поражающее действие лазерного оружия достигается в результате нагревания до высоких температур материалов объекта, их расплавления и испарения, повреждения сверхчувствительных элементов, ослепления людей и нанесения им термических поражений. В тумане, при выпадении дождя и снега, а также в условиях задымленности и запыленности атмосферы поражающее действие лазерного луча существенно снижается.

Поражающим фактором ускорительного оружия является высокоточный остронаправленный пучок заряженных или нейтральных частиц (электронов, протонов, нейтронов и др.), разогнанных до больших скоростей. Мощный поток энергии создает на объекте механические ударные нагрузки, интенсивное тепловое воздействие, а также инициирует коротковолновое электромагнитное (рентгеновское) излучение. Применение ускорительного оружия отличается мгновенностью и внезапностью действия, всепогодностью, мгновенностью процессов разрушения (повреждения) и вывода объекта из строя. Боевые комплексы лазерного и ускорительного оружия могут создаваться в вариантах наземного, морского и космического базирования. Применение из космоса

ускорительного оружия может привести к массовому поражению людей и объектов.

Радиочастотным оружием называют средства, поражающее действие которых основано на использовании электромагнитных излучений сверхвысокой или чрезвычайно низкой частоты. Диапазон сверхчастот находится в пределах от 300 мГц до 30 ГГц, а чрезвычайно низких составляет менее 100 Гц. Объектом поражения радиочастотного оружия являются люди, у которых поражаются важнейшие органы и системы (мозг, сердце, центральная нервная система, эндокринная система, система кровообращения), а также психика. Комплексы радиочастотного оружия могут быть наземного, воздушного и космического базирования.

Инфразвуковое оружие представляет собой средства массового поражения, основанные на использовании направленного излучения мощных инфразвуковых колебаний с частотой ниже 16 Гц. Такие колебания воздействуют на центральную нервную систему и пищеварительные органы человека, вызывают головную боль, болевые ощущения во внутренних органах, нарушают ритм дыхания. Инфразвуковое оружие обладает также психотропным действием на человека, вызывает потерю контроля над собой, чувство страха и паники. Для генерирования инфразвука возможно использование реактивных двигателей, снабженных резонаторами и отражателями звука, а также других акустических генераторов.

Радиологическое оружие – вид оружия массового поражения, действие которого основано на использовании боевых радиоактивных веществ (порошков или растворов веществ, содержащих в своем составе радиоактивные изотопы). Основным источником боевых радиоактивных веществ служат отходы, образовавшиеся при работе ядерных реакторов. Следствием действия радиологического оружия на людей является развитие у них лучевой болезни, а также локальное поражение отдельных частей и органов тела. Применение боевых радиоактивных веществ может осуществляться с помощью авиационных бомб, распылительных авиационных приборов, беспилотных самолетов, крылатых ракет и других средств.

Под геофизическим оружием понимают совокупность различных средств, позволяющих использовать в военных целях разрушительные силы природы путем искусственно вызываемых изменений физических свойств и процессов, протекающих в атмосфере, гидросфере и литосфере Земли. Возможные способы активного воздействия на геофизические процессы предусматривают создание в сейсмоопасных районах искусственных землетрясений, мощных приливных волн типа цунами на побережье морей и океанов, ураганов, горных обвалов, снежных лавин, оползней, селевых потоков и т.п. явлений. Действуя на процессы в нижних

слоях атмосферы, можно вызвать обильные осадки или их отсутствие. Воздействие на ионосферу может нарушить радиосвязь и радиолокацию, на озоновый слой привести к губительному действию космических лучей и ультрафиолетового излучения солнца, создание заторов на реках вызвать наводнение и т.д. Для воздействия на природные процессы могут использоваться химические вещества (йодистое серебро, твердая углекислота, карбамид, угольная пыль, соединения брома, фтора и другие), мощные генераторы электромагнитных излучений, тепловые генераторы и другие технические устройства. Однако наиболее эффективным средством воздействия на геофизические процессы является ядерное оружие, применение которого наиболее надежно обеспечивает вышеуказанные эффекты.

Таким образом, например, для вывода из строя обслуживающего персонала ОЭ может быть применено инфразвуковое оружие, доставляемое в больших количествах, в районы расположения объектов с помощью высокоточных крылатых и баллистических ракет с последующим выбрасыванием его на парашютах, просто сбрасыванием на землю или проникновением внутрь объектов. Поражение людей при этом связано с использованием инфранизких частот. Носителями такого оружия могут быть и космические средства.

Массированное применение обычного высокоточного оружия и оружия на новых физических принципах по военным объектам и ОЭ способно парализовать жизнедеятельность любого государства. Применение его способно нанести поражение объектам ядерной энергетики, химической промышленности, системам и технологиям, связанным с высоким риском возникновения катастрофических последствий, за счет возникновения вторичных факторов – пожаров, взрывов, радиоактивного и химического заражения, волн прорыва при разрушении плотин гидроузлов. Действие вторичных факторов способно вызвать экологические, экономические и социальные катастрофы, обеспечить эффективное достижение стратегических результатов и победы в целом.

Как полагают военные теоретики при нанесении ударов по ОЭ в большинстве случаев не будет ставиться задача их полного уничтожения. Воздействию будут подвергаться только их заблаговременно выявленные функциональные элементы, поражение которых прерывает функционирование объекта на определенный промежуток времени. Такими функциональными (критическими для работы ОЭ) элементами электростанций, например, являются машинные залы, силовые энергетические установки, трансформаторные подстанции, парогенераторы. У объектов нефтегазового производства критическими элементами являются электрические и распределительные подстанции, компрессорные, емкости, резервуары и некоторые другие элементы. Как

полагают эксперты, наибольший эффект в поражении экономики достигается при нанесении ударов по объектам атомной энергетики, химического и нефтегазового производства, транспорта, металлургии, машиностроения, системам жизнеобеспечения населения.

В этой связи с появлением высокоточного оружия требуется практически заново решать сложные проблемы обороны государств, защиты их экономики, обеспечения устойчивости объектов на всей их территории. Если эти проблемы не решены, полный разгром всего экономического потенциала государства неизбежен. В войнах и вооруженных конфликтах нового поколения значительно в большей мере возрастает зависимость вооруженных сил воюющих государств от экономических возможностей государства, чем от поражения их противником. Поэтому масштабы вооруженного воздействия по экономике примут настолько значительные размеры, что потребуются заблаговременно проводить мероприятия не только на обороне ОЭ, но и по существенному обеспечению их устойчивости в этих условиях. При этом должна учитываться возможность применения не только обычного высокоточного оружия, но и оружия массового поражения. Ядерное, химическое и биологическое оружие еще долго будет находиться на вооружении ряда стран, особенно обладающих достаточно низким экономическим потенциалом, не позволяющим им создавать и принимать на вооружение обычное высокоточное оружие в необходимом для обороны количестве.

Обеспечение устойчивости экономики государства потребует индивидуального подхода к обеспечению устойчивости каждого ОЭ с использованием, как традиционных мер, так и мер, учитывающих особенности высокоточного оружия – наличия у него систем наведения на объекты, потребности в информации об объекте и местности, состоянии атмосферы, размерах и эффективности отражающей поверхности, рассеянии боеприпасов, их высоте полета, способности огибать рельеф местности, своем местонахождении. Индивидуальный подход потребует использования инженерных средств, имитаторов объектов и их критических элементов, средств маскировки средств изменения контрастности окружающего фона, химических средств дымопуска, аэрозолей, генераторов пенной защиты, средств радиоэлектронного противодействия оружию. В целом это должны быть комплексы пассивных и активных мер по предупреждению, предотвращению и ослаблению поражающих воздействий систем оружия на ОЭ и их критические элементы. Для проверки эффективности проектируемых и осуществляемых комплексов мер могут быть использованы методы математического моделирования и полигонные испытания. Целью обеспечения устойчивости ОЭ при ведении войн шестого поколения, как и ранее, является недопущение повреждений, которые не могут быть

устранены собственными силами объекта, а также создание условий, при которых нарушенное производство может быть восстановлено в приемлемые сроки с учетом того обстоятельства, что войны шестого поколения не будут носить длительный затяжной характер и весь процесс вооруженной борьбы будет протекать скоротечно по законам и правилам, навязываемым сильнейшим, т.е. тем, кто в большей мере подготовлен к ведению таких войн. Полагают, что продолжительность основного этапа войн шестого поколения с применением обычного высокоточного оружия и оружия на новых физических принципах составит около 60 – 90 суток.

Независимо от особенностей ОЭ комплекс мероприятий по обеспечению их устойчивости при ведении войн шестого поколения должен отвечать следующим основным требованиям:

1. Обладать высокой эффективностью.
2. Обеспечивать сохранение ОЭ или недопущение их разрушения выше уровня, позволяющего быстро осуществить восстановление.
3. Соответствовать степени опасности поражающих воздействий, а также значимости объекта в экономике государства.
4. Наносимый объекту ущерб не должен превышать приемлемого ущерба.
5. Учитывать все демаскирующие признаки объекта.
6. Быть автономным, способным обеспечить устойчивость объекта в условиях возможного нарушения энергообеспечения, систем управления и материально-технического снабжения.
7. Осуществляться заблаговременно в соответствии со степенью военной угрозы.
8. Иметь стоимость, необременительную для государства с затратами значительно меньшими предотвращаемого ущерба.

Обеспечение устойчивости ОЭ потребует осуществления индивидуальных, групповых и индивидуально-групповых комплексов мероприятий с использованием средств аэрозольной маскировки, имитации и инженерной маскировки. Полагают, что индивидуальные объектовые комплексы мероприятий должны быть неотъемлемой принадлежностью ОЭ, функционально увязанной частью специальных мероприятий по обеспечению устойчивости экономики государства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заклячая изложение материала, хочется обратить внимание на следующее:

Объекты экономики различны. Одни из них не представляют опасности для окружающей среды, другие потенциально опасны. Под устойчивостью первых понимают их способность противостоять действию внешних поражающих факторов, вторых – не только действию этих факторов, но и возникновению на них аварий и инициируемых ими внутренних поражающих факторов, если авария произошла. Под устойчивостью работы ОЭ в ЧС понимают их способность в условиях ЧС производить продукцию в запланированном объёме и номенклатуре, а также приспособленность к восстановлению частично нарушенного производства в предельно короткие сроки. Таким образом, понятие «устойчивость ОЭ» шире понятия «устойчивость работы ОЭ» и включает последнее. Поэтому в тексте при употреблении понятия «устойчивость ОЭ» одновременно подразумевается и устойчивость его работы в условиях ЧС.

«Устойчивость ОЭ в ЧС» как учебная дисциплина базируется на широком спектре фундаментальных и прикладных дисциплин. Её теоретической основой является теория надёжности технических систем с используемыми ею методами исследования и математическим аппаратом. Однако для решения задач, связанных с обеспечением устойчивости ОЭ в ЧС одной теории надёжности недостаточно. Требуется привлечение методик и аппарата и других технических и гуманитарных наук. Поэтому для изучения дисциплины «Устойчивость ОЭ в ЧС» необходимо наличие хотя бы начальных знаний в области этих дисциплин, что, как правило, достигается не ранее четвёртого курса вуза.

Достаточно полная информация об устойчивости ОЭ может быть получена только при совместном применении детерминированного и вероятностного подходов. В ряде случаев при детерминированной оценке устойчивости к действию некоторых поражающих факторов не обойтись без многокритериального подхода с использованием для её характеристики нескольких пределов устойчивости по этим критериям. Основным критерием достигнутого уровня устойчивости является ущерб, возможный при потенциальных для данного ОЭ ЧС. Основными критериями качества мероприятий, обеспечивающих устойчивость ОЭ, являются- их эффективность и экономичность. Они отражают стремление к достижению максимальных результатов при минимальных затратах.

Обеспечение устойчивости ОЭ в ЧС обеспечивает снижение ущерба и потерь, и одновременно решает задачи защиты производственного персонала объекта, предупреждает или в значительной степени

способствует эффективному ведению аварийно-спасательных и других неотложных работ в возникающих на объекте очагах поражения.

В качестве критерия при оптимизации устойчивости ОЭ может рассматриваться отношение величины предотвращённого ущерба к затратам на её обеспечение.

Рациональный выбор путей, способов и мероприятий по обеспечению устойчивости ОЭ может быть достигнут с использованием метода анализа иерархических структур Т. Саати. Достижение оптимального в данных конкретных условиях уровня устойчивости одновременно определяет и оптимальную величину страхового фонда на случай ЧС.

Достаточность мероприятий по обеспечению устойчивости потенциально опасного объекта экономики, как источника поражающих факторов, характеризует лицензия на право ведения производственной деятельности, получаемая на основе представляемой декларации безопасности.

Справочные материалы, приведённые в пособии и в приложении к нему, позволяют решать практические задачи по оценке устойчивости ОЭ в ЧС.

Пособие подготовлено в соответствии с программой СД.02 образовательного стандарта для студентов специальности 330600. В нём не рассматриваются подробно вопросы, связанные с характеристикой потенциально-опасных технологий и производств, а также прогнозированием воздействия поражающих факторов, которые решением кафедры «Управление и защита в ЧС» СПбГТУ отнесены к ведению других специальных дисциплин.

Ряд излагаемых в пособии вопросов опробирован при чтении лекций и проведении практических занятий со студентами специальности «Безопасность жизнедеятельности», а методика оценки ущерба – при выполнении курсовых работ студентами всех специальностей факультета экономики и менеджмента СПбГТУ.

Приложение 1.

**Типовой комплекс мероприятий, осуществляемых заблаговременно
в целях повышения устойчивости ОЭ в ЧС.**

<p>Защита производственного персонала</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Создание и поддержание в готовности систем оповещения об опасности. 2. Накопление фонда защитных сооружений, средств индивидуальной и медицинской защиты и поддержание их в готовности. Планирование эвакуационных мероприятий. 4. Разработка режимов радиационной защиты. 5. Обучение персонала способам защиты и действиям в условиях ЧС. 6. Оборудование зданий системами вентиляции с установкой противопыльных фильтров. 7. Максимальное сокращение АХОВ и размещение их в подземных складах. 8. Применение устройств, исключающих разлив АХОВ на территории ОЭ 9. Проектирование очистных сооружений с учетом обеззараживания воды для хозяйственно-бытовых и производственных нужд. 10. Приспособление душевых в качестве санитарно-обмывочных пунктов. 11. Проектирование технологического оборудования с учетом возможности его использования при проведении специальной обработки ОЭ. 12. Создание запасов дезактивирующих, дегазирующих и дезинфицирующих веществ. <p>Создание запаса материалов для укрытия продуктов питания, воды и технологического оборудования от заражения.</p>	<p>Подготовка к быстрому восстановлению нарушенного производства</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка технической, технологической и другой необходимой документации и ее надежное хранение. 2. Создание запасов материальных средств. 3. Составление расчета сил и средств, необходимых для проведения восстановительных работ и восполнения потерь в рабочей силе и оборудовании. 4. Определение очередности работ по восстановлению производства с учетом имеющихся ресурсов и местных условий. 5. Осуществление страхования на случай чрезвычайных ситуаций.
---	--



Повышение устойчивости ОПФ

а) к действию механических поражающих факторов.

Здания и сооружения

- Применение жестких каркасных конструкций с легким заполнением стен.
- Применение мер по увеличению сейсмостойкости.
- Уменьшение высоты и площади стен.
- Вынос взрывоопасных технологических установок за пределы зданий.
- Установка во взрывоопасных помещениях устройств локализирующих взрыв.
- Установка дополнительных опор в больших пролетах.

Технологическое оборудование

1. Рациональное размещение оборудования в цехах: тяжелого - на нижних, наиболее ценного в заглубленных этажах.
2. Установка тяжелого оборудования на самостоятельных фундаментах, не связанных со зданием.
3. Изготовление приспособлений для защиты особо ценного и ударопрочного оборудования.
4. Обеспечение возможности маневрирования оборудованием на однотипных технологических линиях.
5. Создание запаса комплектующих изделий из наиболее слабых узлов и деталей оборудования.
6. Разработка мероприятий по упрощению технологического процесска при выходе из строя отдельного оборудования.
7. Дублирование автоматических систем и обеспечение возможности выполнения отдельных операций вручную.
8. Внедрение систем безаварийной останковки технологических установок с непрерывным процессом.

Технологические и инженерные сети

1. Заглубление сетей в грунт и прокладка их в подземных коллекторах.
2. Размещение сетей на низких эстакадах.
3. Увеличение прочности открытых трубопроводов путем установки хомутов, соединяющих их в один пучок.
4. Применение закольцованных схем прокладки коммуникаций с установкой запорной арматуры в заглубленных сооружениях.
5. Устройство аварийных сбросов канализации в случае аварии в специальные приемники.



б) Пожарам

1. Уменьшение плотности застройки территории ОЭ.
2. Повышение огнестойкости зданий.
3. Хранение пожароопасных продуктов в подземных складах и транспортирование их по подземным коммуникациям.
4. Размещение легковоспламеняющихся веществ с учетом направления господствующих ветров.
5. Внедрение автоматических систем обнаружения, сигнализации и тушения пожаров.
6. Создание сил и средств пожаротушения
7. Установка на газопроводах автоматических запорных и переключающих устройств с дистанционным управлением.
8. Создание сети противопожарных ведомств и гидрантов.
9. Соблюдение требований пожарной безопасности.

Устойчивость ОЭ

Повышение устойчивости энергоснабжения.	Повышение устойчивости системы материально-технического обеспечения.	Повышение устойчивости системы управления.
<ol style="list-style-type: none"> 1. Использование нескольких источников энергоснабжения, в том числе автономных. 2. Дублирование вводов при подаче энергии. 3. Кольцевание систем энергоснабжения. 4. Устройство обводных линий и перемычек, позволяющих отключить поврежденные участки. 5. Подземная прокладка сетей или на низких эстакадах. 6. Создание запаса энергоносителей и хранение их в подземных складах. 7. Подготовка резервных источников энергии к работе на различных видах энергоносителей. 	<ol style="list-style-type: none"> 1.Снабжение ОЭ несколькими поставщиками, расположенными в разных регионах. 2. Подготовка запасных вариантов производственных связей. 3. Обеспечение возможности замены привозных материалов местными. 4. Дублирование путей доставки сырья, материалов и комплектующих изделий. 5. Создание запасов сырья, материалов, комплектующих изделий, оборудования. 6. Обеспечение рассредоточенного и надежного хранения запасов на складах, расположенных в разных районах. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Подготовка защищенного пункта управления на территории ОЭ и резервного пункта за его пределами. 2. Подготовк оперативной группы для управления ОЭ с резервного пункта управления. 3. Оснащение пункта управления средствами связи и автономными источниками электропитания. 4. Использование автоматизированных систем управления. 5. Дублирование средств связи и создание их подвижного резерва. 6. Разработка и внедрение надежной системы оповещения руководящего состава ОЭ. 7. Изготовление и надежное хранение дубликатов технической документации
↓	↓	↓
Устойчивость ОЭ		

Приложение 2.

"Утверждаю"
Начальник гражданской
обороны ОЭ

"__" _____ 20 г.

План-график наращивания мероприятий по повышению устойчивости
ОЭ в ЧС

Наименование мероприятий	Время выполнения															
	Часы										Сутки					
	1	2	4	6	9	12	16	20	24	2	3	4	6	8	10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
<u>I. По защите производственного персонала.</u> 1. Приведение в готовность защитных сооружений 2. Строительство быстровозводимых убежищ 3. Строительство простейших укрытий 4. Выдача средств индивидуальной защиты 5. Проведение эвакуационных мероприятий и т.д.																
<u>II. По повышению устойчивости основных производственных фондов.</u> 1. Установка _____ дополнительных опор в зданиях цехов. 2. <u>Дополнительное</u> крепление станочного оборудования. 3. <u>Изготовление и монтаж</u> защитных устройств для уникального оборудования и т.д.																
<u>III. По повышению противопожарной устойчивости .</u> 1. <u>Снос</u> деревянных построек. 2. <u>Обвал</u> ование склада ГСМ. 3. Расконсервация артезианской скважины и т.д.																

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<p><u>IV. По повышению устойчивости энергоснабжения.</u></p> <p>1. Защита наземных сооружений энергосистем. 2. Обсыпка грунтом наземных линий энергосистем. 3. Усиление креплений трубопроводов на эстакадах. 4. Заполнение хранилища сжиженного газа. 5. Подготовка к работе дизельной электростанции и т.д.</p>															
<p><u>V. По повышению устойчивости материально-технического снабжения.</u></p> <p>1. Пополнение запасов материально-технических ресурсов. 2. Уточнение кооперативных связей с поставщиками. 3. Установление связей с резервными потребителями готовой продукции. 4. Рассредоточение запасов материальных ресурсов. 5. Повышение защищенности складов на территории ОЭ и т.д.</p>															
<p><u>VI. По повышению устойчивости системы управления объектом.</u></p> <p>1. Приведение в готовность групп управления 2. Приведение в готовность пунктов управления. 3. Проверка систем оповещения и связи. 4. Приведение в готовность автономных источников электропитания. 5. Укрытие технической документации и т.д.</p>															

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<u>VII. По подготовке к восстановлению нарушенного производства.</u> 1. Проверка и пополнение восстановительных бригад. 2. Проверка и пополнение материально-технических ресурсов. 3. Укрытие запасного оборудования и т.д.															

Главный инженер ОЭ

Начальник штаба (отдела) ГО

« » _____ 20 г.

« » _____ 20 г.

Приложение 3.

Цены, нормативы и некоторые технические характеристики средств, применяемых для ведения АС и ДНР.

Все ценовые показатели приводятся в ценах 1998г. Переход к ценам любого другого года осуществляется с использованием индекса инфляции, определяемого с использованием официальной методики. Относительная величина ущерба при разрушениях зданий, технологического оборудования, коммунально-энергетических сетей и оборотных средств:

слабых – 0,1 ... 0,15;

средних – 0,3 ... 0,4;

сильных – 0,5 ... 0,7;

полных – 1,0.

Нормы выработки на одного рабочего в год при проведении восстановительных работ:

восстановлении зданий и сооружений $P_3 = 275 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{чел.год}}$;

восстановлении технологического оборудования $P_{то} = 300 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{чел.год}}$;

восстановлении КЭС $P_{кэс} = 250 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{чел.год}}$.

Нормативное количество человек в разведывательном дозоре - $n^1 = (2...3)$ чел.

Нормативное количество зданий, осматриваемых дозором за 1 час работы – $N_{пз}^1 = 1..2$.

Время проведения первичной разведки очага поражения, равное времени приведения в готовность сводной команды $t = 6$ ч.

Нормативное время отключения разрушенного участка внутридомовых сетей водо, газо, тепло и электроснабжения со вскрытием колодцев, закрыванием задвижек, выключением рубильников и разборкой завалов высотой (1...2)м аварийной группой из 4-х человек - $t_0 = (1,5 ... 3) \frac{\text{ч}}{\text{уч}}$.

Расчетная продолжительность тушения пожара на промышленном предприятии - $t_{пп} = 3$ ч.

Численность экипажа пожарной машины (АЦ-30) - $n_э = 7$ чел.

Норматив времени, необходимый для откопки одного пострадавшего путем разборки завала сверху спасательным звеном численностью 6 чел. при высоте завала 1 м - $N_{un} = (2...2,5) \frac{\text{ч}}{\text{чел}}$.

Норма амортизации технических средств (бульдозера, экскаватора, автосамосвала, пожарной машины, машины скорой помощи) - $N_{a_i} = 10 \frac{\%}{\text{год}}$.

Производительность экскаватора – $P_{\text{э}} = (6 \dots 11) \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$

($P_{\text{э}} \cong 16q_{\text{к}}$, где $q_{\text{к}}$ - объем ковша).

Производительность бульдозера - $P_{\text{б}} = 200 \frac{\text{н.м}}{\text{ч}}$.

Производительность насоса пожарного автомобиля (расход воды при тушении пожара) - $P_{\text{пм}} = (20 \dots 40) \frac{\text{л}}{\text{с}}$.

Производительность мотопомпы (МП-600А) - $P_{\text{пм}} = 40 \frac{\text{л}}{\text{с}}$.

Расход горючего экскаватором - $q_{\text{э}} = (7 \dots 15) \frac{\text{л}}{\text{ч}}$.

Расход горючего бульдозером - $q_{\text{б}} = 6 \frac{\text{л}}{\text{ч}}$.

Расход горючего автосамосвалом - $q_{\text{ас}} = (6 \dots 8) \frac{\text{л}}{\text{ч}}$.

Расход горючего пожарным автомобилем при тушении пожара - $q_{\text{пм}} = 18 \frac{\text{л}}{\text{ч}}$.

Расход горючего машиной скорой помощи - $q_{\text{м}} = 0,16 \frac{\text{л}}{\text{км}}$.

Расход горючего мотопомпой (МП-600А) - $q_{\text{мп}} = 6,8 \frac{\text{л}}{\text{ч}}$.

Первоначальная стоимость экскаватора - $C_{\text{э}} = 140$ тыс. руб.

Первоначальная стоимость бульдозера - $C_{\text{б}} = 90$ тыс. руб.

Первоначальная стоимость автосамосвала - $C_{\text{ас}} = 80$ тыс. руб.

Первоначальная стоимость пожарного автомобиля - $C_{\text{пм}} = 120$ тыс. руб.

Первоначальная стоимость машины скорой помощи - $C_{\text{м}} = 100$ тыс. руб.

Первоначальная стоимость мотопомпы (МП-600А) - $C_{\text{мп}} = 4,05$ тыс. руб.

Цена бензина А-92 - $C_{\text{Г}}^{\text{л}} = 2,1 \frac{\text{руб}}{\text{л}}$.

Цена бензина А-72 - $C_{\text{Г}}^{\text{л}} = 1,7 \frac{\text{руб}}{\text{л}}$.

Цена дизельного топлива - $C_{\text{Г}}^{\text{л}} = 1,5 \frac{\text{руб}}{\text{л}}$.

Средняя цена смазочных материалов - $C_{\text{см}}^{\text{л}} = 20 \frac{\text{руб}}{\text{л}}$.

Цена воды - $C_{\text{В}}^{\text{л}} = 0,002 \frac{\text{руб}}{\text{л}}$.

Цена ВВ (аммонит №6 ЖВ) - $C_{\text{ВВ}}^{\text{т}} = 1575 \frac{\text{руб}}{\text{т}}$.

Цена элетродетонаторов мгновенного действия - $C_{\delta}^I = (0,45 \dots 0,6) \frac{\text{руб}}{\text{шт}}$.

Цена провода для электровзрывной сети - $C_{II}^I = 0,5 \frac{\text{руб}}{\text{м}}$.

Цена гражданского противогаса ГП-7 - $C_{II}^I = 170 \frac{\text{руб}}{\text{шт}}$.

Цена изолирующего противогаса ИП-4 - $C_{III}^I = 297,5 \frac{\text{руб}}{\text{шт}}$.

Цена респиратора Р-2 - $C_P^I = 7,5 \frac{\text{руб}}{\text{шт}}$.

Цена защитного костюма Л-1 - $C_K^I = 500 \frac{\text{руб}}{\text{шт}}$.

Цена защитной фильтрующей одежды ЗФО - $C_{зфо}^I = 180,5 \frac{\text{руб}}{\text{шт}}$.

Цена дезактивирующего раствора $C_{др}^I$:

0,15% порошка СФ-2У – $0,008 \frac{\text{руб}}{\text{л}}$.

4,0% порошка СФ-2У – $0,2 \frac{\text{руб}}{\text{л}}$.

Стоимость дня лечения в лечебном учреждении - $C_{лд} = (100 \dots 200) \frac{\text{руб}}{\text{сут}}$.

Стоимость лекарств - $C_{лек} = 20 \frac{\text{руб}}{\text{сут}}$.

Стоимость питания в лечебном учреждении $C_n = 22 \frac{\text{руб}}{\text{сут}}$.

Компенсация за моральный ущерб - $C_n = 0,1 C_{зн_{\Sigma}}$, где $C_{зн_{\Sigma}}$ - суммарная заработная плата за время утраты трудоспособности.

Укрупненные показатели.

Стоимость часа работы разведывательного звена - $R_p = 12,5$ руб.

Стоимость расчистки погонного метра завала - $R_{yn} = 0,7$ руб.

Стоимость отключения поврежденного участка КЭС - $R_0 = 50$ руб.

Стоимость тушения пожара на 1 м^2 площади - $R_{mn} = 0,8$ руб.

Стоимость эвакуации пострадавшего в лечебное учреждение, расположенное в 10 км от очага поражения - $R_{э} = 12,8$ руб.

Стоимость откачивания 1 м^3 воды из затопленного подвального помещения - $R_{ов} = 0,6$ руб.

Стоимость обрушения взрывом 1 пог.м. стены поврежденного здания - $R_{обр} = 12,5$ руб.

Стоимость уборки 1 м^3 завала $R_z = 22$ руб.

Стоимость извлечения пострадавшего из-под завала – $R_{ин} = 63$ руб.

Приложение 4.

**Ориентировочные нормы времени и расхода веществ при
проведении работ по обеззараживанию объектов.**

Наименование работ	Объем работ	Способ обработки	Применяемая рецептура (раствор)	Норма расхода	Время обработки (мин)	Необходимые силы и средства	
1	2	3	4	5	6	7	
Дезактивация местности	10 м ²	Срезание грунта вручную	-	-	60	5 чел.	
Дезактивация грунтовых дорог	1 км (полоса 8м)	Срезание грунта	-	-	20...30	Бульдозер, 1 чел.	
Дезактивация дорог с твердым покрытием	1 км (полоса дороги 4,5м)	Смывание	вода	$1 \frac{\text{л}}{\text{м}^2}$	10...13	Поливомоечная машина, 1 чел.	
Дезактивация оборудования, зданий и сооружений		Смывание струей	вода	$10 \frac{\text{л}}{\text{м}^2}$	$2 \frac{\text{м}^2}{\text{мин}}$	Пожарная машина, 1 чел.	
			вода	$3 \frac{\text{л}}{\text{м}^2}$	$1 \frac{\text{м}^2}{\text{мин}}$	— // —	
		Обработка щетками	0,15% раствор СФ-2У	1,5 $\frac{\text{л}}{\text{м}^2}$	— // —	— // —	
Дезактивация транспортных средств	Грузовой автомобиль	— // —	— // —	(90..100)л	60...80	1 чел	
		Смывание струей	вода	(150...300)л	24...30	1 чел	
	Легковой автомобиль	Обработка щетками	0,15% раствор СФ-2У	40л	25	1 чел	
		Смывание струей	вода	100л	15	1 чел	
	Автокран	— // —	— // —	— // —	(250...300)л	25...30	1 чел
		Обработка щетками	0,15% раствор СФ-2У	100л	50	1 чел	
		Трактор, бульдозер гусеничный	— // —	— // —	100л	60...90	1 чел
	Смывание струей	вода	100л	30	1 чел		

Дезактивация, дегазация и дезинфекция средств	Лицевая часть протиивогаза	Обтирание ветошью	0,15% раствор СФ-2У, растворы №1 и 2ащ.	(3...4) л	$0,5 \frac{м^2}{мин}$	1 чел
	Резиновые сапоги	— // —	— // —	(6...8) л	— // —	1 чел
	Защитная одежда	— // —	— // —	(15...18)л	— // —	1 чел
Дегазация и дезинфекция территории	1 м ²	Рассыпание	Сухая хлорная известь и ДТС ГК	(0,5...1)кг	$1600 \frac{м^2}{мин}$	Пескоразбрызгиватель, 1 чел
		Разбрызгивание	Водная суспензия хлорной извести	(1...2) л	1,0	Поливомоечная машина, 1 чел
Дегазация и дезинфекция зданий и сооружений, оборудования	1 м ²	Обработка щетками	Дегазир. раствор №1	(0,5...0,6)л	$1 \frac{м^2}{мин}$	1 чел
		— // —	Дегазир. раствор №2 ащ	(0,5...0,6)л	— // —	— // —
Дегазация и дезинфекция транспортных средств	Грузовой автомобиль	Протирка щетками	Дегазир. раствор №1 и 2ащ	(15...17)л	30...40	1 чел
	Трактор, бульдозер (гусеничный)	— // —	— // —	(20...22)л	30...40	1 чел
Санитарная обработка людей	2 чел.	Душ	Вода с мыоом	$45 \frac{л}{чел}$, $40 \frac{г}{чел}$	15	
Частичная дезактивация	Автомобиль	Обработка щетками	Вода	(90...100)л	60	1 чел
	Инженерная машина	— // —	— // —	(150...160)л	90	1 чел

Примечание:

1. В нормы не включено время, затрачиваемое на подготовку оьктов к обработке (удаление грязи, герметизации и другие работы), а также на чистку и смывку их после обработки.

2. Нормы приведены с учетом работы в средствах индивидуальной защиты.

Приложение 5.

Стоимость работ по обеззараживанию объектов

Дезактивация местности срезанием грунта вручную – $2,5 \frac{\text{руб}}{\text{м}^2}$.

Дезактивация грунтовых дорог срезанием грунта бульдозером – $1,25 \cdot 10^{-3} \frac{\text{руб}}{\text{м}^2}$.

Дезактивация дорог с твердым покрытием смыванием РВ струей воды с использованием поливочной или пожарной машины – $0,005 \frac{\text{руб}}{\text{м}^2}$.

Дезактивация, дегазация и дезинфекция зданий, сооружений и оборудования с использованием пожарной машины:

смыванием РВ струей воды – $0,07 \frac{\text{руб}}{\text{м}^2}$,

обработкой щетками с использованием 0,15% раствора СФ-2У (дегазирующих растворов №1 и №2) $0,12 \frac{\text{руб}}{\text{м}^2}$,

обработкой щетками с использованием воды – $0,11 \frac{\text{руб}}{\text{м}^2}$.

Дезактивация транспортных средств:

грузовых автомобилей: струей воды – $3,1 \frac{\text{руб}}{\text{ед}}$,

обработкой щетками с 0,15% раствором СФ-2У – $7,45 \frac{\text{руб}}{\text{ед}}$,

легковых автомобилей: струей воды – $1,45 \frac{\text{руб}}{\text{ед}}$,

обработкой щетками с 0,15% раствором СФ-2У – $2,3 \frac{\text{руб}}{\text{ед}}$,

автокранов: струей воды – $3,1 \frac{\text{руб}}{\text{ед}}$,

обработкой щетками с 0,15% раствором СФ-2У – $5,0 \frac{\text{руб}}{\text{ед}}$,

тракторов (бульдозеров): струей воды – $4,5 \frac{\text{руб}}{\text{ед}}$,

обработкой щетками с 0,15% раствором СФ-2У – $8,3 \frac{\text{руб}}{\text{ед}}$.

Дезактивация, дегазация и дезинфекция СИЗ обтиранием ветошью с использованием 0,15% раствора СФ-2У и дегазирующих растворов №1 и 2:

лицевой части противогаза – $0,05 \frac{\text{руб}}{\text{ед}}$,

резиновых сапог – $0,1 \frac{\text{руб}}{\text{пара}}$,

защитной одежды – $0,23 \frac{\text{руб}}{\text{компл.}}$.

Дегазация и дезинфекция территории:

Рассыпанием сухой хлорной извести пескоразбрасывателем – $0,6 \frac{\text{руб}}{\text{м}^2}$, разбрызгиванием водной суспензии хлорной извести поливочной машиной – $0,25 \frac{\text{руб}}{\text{м}^2}$.

Дегазация и дезинфекция транспортных средств:

грузовых автомобилей протиркой щетками с использованием

дегазирующих растворов №1 и 2 – $26,5 \frac{\text{руб}}{\text{ед}}$.

тракторов (бульдозеров) ” — - $34,5 \frac{\text{руб}}{\text{ед}}$.

Санитарная обработка людей помывкой в душе – $1 \frac{\text{руб}}{\text{чел}}$.

Частичная дезактивация: автомобилей – $5,2 \frac{\text{руб}}{\text{ед}}$,

инженерной техники - $7,8 \frac{\text{руб}}{\text{ед}}$.

Примечание.

В стоимость работ не включены затраты, связанные с оборудованием мест их проведения, подготовкой объектов обработки к обеззараживанию, сбором зараженных отходов и их захоронением.

Литература.

1. Порфирьев Б.Н. Организация управления в чрезвычайных ситуациях. М. Знание. 1989.
2. Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности. М. Высшая школа. 1985.
3. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М. Сов. Радио. 1975.
4. Справочник по гражданской обороне. М. Воениздат. 1978.
5. Методика определения объемов, потребных сил, средств и времени для выполнения ремонтно-восстановительных работ в отраслях промышленности и строительства. М. НИИ ГО СССР. 1979.
6. Величко К.Ф. и др. Оценка устойчивости работы объектов и систем народного хозяйства. М. МИФИ. 1984.
7. Четверкин Н.С. Устойчивость работы промышленных объектов в военное время. М. Завод-ВТУЗ при ЗИЛ. 1987.
8. Шубин Е.П. и др. Гражданская оборона. М. Просвещение. 1991.
9. Атаманюк В.Г. Гражданская оборона. М. Просвещение. 1991.
10. Балаев А.С. и др. Борьба с пожарами на объектах народного хозяйства в условиях ядерного поражения. М. Воениздат. 1973.
11. Нормы радиационной безопасности, НРБ-99. М. 1999
12. Методика прогнозирования объемов СНАВР и необходимых сил и средств для их выполнения на промышленных предприятиях. М. НИИ ГО СССР. 1979.
13. Самойлов О.Б. и др. Безопасность ядерных энергетических установок. М. Энергоатомиздат. 1989.
14. Под ред. Ачеркана Н.С. Справочник машиностроителя. М. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. 1960.
15. Анго А. Математика для электро и радиоинженеров. М. Наука. 1965.
16. Щиголев Б.М. Математическая обработка наблюдений. М. Наука. 1969.
17. Прохоров Ю.В., Розанов Ю.А. Теория вероятностей. М. Наука. 1973.
18. Вихров А.И. и др. Безопасность, риск и устойчивость сложных систем. Сб. Проблемы безопасности при ЧС. Вып. 3. М. ВИНТИ. 1999.
19. Акимов В.А. и др. Долгосрочное прогнозирование катастроф, инициированных природными явлениями. Сб. Проблемы безопасности при ЧС. Вып. 3. М. ВИНТИ. 1999.
20. Стрекозов В.И. и др. Методический подход к обоснованию структуры защиты потенциально-опасных объектов в условиях ЧС. Сб. Проблемы безопасности при ЧС. Вып. 3. М. ВИНТИ. 1999.
21. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М. Радио и связь. 1993.

22. Хенли Э.Д., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. М. Машиностроение. 1981.
23. Митенков Ф.М., Авербах Б.А. Вероятностный анализ безопасности ЯЭУ, его роль и место в практике проектирования. М. Атомная энергия. Вып. 2. т.72. 1992.
24. Баратов А.Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочное издание в 2-х томах. М. Химия. 1990.
25. Назаренко Е.С., Казанцев В.А. Пожарная безопасность деревообрабатывающих предприятий. М. Лесная промышленность. 1990.
26. Туричин А.М. и др. Электрические измерения неэлектрических величин. М. Энергия. 1975.
27. Гинзбург В.М. и др. Голография. Методы и аппаратура. М. Советское радио. 1974.
28. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте, РД 5204.253-90. Л. Гидрометеиздат. 1991.
29. Кожара В.И. и др. Химическое заражение окружающей среды в чрезвычайных ситуациях мирного времени. С.П. СПбГТУ. 1998.
30. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. М. Госкомитет по стандартам. 1991.
31. Яковлев В.В., Яковлев А.В. Последствия аварийных взрывов газопаровоздушных смесей. С.П. СПбГТУ. 2000.
32. Храмов Г.Н. Техногенные взрывы. С.П. СПбГТУ. 1998.
33. Алексеев М.В. и др. Основы пожарной безопасности. М. Высшая школа. 1971.
34. Таубкин И.С. Экспертный анализ нормативно-технических документов, регламентирующих пожаровзрывобезопасность автомобильных сливно-наливных эстакад, и предложения по их совершенствованию. Сб. Проблемы безопасности при ЧС. Вып. 11. М. ВИНТИ. 1998.
35. Строительные нормы и правила СНиП 21.01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений. М. 1996.
36. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной опасности. НП 105-95 М. 1995.
37. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М. Энергия. 1977.
38. Авдурский В.С. и др. Основы теплопередачи в авиационной и ракетной технике. М. Оборонгиз. 1960.
39. Калитаев А.Н. и др. Защита от оружия массового поражения. М. Военное издательство. 1989.
40. Иванов Е.Н. Расчет и проектирование систем противопожарной защиты. М. Химия. 1990.
41. Кутузов Б.Н. Взрывные работы. М. Недра. 1974.

42. Кулаков В.А. Ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций. С.П. СПбГТУ, 1999.
43. Закон РФ О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера 11.11.1994.
44. Закон РФ. О безопасности.
45. Закон РФ. Об обороне.
46. Закон РФ. О промышленной безопасности опасных производственных объектов. 27.7.1997.
47. Закон РФ. О гражданской обороне. № 28-ФЗ. 12.2. 1998.
48. Закон РФ. О радиационной безопасности населения. №3-ФЗ. 9.1.19967.
49. Закон РФ. О безопасности гидротехнических сооружений. №117-ФЗ. 21.7. 1997.
50. Постановление Правительства РФ. О декларации безопасности промышленного объекта РФ №675.1.7.1995.
51. Постановление Правительства РФ. О порядке разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий. №93.28 01.1997.
52. Постановление Правительства РФ. О порядке эксплуатации водохранилищ. № 762.20.6.1997.
53. Постановление Правительства РФ. О лицензировании деятельности в области использования атомной энергии. № 865.14.7.1997.
54. Строительные нормы и правила СНиП11-0151-90. М. ЦИТП. 1990.
55. Справочник строительного мастера. М. Госиздат по архитектуре.
56. Цивелев И.П. и др. Инженерно-спасательные работы. Воениздат. 1975.
57. Камеррер Ю.Ю, Харкевич А.Е. Аварийные работы в очагах поражения. М. Воениздат. 1980.
58. Строительные нормы и правила СНиП11-3-79 ч.11 гл.3 Строительная теплотехника. М. Госкомитет по делам строительства. 1986.
59. Действие ядерного оружия. Пер. с англ. М. Воениздат. 1963.
60. Маршалл В. Основные опасности химических производств. М. Мир. 1989.
61. Васильев В.И. Оценка ущерба при чрезвычайных ситуациях. С.П. СПбГТУ. 1999.
62. Васильев В.И. Оценка ущерба при чрезвычайных ситуациях. Методические указания по выполнению курсовой работы студентами ФЭМ. С.П. СПбГТУ. 1999.
63. Яковлев В.В. Прикладные аспекты теории надежности технических систем. С.П. СПбГТУ. 2000.
64. Пособие по повышению устойчивости работы объектов и отраслей промышленности в ракетно-ядерной войне. М. Воениздат. 1972.
65. Оценка уязвимости и мероприятия по повышению устойчивости промышленных объектов. М. Воениздат. 1972.

66. Демиденко Г.П. и др. Повышение устойчивости работы объектов народного хозяйства в военное время. Киев. Вища школа. 1984.
67. Баранов А.А. Обеспечение устойчивости работы объектов народного хозяйства в военное время. М. Атомиздат. 1970.
68. Жеребин Д.С. и др. Повышение устойчивости работы объектов и отраслей народного хозяйства в военное время. М. Атомиздат. 1970.
69. Постановление ВС РФ “Об утверждении Правил возмещения работодателями вреда, причиненного работникам увечьем, профессиональным заболеванием либо иным повреждением здоровья, связанным с исполнением ими трудовых обязанностей” № 4214 от 24.12.1992 г. Ведомости Съезда народных депутатов РСФСР и Верховного Совета РСФСР №2 14.01.1993.
70. Закон РСФСР “О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС”. 15.5.1991г. Ведомости Съезда народных депутатов РСФСР и Верховного Совета РСФСР № 21 23.5.1991г.
71. Закон РФ “О страховании” №4015-1 27.11.1992г. Ведомости Съезда народных депутатов РСФСР и Верховного Совета РСФСР №2 14.1.1993г.