

ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Т.Г. ШЕВЧЕНКО
Кафедра безопасности жизнедеятельности
и основ медицинских знаний

ОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЗАЩИТА ОТ НИХ

*Учебно-методическое пособие
по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»
для студентов инженерно-технических,
архитектурно-строительных и специалистов
аграрно-технологических специальностей
всех форм обучения университета*

Тирасполь, 2007

УДК 623.936: 355.02 (07) (075.8)
ББК 68. 9р30А73
О-60

Опасности технических систем и защита от них по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»: Учебно-методическое пособие / Составитель Огнева Т.В. – Тирасполь, 2007.

Учебно-методическое пособие содержит основные вопросы безопасной эксплуатации технических систем: качественный и количественный анализ опасностей; требований безопасного функционирования технических систем на стадии проектирования, создания и эксплуатации; защита человека от негативного воздействия технических систем (систем повышенного давления, электрооборудования и др.). Объём и содержание тем даёт возможность более осознанно обучиться способам и средствам защиты от негативных факторов технических систем, совершенствование практических навыков эксплуатации производственного оборудования.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов инженерно-технических, архитектурно-строительных и специалистов аграрно-технологических специальностей всех форм обучения, преподавателям, может быть полезно всем интересующимся проблемами безопасной эксплуатации технических систем в окружающей среде (производственной, городской и в быту).

Составитель:

Т.В. Огнева, ст. преподаватель каф. «БЖД и ОМЗ»

Рецензенты:

Д.Д. Костович, доцент, зав. кафедрой «БЖД и ОМЗ»

В.Б. Мельник, подполковник, нач. штаба ГЗ г. Тирасполь.

Рекомендовано к публикации Научно-методическим советом ПГУ им. Т.Г. Шевченко. Протокол № 8 от 04.04.2007 г.

Учебное издание

ОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЗАЩИТА ОТ НИХ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

Компьютерная верстка *Дяговец Е.В.*

Подписано в печать 10.04.2004.
Формат 6090/16. Уч.-изд. л. 7,0. Тираж 100 экз.

ВВЕДЕНИЕ

Безопасность жизнедеятельности – наука о комфортном и безопасном взаимодействии человека с техносферой. Основная цель безопасности жизнедеятельности как науки – защита человека в техносфере от негативных воздействий антропогенного, техногенного и естественного происхождения и достижения комфортных условий жизнедеятельности.

Прогресс в сфере производства в период научно-технической революции сопровождался и сопровождается в настоящее время ростом числа и энергетического уровня травмирующих и вредных факторов производственной среды. Так, использование прогрессивных способов плазменной обработки материалов потребовало средств защиты работающих от токсичных аэрозолей, воздействия электромагнитного поля, повышенного шума, электрических сетей высокого напряжения. Создание двигателей внутреннего сгорания решило транспортные проблемы, но одновременно привело к повышенному травматизму на дорогах, породило решаемые задачи по защите человека и природной среды от токсичных выбросов от автомобилей (отработавших газов, масел, продуктов износа шин и др.).

Таким образом, стремление человека к достижению высокой производительности своей деятельности, комфорта и личной безопасности в интенсивно развивающейся техносфере сопровождается увеличением числа задач, решаемых в системе «безопасность жизнедеятельности человека».

По мнению академика Н.Н. Моисеева, «человечество ступило в новую эру своего существования, когда потенциальная мощь создаваемых им средств воздействий на среду обитания становится соизмеримой с могучими силами природы планеты. Это внушает не только гордость, но и опасение, ибо чревато последствиями, которые могут привести к уничтожению цивилизации и даже всего живого на Земле».

Анализ опасностей делает предсказуемыми опасное и вредное воздействие технических систем, и, следовательно, его можно предотвратить соответствующими мерами.

Анализ опасностей описывает их качественно и количественно и заканчивается планированием предупредительных мероприятий. Ни одно производство не обходится без использования систем повышенного давления, электроснабжения и электроустановок и они всегда представляют потенциальную опасность. В данном учебно-методическом пособии указываются средства снижения травматичности технических систем на стадии проектирования, создания и эксплуатации.

Глава 1

ОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ: ОТКАЗ, ВЕРОЯТНОСТЬ ОТКАЗА, КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ

1.1. ПРЕДМЕТ АНАЛИЗА ОПАСНОСТЕЙ

Объектом анализа опасностей является система «человек – машина – окружающая среда (ЧМС)», в которой в единый комплекс, предназначенный для выполнения определенных функций, объединены технические объекты, люди и окружающая среда, взаимодействующие друг с другом. Основными компонентами такой системы являются человек, машина, среда, а сложные процессы, происходящие между основными компонентами, нуждаются в управлении.

Из принципа иерархичности управления следует, что система ЧМС является многоуровневой, а при переходе от одного уровня к другому компоненты системы ЧМС должны претерпевать изменения. Иерархия делит людей как бы на «человека», который формулирует задачу, организует, управляет, и «человека», который совместно с техникой образует компонент «машина», непосредственно осуществляющий замысел. Иначе говоря, человек системы ЧМС более высокого уровня (рис. 1.1) рассматривает людей и технику системы ЧМС более низкого уровня как единый компонент – своеобразную человеко-машину, предназначенную для выполнения определенных функций.

В компонент «среда» в общем случае могут входить люди, не входящие в подсистему «человек – машина», с искусственной средой их жизнедеятельности, про-



Рис 1.1. Схематичное изображение системы ЧМС: Ч-человек; М-машина; С- среда; ОС-обратная связь; УД управляющие действия

изводственная среда (техническая, социальная и т. д.), окружающая среда (например, часть «чистой» природы – естественной среды обитания человека).

Кроме уровней и компонентов, в системе ЧМС целесообразно выделить отдельные стадии жизненного цикла. Для простоты можно ограничиться следующими из них:

- стадия проектирования, когда определяются задачи, формируются требования, рассчитываются параметры, разрабатываются чертежи;
- стадия создания, когда в процессе изготовления или производства концепция и конструкция начинают воплощаться в жизнь;
- стадия эксплуатации, когда система ЧМС осуществляет возложенные, на нее рабочие функции и затем ликвидируется.

Таким образом, с точки зрения анализа и управления опасностями необходимо рассматривать и анализировать структурные элементы системы ЧМС, показанные на рис. 1.2.

Взаимодействие компонентов, входящих в систему ЧМС, может быть штатным и штатным. Нештатное взаимодействие может выражаться в виде ЧП – нежелательных, незапланированных, непреднамеренных событий, нарушающих обычный ход вещей и происходящих в относительно короткий отрезок времени. Катастрофы, аварии, несчастные случаи будем называть ЧП-несчастьями или, сокращенно, н-чепе. Отказы и инциденты обычно предшествуют н-чепе, но могут иметь и самостоятельное значение. Анализ опасностей делает предсказуемыми перечисленные выше ЧП и, следовательно, их можно предотвратить соответствующими мерами. К главным моментам анализа опасностей относится поиск ответов на следующие вопросы. Какие объекты являются опасными? Какие чепе можно предотвратить? Какие чепе нельзя устранить полностью и как часто они будут иметь место? Какие неустраняемые чепе повреждения могут нанести людям, материальным объектам, окружающей среде.

Поиск причин ЧП в конечном счете приводит к анализу системы управления опасностями. На разных стадиях жизненного цикла системы ЧМС функциональные модели системы управления опасностями (СУО) могут состоять из разных элементов, при этом обязательным является наличие информационной системы, обратных связей и алгоритма функционирования. Наиболее сложной является функциональная модель СУО на стадии эксплуатации системы ЧМС (рис. 1.3).

На рис. 1.3 компонент «человек», выбирая цель, создает управляющие действия, которые оказывают влияние на компоненты «машина» и «среда». Результат этих действий анализируется

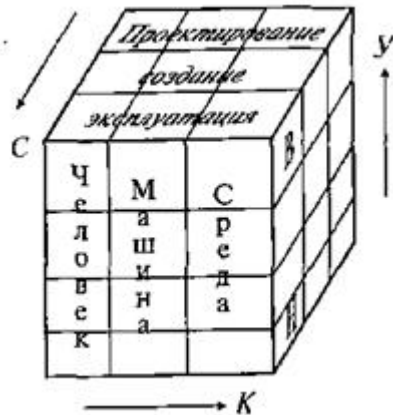


Рис. 1.2. Структурные элементы системы ЧМС:
У – уровни; В - высший;
С – стадии жизненного цикла; К – компоненты

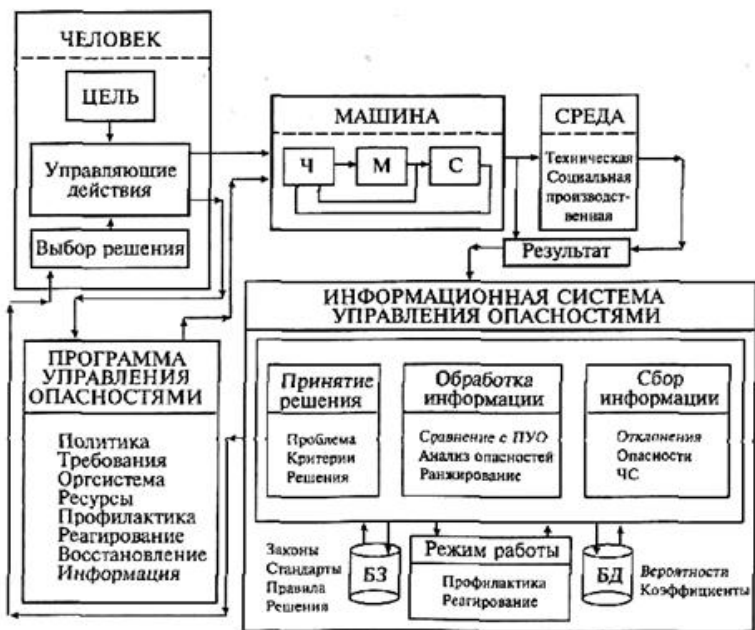


Рис. 1.3. Структурные элементы системы управления опасностями на стадии эксплуатации

информационной системой управления опасностями, которая производит отбор и обработку информации, а также предлагает варианты возможных решений при обнаружении отклонений в работе системы. В качестве управляющего действия рассматривается также программа управления опасностями (ПУО), которая включает такие составляющие, как политику, проводимую менеджментом в сфере безопасности; технические требования (например, стандарты), заложенные в ПУО; организационные и информационные моменты, а также наличие ресурсов для выполнения задач, поставленных ПУО. Кроме этого, программа включает системы профилактики – готовности, реагирования и восстановления.

Наличие обратных связей и информационной системы позволяет осуществлять сбор данных по отклонениям, отказам, ЧП и т. д., проводить анализ опасностей и их ранжирование, сравнивать результаты Функционирования системы ЧМС с программой управления опасностями, принимать решения и выбирать и осуществлять управляющие Действия. В производственной системе ЧМС информационные Функции, в частности, выполняют: рапорты инспекторов, акты расследования ЧП, протоколы аттестации рабочих мест, инструкции по безопасности и т. д. За счет обратных связей обеспечивается устойчивость функционирования СУО и ее развитие при наличии положительных обратных связей.

Как сказано выше, СУО в общем случае работает в разных режимах и ее важным элементом является алгоритм функционирования, который вместе с некоторыми компонентами СУО можно представить так, как показано на рис. 1.4.

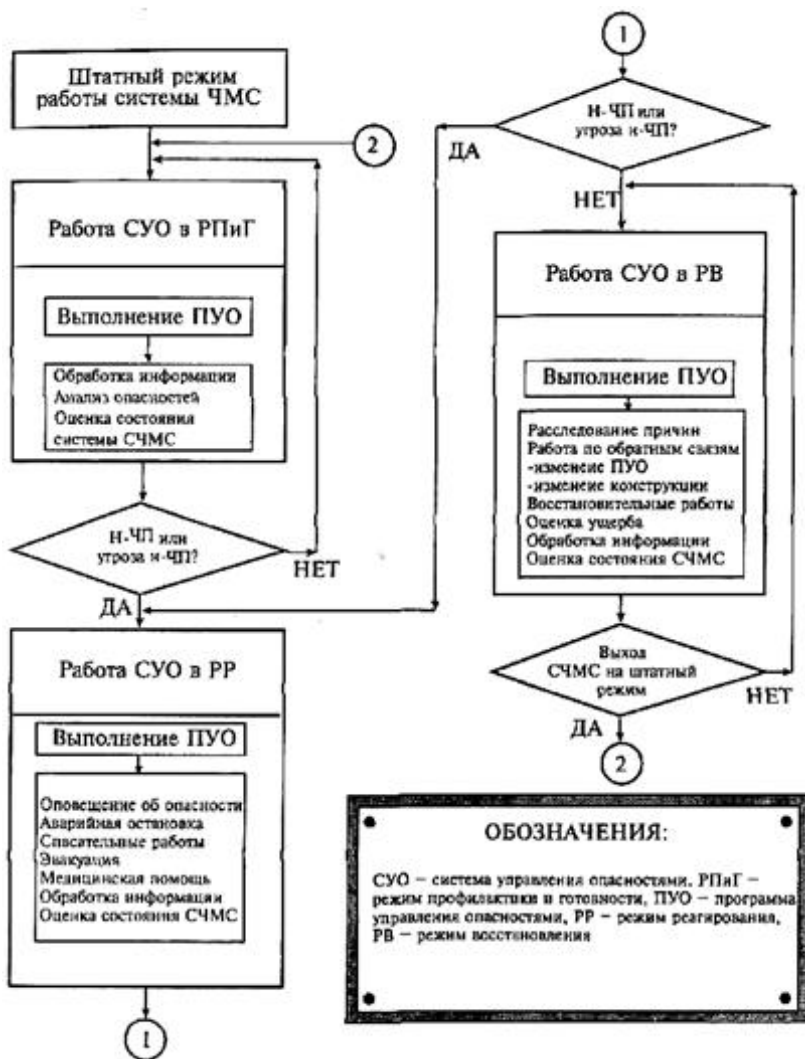


Рис. 1.4. Алгоритм функционирования системы управления опасностями

Режим работы СУО зависит от типов ЧП, происходящих в системе ЧМС. При режимных ЧП система ЧМС функционирует штатно и работа СУО не выходит за рамки режима профилактики и готовности (см. рис. 1.4).

При проектных и запроектных ЧП система ЧМС функционирует за пределами штатного режима; СУО работает в режиме реагирования и восстановления, при этом, если имеют место проектные ЧП, то исполняются некоторые элементы ре-

жима реагирования и режима восстановления (см. рис. 1.4), а при запроектных ЧП – практически все элементы, заложенные в эти подсистемы, и, в частности, необходимый комплекс восстановительных работ.

Анализ опасностей описывает их качественно и количественно и заканчивается планированием предупредительных мероприятий. Он базируется на знании алгебры, логики и событий, теории вероятностей, статистическом анализе, требует инженерных знаний и системного подхода.

1.2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

ЧП и высказывания обычно обозначают прописными буквами A, B, C, D и т. д., полагая, например, $A=1$, если ЧП A произошло или высказывание A истинно, и $A=0$, если ЧП не произошло или высказанное ложно. Тождественно истинное высказывание и ЧП, которое происходит всегда (достоверное событие), обозначают через I , а тождественно ложное высказывание и невозможное ЧП – через \bar{I} . Для этих элементов всегда имеем: $I = 1, \bar{I} = 0$.

В табл. 1.1.1 представлены основные операции, которые могут быть применены к элементам A, B – ЧП или высказываниям.

Таблица 1.1.

Двухместные операции над высказываниями и ЧП

Операция	Обозначение	Формула
НЕ (логическое отрицание, инверсия)	–	$\bar{A} = 1 - A$
ИЛИ (логическая сумма, дизъюнкция)	+	$A + B = \max(A, B)$ (11.1)
И (логическое произведение, конъюнкция)	*	$A * B = \min(A, B)$ (11.1,a)
Импликация	\rightarrow	$A \rightarrow B = \bar{A} + B$ (11.2)
Эквивалентность	\leftrightarrow	$A \leftrightarrow B = (A \rightarrow B) * (B \rightarrow A) = A * B + \bar{A} * \bar{B}$ (11.2,a)

Примечание. Для упрощения записи знак * часто опускают, например, вместо $A * B * C$ пишут ABC

Таблица 1.2

Группы ЧП-несчастий

Обозначения	N -несчастный случай	– нет несчастного случая
A – авария	$N * A$ Несчастный случай и авария	$A * \bar{N}$ Авария и нет несчастного случая
\bar{A} – нет аварии	$N * \bar{A}$ Несчастный случай и нет аварии	$\bar{A} * \bar{N}$ Нет аварии и нет несчастного случая

В дальнейшем будут рассматриваться только те события, которые относятся к разряду случайных. Катастрофы, аварии, несчастные случаи образуют группу ЧП, которую будем называть ЧП-несчастья-ми или, сокращенно, н-ЧП (табл. 1.2). Отказы и инциденты обычно предшествуют н-ЧП, но могут иметь и самостоятельное значение.

Согласно принятой терминологии, авария определена как ЧП, заключающееся в повреждении собственности и (или) окружающей среды, а произведение $N^*A = K$, где K обозначает катастрофу.

Все n -ЧП определяются как повреждения. Вопрос состоит в том, что считать повреждением. Например, повреждение организма может привести к летальному исходу. Однако в других случаях повреждение может быть таким, что его трудно или невозможно будет диагностировать (например, при взрыве установки в рабочего попало мягкое резиновое уплотнение). В настоящее время отсутствует единица «количества повреждения». С точки зрения анализа опасностей, существенным является то, что любое «нулевое повреждение» принимается во внимание и исследуется.

Существуют другие классификации ЧП. Например, по видам несчастных случаев нормативные документы определяют ЧП следующим образом. Повреждение тканей классифицируется как травма, ожог или обморожение; повреждение организма при острых заболеваниях – как отравление, тепловой удар или острое профессиональное заболевание. Повреждение организма может привести к летальному исходу. Эта классификация представлена в табл. 1.3. Логическая формула имеет вид $N = T + Z + D$.

Анализ опасностей в первую очередь имеет дело с потенциальными повреждающими факторами и потенциальными ЧП. Потенциальный повреждающий фактор до некоторой поры может быть скрытым, неявным. Его нелегко распознать, выявить. Однако, анализируя цепь потенциальных событий, можно выделить такое событие, которое позволяет его более четко разглядеть, зафиксировать, назвать или сблизить с повреждаемым объектом. Примеры даны в табл. 1.4.

Таблица 1.3

Вариант классификации несчастных случаев $N = (T + Z + D)$

Группа T (повреждение тканей)	Группа Z (острые заболевания)	Группа D (повреждения при обстоятельствах)
Травма T_1	Острое профзаболевание Z_1	При стихийных бедствиях D_1
Ожог T_2	Отравление Z_2	При контактах с животными и насекомыми D_2
Обморожение T_3	Тепловой удар Z_3	При повреждении молнией D_3
Летальный исход L	Летальный исход L	Летальный исход, включая утопление L

Таблица 1.4

Источники опасности и повреждающие факторы

Источник опасности	Потенциальное ЧП	Повреждающий фактор
Сосуд с газом под давлением	Механический взрыв Утечка из сосуда	Летающие осколки Токсичный газ
Электрическая установка	Замыкание на корпус	Электрический ток
Подъемный кран	Обрыв троса	Движущийся груз
Нагретый коллектор	Повреждение изоляции	Теплота
Ядерная установка	Вход в зону	Радиация
Взрывоопасная смесь	Химический взрыв	Ударная волна

Следует отметить, что деление на источник, потенциальное ЧП и повреждающий фактор производится в зависимости от тех задач, которые ставятся. Например, летящие осколки (см. табл. 1.4) можно при необходимости отнести к понятию источник опасности. Тогда потенциальным ЧП может стать попадание осколков в человека, а повреждающим фактором – кинетическая энергия.

ЧП-несчастья создают повреждения, которые могут поддаваться или не поддаваться количественной оценке, например смертельные случаи, уменьшение продолжительности жизни, вред здоровью, материальный ущерб, ущерб окружающей среде, беспокойное воздействие на общество, дезорганизация работы. Последствия или «количество нанесенного вреда» зависит от многих факторов, например от числа людей, находившихся в опасной зоне, или количества и качества находившихся там материальных ценностей. С целью унификации различные последствия и вред обозначают термином *ущерб*. Ущерб измеряют денежным эквивалентом или числом летальных исходов, или количеством травмированных людей и т. п. Как это ни кощунственно, но между этими единицами измерения желательно найти эквивалент, чтобы ущерб можно было измерять в стоимостном выражении.

1.3. ТЕХНИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ЧП

Через $P\{E_i\}$ будем обозначать *вероятность ЧПЕ*. Вероятность достоверного события $P\{I\} = 1$, вероятность невозможного события. $P\{\emptyset\} = 0$, вероятность суммы попарно несовместимых ЧП ($E_i E_j = \emptyset$, если $i \neq j$) равна

$$P\left\{\sum_{i=1, n} E_i\right\} = \sum_{i=1}^n P\{E_i\}. \quad (1.1)$$

ЧП E_1, E_2, \dots, E_n образуют полную группу событий, если они попарно несовместимы и одно из них обязательно происходит:

$$\left. \begin{aligned} E_i E_j &= \emptyset \text{ при } i \neq j \\ \sum_{i=1, n} E_i &= I. \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

Из соотношений (1.1) и (1.2) следует, что для полной группы событий

$$\sum_{i=1}^n P\{E_i\} = 1. \quad (1.3)$$

В частности, для равновероятных ЧП ($P\{E_i\} = p, i=1, 2, \dots, n$), образующих полную группу событий, вероятность ЧП

Противоположные события E и \bar{E} образуют полную группу, поэтому

$$P\{E\} = 1 - P\{\bar{E}\}. \quad (1.4)$$

Полную группу событий можно генерировать с помощью двоичных чисел. Делают это следующим образом. Для n ЧП записывают десятичные числа от 0 до $(2^n - 1)$ и их представления в двоичной системе счисления так, как это сделано на рис. 1.5. Здесь, например, номер три дает набор 011, который соответствует ЧП $\bar{X} * Y * Z$.

N n_1/n	X	Y	Z
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1

На практике часто пользуются формулой объективной вероятности:

$$P\{E\} = n_E/n, \quad (1.5)$$

где n и n_E – соответственно общее число случаев и число случаев, при которых наступает ЧП E ; при этом, если n не конечно, то оно должно быть достаточно большим ($n \rightarrow \infty$).

Определим вероятность ЧП-несчастий. Н-ЧП есть сумма

$$S = A + N. \quad (1.6)$$

Рис. 1.5. Генерирование полной группы событий

Несчастный случай N и авария A могут наступать совместно. Поэтому формула (1.3) для определения вероятности $P\{S\}$ не пригодна. Однако с помощью карты Карно (рис. 1.5) можно выделить полную группу событий: $\bar{A}\bar{N}$, $\bar{A}N$, $A\bar{N}$, AN . Тогда для аварии $A = \bar{A}N + AN$, несчастного случая $N = N\bar{A} + AN$ и н-ЧП $S = N + A = \bar{A}N + N\bar{A} + AN$ можно записать:

$$P\{A\} = P\{\bar{A}N\} + P\{AN\}, \quad (1.7)$$

$$P\{N\} = P\{\bar{A}N\} + P\{AN\}, \quad (1.8)$$

$$P\{S\} = P\{\bar{A}N\} + P\{N\bar{A}\} + P\{AN\}. \quad (1.9)$$

Из этих соотношений находим вероятность н-ЧП:

$$P\{A + N\} = P\{A\} + P\{N\} - P\{AN\}. \quad (1.10)$$

Если катастрофа невозможна $K = AN = \emptyset$, то $P\{AN\} = 0$. Формула (1.11) останется справедливой, если вместо ЧП A и N в нее подставить любые другие события X и Y . Заметим также, что при использовании понятия объективной вероятности (1.6) выражению (1.9) будет соответствовать соотношение

$$\frac{n_S}{n} = \frac{n_{\bar{A}N}}{n} + \frac{n_{N\bar{A}}}{n} + \frac{n_{AN}}{n}, \quad (1.11)$$

где общее число случаев $n = n_{\bar{A}N} + n_{N\bar{A}} + n_{AN}$

Вероятность ЧП E_1 при условии E_2 обозначают $P\{E_1|E_2\}$. Справедливы следующие соотношения ($P\{E_i\} \neq 0$; $P\{E_j\} \neq 0$):

$$P\{E_1 E_2\} = P\{E_2\} \cdot P\{E_1|E_2\} = P\{E_1\} \cdot P\{E_2|E_1\}. \quad (1.12)$$

Вычислим условную вероятность несчастного случая N при условии, что произошла авария A . Общее число случаев, в которых наступает авария A , равно $n_A = n_{AN} + n_{AN'}$. Тогда вероятность

$$P\{N|A\} = n_{AN}/n_A. \quad (1.13)$$

$$P\{E_1 E_2\} = P\{E_1\} P\{E_2\}. \quad (1.14)$$

Если ЧП E_1 и E_2 независимые, т. е. если $P\{E_1|E_2\} = P\{E_1\}$ и $P\{E_2|E_1\} = P\{E_2\}$, то

$$P\left\{\prod_{i=1, n} E_i\right\} = \prod_{i=1}^n P\{E_i\}. \quad (1.15)$$

Распространяя эту формулу на n взаимно независимых ЧП E_1, E_2, \dots, E_n , получим

Если события нельзя считать независимыми, то справедливо более сложное выражение

$$P\left\{\prod_{i=1, n} E_i\right\} = P\{E_1\} \cdot P\{E_2|E_1\} \cdot P\{E_3|E_1 E_2\} \dots P\{E_n|E_1 E_2 \dots E_{n-1}\}. \quad (1.16)$$

Условные вероятности, входящие в выражение (1.15), эмпирически определить трудно или невозможно. Поэтому всегда стараются поставить задачу так, чтобы воспользоваться более простой формулой (1.16).

1.4. КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ

1.4.1. Общий подход к анализу опасностей

Анализ опасностей позволяет определить источники опасностей, потенциальные н-ЧП, ЧП-инициаторы, последовательности развития событий, вероятности ЧП, величину риска, величину последствий, пути предотвращения ЧП и смягчения последствий.

На практике анализ опасностей начинают с грубого исследования, позволяющего идентифицировать в основном источники опасностей. Затем при необходимости исследования могут быть углублены и может быть проведен детальный качественный анализ. Выбор того или иного качественного метода анализа зависит от преследуемой цели, предназначения объекта и его сложности. Установление логических связей необходимо для расчета вероятностей ЧП. Методы расчета вероятностей и статис-

тический анализ являются составными частями количественного анализа опасностей. Когда удастся оценить ущерб, то можно провести численный анализ риск. При анализе опасностей всегда принимают во внимание используемые материалы, рабочие параметры системы, наличие и состояние контрольно-измерительных средств. Исследование заканчивают предложениями по минимизации или предотвращению опасностей. Главные этапы анализа опасностей показаны на рис. 1.6.

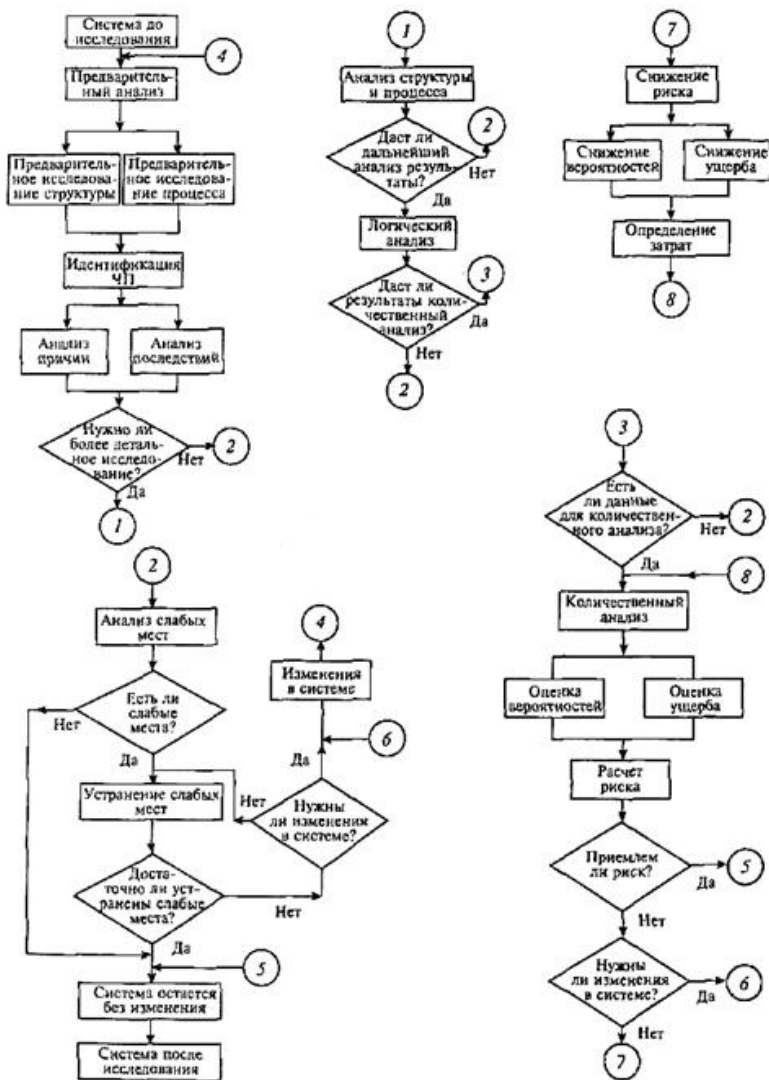


Рис.1.6. Процедура анализа опасностей

Качественные методы анализа опасностей включают: предварительный анализ опасностей;

- анализ последствий отказов;
- анализ опасностей с помощью дерева причин;
- анализ опасностей с помощью дерева последствий;
- анализ опасностей методом потенциальных отклонений;
- анализ ошибок персонала причинно-следственный анализ.

Предварительный анализ опасностей (ПАО) обычно осуществляют в следующем порядке:

- изучают технические характеристики объекта, системы, процесса, а также используемые энергетические источники, рабочие среды, материалы; устанавливают их повреждающие свойства;
- устанавливают законы, стандарты, правила, действия которых распространяются на данный технический объект, систему, процесс;

- проверяют техническую документацию на ее соответствие законам, правилам, принципам и нормам стандартов безопасности;

- составляют перечень опасностей, в котором указывают идентифицированные источники опасностей (системы, подсистемы, компоненты), повреждающие факторы, потенциальные ЧП, выявленные недостатки.

При проведении ПАО особое внимание уделяют наличию взрывопожароопасных и токсичных веществ, выявлению компонентов объекта, в которых возможно их присутствие, потенциальным ЧП от неконтролируемых реакций и при превышении давления. После того как выявлены крупные системы технического объекта, которые являются источниками опасности, их можно рассмотреть отдельно и более детально исследовать с помощью других методов анализа, описанных ниже.



Рис. 1.7. Алгоритм исследования отказов

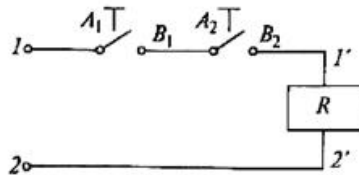


Рис. 1.8. Схема управления машины (пример)

Анализ последствий отказов (АПО) – преимущественно качественный метод идентификации опасностей, основанный на системном подходе и имеющий характер прогноза. Этим методом можно оценить опасный потенциал любого технического объекта. АПО обычно осуществляют в следующем порядке:

- техническую систему (объект) подразделяют на компоненты;
- для каждого компонента выявляют возможные отказы, используя, например, алгоритм, представленный на рис. 1.7;
- изучают потенциальные ЧП, которые может вызвать тот или иной отказ на исследуемом техническом объекте;
- результаты записывают в виде таблицы;
- отказы ранжируют по опасностям и разрабатывают предупредительные меры, включая конструкционные изменения.

Анализ последствий отказов может выявить необходимость применения других, более емких методов идентификации опасностей. Кроме того, в результате анализа отказов могут быть собраны и документально оформлены данные о частоте отказов, необходимые для количественной оценки уровня опасностей рассматриваемого технического объекта.

Рассмотрим пример. На рис. 1.8 представлена схема управления с двумя кнопками A_1 и A_2 , которые при нажатии на них замыкают контакты B_1 и B_2 , при этом включается катушка реле R и производится пуск машины (не показана)

Результаты выполненного АПО представлены в табл. 1.5. Отметим только, что опасность возникает, если происходит ЧП –случайный пуск машины. Обозначим: L – короткое замыкание между точками 1и I' ; A_i –замыкание i -го контакта вследствие нажатия кнопки; B_i – замыкание i -го контакта вследствие механического повреждения. Тогда для ЧП M – случайный пуск машины при исправном реле – имеем следующую логическую формулу: $M=L+(B_1+A_1)*(B_2+A_2)$.

Анализ опасностей с помощью дерева причин потенциального ЧП (АОДП) обычно выполняют в следующем порядке. Сначала выбирают потенциальное ЧП (например, н-ЧП или какой-либо отказ, который может привести к н-ЧП). Затем выявляют все факторы, которые могут привести к заданному ЧП (системы, подсистемы, события, связи и т. д.). По результатам этого анализа строят ориентированный граф. Вершина (корень) этого графа занумерована потенциальным ЧП. Поэтому граф является деревом. В нашем случае дерево состоит из всех тех причин-событий, которые делают возможным заданное ЧП. При построении дерева можно использовать символы, представленные в табл. 1.6. Проведение АОДП возможно только после детального изучения рабочих функций всех компонентов рассматриваемой технической системы. На работу системы оказывает влияние человеческий фактор, например возможность совершения оператором ошибки. Поэтому желательно все потенциальные инциденты – «отказы операторов» – вводить в содержание дерева причин. Дерево отражает статический характер событий. Построением нескольких деревьев можно отразить их динамику, т. е. развитие событий во времени.

Рассмотрим пример. Задаем потенциально возможное ЧП, ведущее к катастрофе, – отказ САОЗ (системы аварийного охлаждения активной зоны ядерной энергетической установки – САОЗ ЯЭУ). Находимы все компоненты системы, которые могут привести к отказу САОЗ. Перечень компонентов X_i дан в табл. 1.7. Установ-

Представление результатов АПО для схемы управления с двумя кнопками

Компонент	Наименование отказа, инцидент	Генерируемые последствия	Потенциальное ЧП	Предупредительные меры
Участок цепи — линия 11'	Короткое замыкание между точками 11'	Включение катушки реле, случайный пуск машины	Несчастный случай	Инструктаж персонала
Кнопка только A_1 или только A_2	Случайное нажатие (инцидент)	Без немедленных последствий	Без немедленных последствий; снижается уровень безопасности	Определить частоту инцидента
Контакты только B_1 или только B_2	Случайное замыкание вследствие механического повреждения	То же	То же	Определить частоту отказа
Участок цепи — линия 22'	Обрыв провода	Нельзя включить машину	Без немедленных последствий	Не требуется

ливаем логические связи и строим дерево причин (рис. 1.9). Общая формула ЧП «отказ САОЗ» имеет вид:



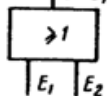
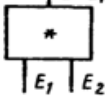

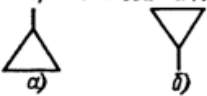
$$K = X_{17} * X_{18} + (X_4 + X_9 + X_{11}) * (X_7 + X_{10} + X_{12}) + X_5 + X_6 + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24}$$

В этом выражении X_i одновременно являются наименованиями отказов и их индикаторами, которые принимают значение: 1 – ЧП произошло и 0 – отсутствие ЧП.

Дерево причин показывает, что критическими компонентами являются 5, 6, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 24, так как отказ одного из них достаточен для того, чтобы вызвать катастрофу. После завершения АОДП можно от качественных характеристик приступить к количественному анализу.

Во многих случаях представление о состоянии систем, альтернативных путях протекания и результатах какого-либо процесса можно создать с помощью более простого графа. Рассмотрим его построение на примере трех параллельно работающих компонентов A_1 , A_2 и A_3 (рис. 1.11). Исходным пунктом является кружок, который представляет в общем виде рассматриваемое состояние. Из этого узла ветви ведут к узлам, представляющим состояние первого компонента (в соответствии с заданными вероятностями), и таким же образом дальше от каждого из этих узлов к следующим, в которых указаны состояния второго и третьего компонентов, пока на выходе не получаются все возможные комбинации событий. В результате получается дерево событий, в котором каждый путь от исходной точки до конечного узла описывает одну из эволюции системы. В прямоугольниках справа от конеч-

Элементы и символы, используемые для построения дерева причин потенциального ЧП

№ по пор.	Элемент и его символ	Комментарий															
1	<p><i>Вход</i></p> 	<p>Элементы «Вход» обозначают соответствующие чепе</p>															
2	<p><i>Элемент НЕ</i></p> <p>$R = \bar{E}$</p> 	<p>Элемент НЕ представляет отрицание. Если на входе $E = 0$, то выход $R = 1$ и наоборот</p> <table border="1" data-bbox="688 391 761 438"> <tr> <td>E</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>R</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </table>	E	0	1	R	1	0									
E	0	1															
R	1	0															
3	<p><i>Элемент ИЛИ</i></p> <p>$E = E_1 + E_2$</p> 	<p>Элемент ИЛИ может иметь любое число входов. Здесь показано два: E_1 и E_2</p> <table border="1" data-bbox="672 518 795 590"> <tr> <td>E_1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>E_2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table>	E_1	0	1	0	1	E_2	0	0	1	1	E	0	1	1	1
E_1	0	1	0	1													
E_2	0	0	1	1													
E	0	1	1	1													
4	<p><i>Элемент И</i></p> <p>$E = E_1 * E_2$</p> 	<p>Элемент И может иметь любое число входов. Здесь показано два: E_1 и E_2</p> <table border="1" data-bbox="677 710 812 790"> <tr> <td>E_1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>E_2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </table>	E_1	0	1	0	1	E_2	0	0	1	1	E	0	0	0	1
E_1	0	1	0	1													
E_2	0	0	1	1													
E	0	0	0	1													
5	<p><i>Ремарка</i></p> 	<p>Элемент служит для описания входа, выхода, логических связей</p>															
6	<p><i>Перенос входа α, δ</i></p> 	<p>Элемент говорит о том, что построение графа будет продолжено в другом месте</p>															

ных узлов на рис. 1.11 еще раз указан результат события, соответствующий пути к этому конечному узлу. В рассматриваемом примере с тремя параллельно работающими компонентами в прямоугольниках указаны результирующие вероятности для состояния системы, которые при независимости выхода из строя отдельных компонентов получаются простым перемножением отдельных вероятностей (вероятность ЧП в рассматриваемый отрезок времени принята одинаковой для каждого из трех компонентов: $q_i = 10^{-3}$; $i = 1, 2, 3$).

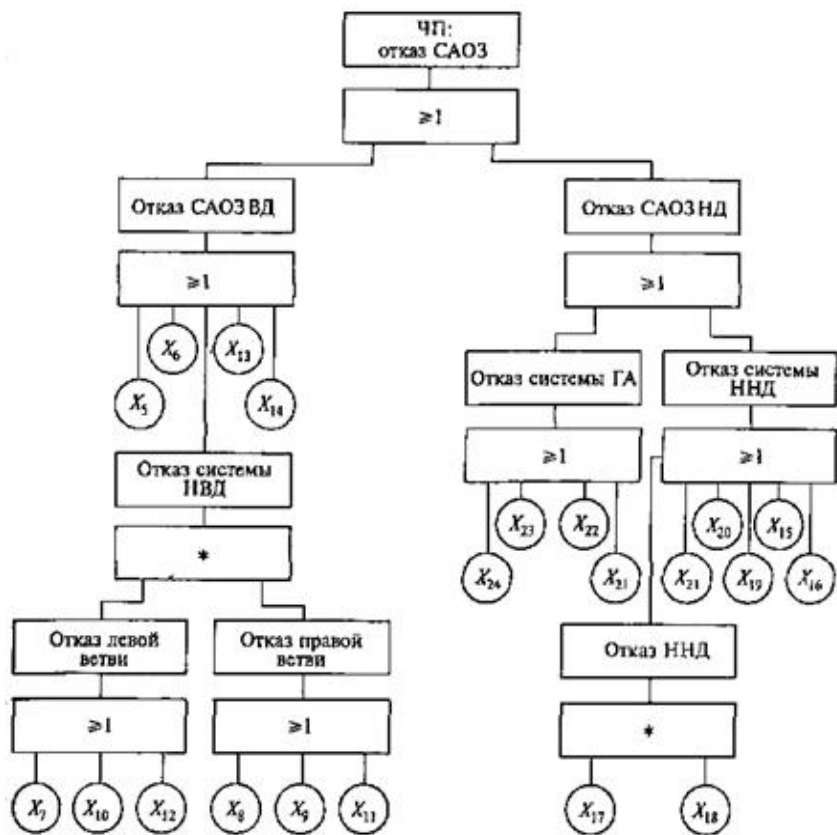


Рис.1.9 Дерево причин потенциального чпе – отказа САОЗ ЯЭУ

Анализ опасностей с помощью дерева последствий потенциального ЧП (АОДПО) отличается от АОДП тем, что в случае АОДПО задается потенциальное ЧП – инициатор и исследуют всю группу событий – последствий, к которым оно может привести. Таким образом, между событиями имеется временная зависимость. АОДПО можно проводить на любом объекте. Как и АОДП, он требует хорошего знания объекта. Поэтому, перед тем как проводить АОДПО, необходимо тщательно изучить объект, вспомогательное оборудование, параметры окружающей среды, организационные вопросы.

Воспользуемся предыдущим примером с ЯЭУ. Зададим потенциальное ЧП «Снижение расхода теплоносителя в первом контуре».

Дерево последствий (рассматривались только подсистемы) представлено на рис. 1.12. В число последствий входят: рабочая утечка, штатная работа САОЗ и ЧП-авария. Далее можно переходить к количественному анализу. Для построения дерева последствий можно использовать символы, представленные в табл. 1.6.

Таблица 1.7.

Перечень компонентов САОЗ ЯЭУ

Номер компонента и индекса	Компонент	Наименование отказа X_i
САОЗ ВД		
5	Задвижка	Закрыта
6	Обратный клапан	Закрыт
7	Задвижка	Закрыта
8	Задвижка	Закрыта
9	Насос высокого давления	Не работает
10	Насос высокого давления	Не работает
11	Задвижка	Закрыта
12	Задвижка	Закрыта
13	Емкость	Нет воды
14	Задвижка	Закрыта
САОЗ НД		
24	Азот гидроаккумулятора	Нет давления
23	Емкость гидроаккумулятора	Нет воды
22	Обратный клапан	Закрыт
21	Обратный клапан	Закрыт
20	Обратный клапан	Закрыт
19	Задвижка	Закрыта
18	Насос низкого давления с запорной арматурой	Не работает
17	Насос низкого давления с запорной арматурой	Не работает
16	Емкость	Нет воды
15	Задвижка	Закрыта

Анализ опасностей методом потенциальных отклонений (АОМПО): отклонение – режим функционирования какого-либо объекта, системы, процесса или какой-либо их части (компонента), отличающийся в той или иной мере от конструкторского предназначения (замысла).

Метод потенциальных отклонений (МПО) – процедура искусственного создания отклонений с помощью ключевых слов. Этим методом анализируют опасности герметичных процессов и систем. Наибольшее распространение он получил в химической промышленности. АОМПО обычно предшествует ПАО.

После того как с помощью ПАО были установлены источники опасностей (системы, ЧП), необходимо выявить те отклонения, которые могут привести к этим ЧП. Для этого разбивают технологический процесс или герметичную систему на составные части и, создавая с помощью ключевых слов (табл. 1.9) отклонения, систематично изучают их потенциальные причины и те последствия, к которым они могут привести на практике. Для проведения анализа необходимо иметь: проектную документацию на стадии проектирования;

алгоритм анализа, который позволяет исследовать один за другим все компоненты (например, рис. 1.13);

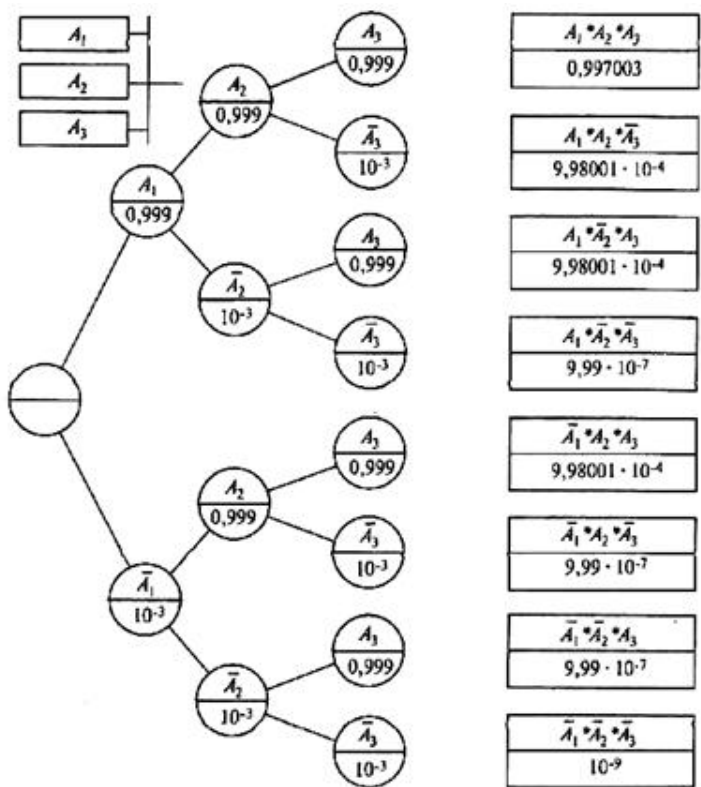


Рис.1.11. Дерево событий при аварии трех параллельно работающих компонентов

набор ключевых слов (табл. 1.9), с помощью которых выявляют ненормальный режим работы компонента.

Рассмотрим герметичный объект, в котором химические вещества A и B вступают в реакцию, чтобы образовать продукт C (рис. 1.14). Допустим, что потенциальным ЧП является взрыв, происходящий тогда, когда концентрация C_A вещества A превысит концентрацию C_B вещества B в емкости I . Следуя пункту 3 (см. рис. 1.13), выбираем для рассмотрения трубопровод 2-1. Его предназначение – транспортировать вещество B из сосуда 2 в сосуд 1. Используя первое ключевое слово в первой строке табл. 11.9, создаем отклонение: трубопровод НЕ транспортирует вещество B из сосуда 2 в сосуд 1. Нет подачи вещества B в емкость 1. Используя чертеж-схему движения веществ, устанавливаем потенциальные причины этого события: в питающем резервуаре 2 не осталось вещества B ; отказал насос 3 подачи вещества B [а) испортилась электрическая часть; б) испортилась механическая часть; в) кто-то выключил насос и т. д.]; произошла разгерметизация трубопровода; вещество B не проходит через вентиль 4.

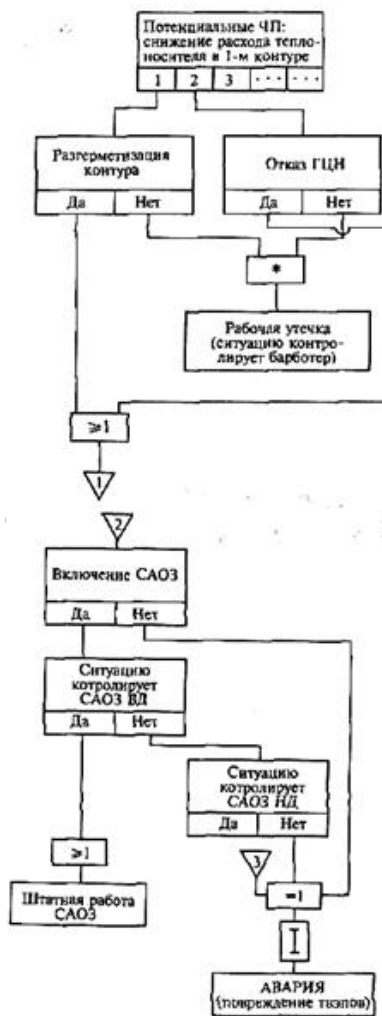


Рис.1.12 Дерево последствий чепе «Снижения расхода теплоносителя в первом контуре»

Последствие отклонения: через некоторое время после прекращения подачи вещества B концентрация C_A превысит C_B и произойдет взрыв.

Таким образом, на стадии проектирования на участке 2–1 вскрыты опасности. Предстоит разработка предупредительных мероприятий, например аварийной сигнализации, оповещающей о прекращении подачи



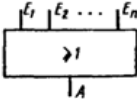
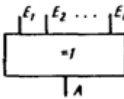
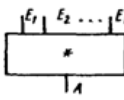
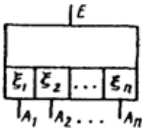
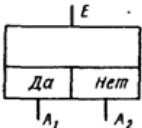
вещества B в емкость 1, и правил безопасной эксплуатации рассмотренного участка.

Был получен результат во время применения первого ключевого слова. Тем не менее к участку 2–1 должны быть последовательно применены все последующие ключевые слова. Только после окончания такой процедуры выявления опасностей можно переходить к следующему участку.

Анализ ошибок персонала (АОП) включает следующие этапы:

- выбор системы и вида работы;
- определение цели;

Символы, используемые при построении дерева последствий

№ по пор.	Символ	Комментарий
1		Запись чепе
2		Задержка во времени
3		Элемент НЕ для неисключающих друг друга чепе. Чепе A происходит, когда происходит одно чепе или больше из совокупности E_1, E_2, \dots, E_n
4		Элемент НЕ для взаимно исключающих друг друга чепе. Чепе A происходит, когда происходит одно и только одно чепе из совокупности E_1, E_2, \dots, E_n
5		Элемент И. Чепе A происходит, если имеют место все чепе E_1, E_2, \dots, E_n
6		Разветвление многоступенчатое. Если ξ_i — индикатор чепе, то $A_i = E + \xi_i$
7		Разветвление простое. Если ξ_1 — индикатор чепе, то $A_1 = E + \xi_1, A_2 = E + \xi_2$

- идентификацию вида потенциальной ошибки; идентификацию последствий;
- идентификацию возможности исправления ошибки; идентификацию причины ошибки;
- выбор метода предотвращения ошибки;
- оценку вероятности ошибки;

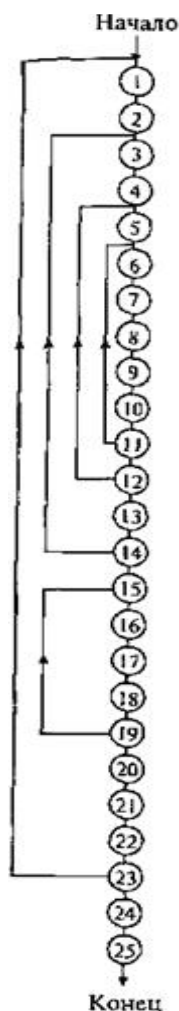


Рис. 1.13 Алгоритм анализа опасностей методом потенциальных отклонений:

1 — выбрать сосуд; 2 — объяснить общее предназначение сосуда и его трубы и проводов; 3 — выбрать трубопровод; 4 — объяснить предназначение выбранного трубопровода; 5 — использовать ключевые слова из i -й строки табл. 11 для создания отклонения; 6 — теоретически развить имеющее смысл отклонение; 7 — исследовать причины (события), которые могут на практике привести к созданному отклонению; 8 — исследовать последствия от созданного отклонения; 9 — выявить опасности; 10 — провести необходимую регистрацию проделанной работы; 11 — повторить шаги 6...10 для всех имеющихся смыслов отклонений, образованных ключевыми словами i -й строки табл. 11; 12 — повторить шаги 5...11 для ключевых слов всех других строк табл. 11; 13 — поставить на трубопроводе отметку «Исследовано»; 14 — повторить шаги 3...13 для каждого трубопровода; 15 — выбрать компонент, систему или какую-либо их часть; 16 — объяснить предназначение выбранного объекта; 17 — повторить шаги 5...12 для выбранного объекта; 18 — поставить на объекте отметку «Исследовано»; 19 — повторить шаги 15...18 для всех других объектов, компонентов, систем; 20 — объяснить предназначение сосуда; 21 — повторить шаги 5...12; 22 — поставить на сосудах отметку «Исследовано»; 23 — повторить шаги 1...22 для всех сосудов на данном чертеже; 24 — поставить на чертеже отметку «Исследовано»; 25 — выполнить шаги 1...24 на других чертежах

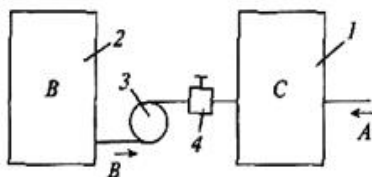
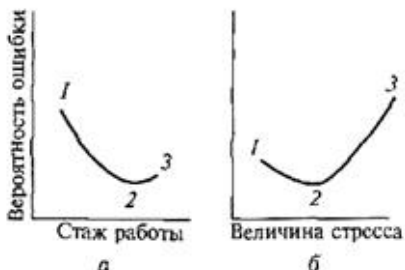


Рис. 1.14. Схема взаимодействия химических веществ (пример)

Рис. 1.15. Характер изменения вероятности ошибки оператора в зависимости от:

a — стажа работы (1 — начальный период; 2 — оптимальная работа; 3 — работа с большим стажем); *б* — величины стресса (1 — малый; 2 — оптимальный; 3 — большой)



- оценку вероятности исправления ошибки;
- расчет риска;
- выбор путей снижения риска.

В табл. 1.10 приведены возможные виды потенциальных ошибок, совершаемых операторами. Каждому виду ошибки присвоен гипотетический номер по классификатору. В результате ошибок персонала возможны аварии (пожары, взрывы, механические повреждения, выбросы токсичных химических веществ, проливы и т. д.) несчастные случаи (летальные исходы, травмы и т. д.), катастрофы (разные степени повреждения организма и собственности), которые также могут быть классифицированы. Причины ошибок, вероятности ошибок, возможности исправления ошибок с гипотетической их классификацией даны в табл. 1.11–1.13. Следует иметь в виду, что в основу классификации причин ошибок положены внешние и внутренние факторы, так как факторы стресса могут носить и тот и другой характер. Вероятность ошибки оператора зависит от стажа работы v наличия стрессовых условий на рабочем месте. Опыт показывает, что оператор со стажем может совершать ошибки (рис. 1.15, *a*) и что вероятность ошибки оператора в зависимости от величины стресса также имеет оптимум (рис. 1.15, *б*). Выбрав величину U , измеряющую последствия ошибки (например, число летальных исходов, денежный эквивалент и т. д.), и установив подходящую шкалу для измерений (например, $U= 1...10; 1...100$ и т. д.), можно для сравнительной оценки рассчитать значения; рисков

$$R = P_{\text{оп}}(1 - P_{\text{ис}})U, \quad (1.17)$$

где $P_{\text{оп}}$ и $P_{\text{ис}}$ – вероятность ошибки оператора и вероятность ее исправления.

Выбрав величину U , измеряющую последствия ошибки (например, число летальных исходов, денежный эквивалент и т. д.), и установив подходящую шкалу для измерений (например, $U= 1...10; 1...100$ и т. д.), можно для сравнительной оценки рассчитать значения; рисков; ошибки оператора и вероятность ее исправления.

$$R = P_{\text{оп}}(1 - P_{\text{ис}})U, \quad (1.18)$$

Таблица 1.10

Виды потенциальных ошибок и гипотетические номера по классификатору

Вид потенциальной ошибки	Номер по классификатору
Пропуск действия	Д1
Неправильное действие	Д2
Действие в неправильном направлении	Д3
Много действий	Д4
Мало действий	Д5
Неправильные действия на правильную цель	Д6
Правильные действия на неправильную цель	Д7
Преждевременное действие	Д8
Запоздалое действие	Д9
Слишком длительное действие	Д10
Слишком короткое действие	Д11
Неправильный порядок действий	Д12
Вредное дополнительное действие	Д13

Таблица 11.11

Гипотетическая классификация причин ошибок

Действующие факторы	Причины ошибок	Номер по классификатору
Внешние факторы	Инструкции	П1
	Информация	П2
	Организация	П3
	Эргономика	П4
	Условия работы	П5
	Постановка цели	П6
Внутренние факторы	Опыт	П7
	Умение	П8
	Знания	П9
	Мотивация	П10
Факторы стресса	Психологическое напряжение	П11
	Физиологическое напряжение	П12

Таблица 1.12

Гипотетический классификатор ориентировочных значений вероятности ошибки оператора

Номер по классификатору	Рутинная работа	Наличие инструкций	Наличие стресса	Новая ситуация	Ориентировочное значение вероятности ошибки оператора P _{оп}
V1	Да	Да	Нет	Нет	0,0001... 0,001
V2	Да	В неполном объеме	Небольшой	Нет	0,001...0,005
V3	Да	В неполном объеме	Некоторый	Нет	0,005...0,01
V4	Нет	Нет	Некоторый	Нет	0,01...0,05
V5	Нет	Нет	Да	Нет	0,05... 0,5
V6	Нет	Нет	Да	Да	0,5...1,0

Таблица 11.13.

Гипотетический классификатор ориентировочных значений вероятности исправления ошибки оператора

Исправление ошибки (характеристика)	Ориентировочное значение вероятности исправления ошибки P _{ис}	Номер по классификатору
Весьма вероятное	0,5	И1
Вероятное	0,2	И2
Возможное	0,1	И3
Невероятное	0,01	И4
Весьма невероятное	0,001	И5
Невозможное	0	И6
С помощью системы защиты	0,95...1,0	И7
Невозможное из-за отсутствия времени	0	И8

На рис. 1.16 и в табл. 1.14 даны возможные варианты представления результатов выполнения анализа ошибок персонала.

Причинно-следственный анализ (ПСА) выявляет причины происшедшего ЧП. Тем не менее, ПСА является составной частью общего анализа опасностей.

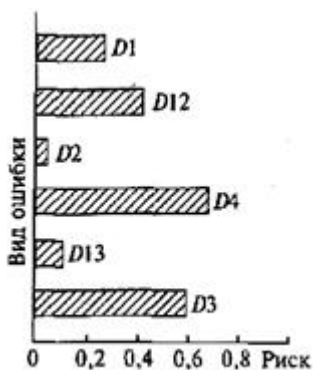


Рис. 1.16. Вариант представления результатов анализа ошибок оператора

бытие). Перечень может содержать достаточно большое число событий, предшествовавших ЧП, и по нему трудно дать необходимые заключения. В этом случае целесообразно построить ориентированный граф – дерево причин. Построение начинают с последней стадии развития событий, а именно с ЧП-несчастья. По каждому предшествующему событию последовательно ставят следующие вопросы. Каким предшествующим событием X было непосредственно вызвано событие Y ? Достаточно ли было одного события X , чтобы вызвать Y ? Если нет, то какие другие предшествующие события X_1, X_2, \dots, X_n еще необходимы, чтобы непосредственно вызвать событие Y ?

С помощью этих *вопросов выявляют логические связи*, представленные в табл. 1.15.

Логическая согласованность дерева причин контролируется путем постановки к каждому предшествующему событию следующих вопросов.

Если бы событие X не произошло, могло бы тем не менее произойти событие Y ?

Было ли необходимым и достаточным само по себе событие X для того, чтобы произошло событие Y ?

Процесс создания дерева причин побуждает исследователя к сбору и глубокому анализу информации. По окончании работы исследователь имеет группу факторов и диаграмму развития n -ЧП.

Логическая структура дерева причин такова, что при отсутствии хотя бы одного из предшествующих событий n -ЧП произойти не может. Это является хорошей основой для того, чтобы сформулировать предупредительные меры с целью: а) исключить повторение n -ЧП данного типа; б) избежать более или менее аналогичных n -ЧП (ЧП, которые имеют с данным ЧП общие признаки).

Анализируя дерево причин, можно также заметить, что не все предшествующие события имеют одинаковое значение для предотвращения n -ЧП. Поэтому имеет смысл составить еще один (сокращенный) перечень событий, по которому и принимать предупредительные меры.

Он завершается прогнозом новых ЧП и составлением плана мероприятий по их предупреждению.

Анализ начинают со сбора информации, которая призвана описать ЧП точно и объективно. Составляют перечень событий, предшествовавших ЧП, при этом обращают внимание на то, что регистрируемые реальные события и факты бывают двух видов: носящие случайный характер и носящие постоянный характер. Последние участвуют в возникновении ЧП опосредованно и в сочетании со случайными событиями. Например, плохая конструкция ограждений на машине (факт, носящий постоянный характер) способствовала проникновению руки оператора в опасную зону (случайное событие).

Вариант представления результатов анализа ошибок персонала

Форма анализа	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Система и вид работы	Объект X1 Процесс Y11	Объект X2 Процесс Y2	Объект X3 Процесс Y3
Цель работы	Вид работы Z1 Задача по Z1	Вид работы Z2 Задача по Z2	Вид работы Z3 Задача по Z3
Вид потенциальной ошибки	D12	D2	D3
Потенциальные последствия	A	N	K
Исправление ошибки	И2	И7	И4
Причины ошибки	П3	П5	П6
Метод предотвращения ошибки	П38 (пересмотр правил)	П54 (снижение шума)	П61 (изменение объекта)
Вероятность ошибки	0,02 (B4)	0,3 (B5)	0,1 (B5)
Вероятность исправления ошибки	0,2	0,99	0,01
Шкала последствий	1...100	1...10	1...10
Величина последствий U	40	4	8
Расчет риска: $R = P_{\text{от}}(1 - P_{\text{ис}})U$	0,64	0,012	0,792
Метод снижения риска	Управление	Обучение персонала	Технические меры, обучение персонала
Другие данные	Нет	Нет	Нет

Использование логических связей в причинно-следственном анализе

Действия	Последовательность	Разделение	Сочетание
Определение	ЧП Y имеет одну причину X	ЧП Y_1, Y_2, \dots, Y_n имеют одну причину X	ЧП имеет причины X_1, X_2, \dots, X_n
Представление			
Свойство	ЧП X — необходимое и достаточное условие появления ЧП Y	ЧП X является необходимым и достаточным условием для появления ЧП Y_1, Y_2, \dots, Y_n	Только сочетание ЧП X_1, X_2, \dots, X_n является необходимым и достаточным условием для появления ЧП Y
Формула	$Y \leftrightarrow X$	$\prod_i Y_i \leftrightarrow X$	$Y \leftrightarrow \prod_i X_i$
Пример	 X — появление в цепи тока большой силы; Y — перегорание плавкого предохранителя	 X — автомат вышел из строя; Y_1 — остановка технологического процесса; Y_2 — сигнал тревоги	 X_1 — образование взрывчатой смеси; X_2 — иницирование; Y — взрыв

Рассмотрим пример. Во дворе предприятия водитель тягача приступил к сцепке тягача с прицепом. Операция осложнилась из-за различной высоты тягача и прицепа, и водитель спустился вниз, чтобы выяснять причину затруднения, забыв поставить тягач на тормоз. Кроме того, это был не тот тягач, который обычно эксплуатировался с этим прицепом. Когда водитель находился между прицепом и тягачом, тягач с работающим двигателем скатился назад по небольшому уклону и придавил водителя к раме прицепа.

Дерево причин дано на рис. 11.17. Результаты анализа (возможный вариант) представлены в табл. 11.16 в виде причин происшедшего ЧП, предупредительных мероприятий и источников опасности, которые спрогнозированы на базе фактов, занесенных в графу причин.

Прогнозирование осуществляют в двух дополняющих друг друга направлениях: а) ведут поиск источников опасности на данном месте;

б) ведут поиск рабочих мест, где данный источник опасности может быть идентифицирован. Таким образом, причинно-следственный анализ происшедшего н-ЧП не только позволяет исключить выявленные причины, но и спрогнозировать опасности. Наконец, за исполнением предупредительных мероприятий необходимо проследить. Этому будет способствовать планирование, проведенное, например, по форме табл. 1.17, которая отвечает на вопросы: кто? когда? где? сколько? Эффективность всей работы будет также зависеть от информации, которую получит персонал предприятия. Информация должна вызывать положительное отношение персонала к принимаемым мерам.

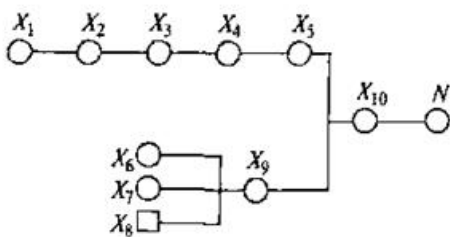


Рис. 1.17. Дерево причин аварии тягача:
 X_1 – обычно используемый тягач вышел из строя;
 X_2 – другой тягач использовался в работе;
 X_3 – различие в высоте прицепа и нового тягача;
 X_4 – осуществление сцепки затруднено; X_5 – водитель встает между тягачом и прицепом; X_6 – не включен ручной тормоз; X_7 – вибрации от работающего двигателя; X_8 – двор имеет уклон; X_9 – тягач движется к прицепу; X_{10} – водитель зажимается между прицепом и тягачом; N – несчастный случай (травма); (X_8 – факт постоянного характера; остальные – случайного)

Таблица 1.16

Вариант представления результатов причинно-следственного анализа в примере с тягачом

Причины несчастного случая	Возможные предупредительные мероприятия	Источники опасностей
Двор с уклоном	Реконструкция двора	Неподходящие места стоянок
Невыключенный тормоз, работающий двигатель	Инструктаж водителя	Недостаточная подготовка работников
Разная высота прицепа и тягача	Стандартизация соединений	Техническая несовместимость материалов
Тягач, вышедший из строя	Предупредительный ремонт транспортных средств	Поломка оборудования

1.5. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ

1.5.1. Функция опасности для системы ЧМС

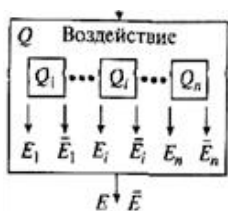


Рис.1.18. Схема событий в системе ЧМС

При анализе опасностей сложные системы разбивают на множество подсистем. Подсистемой называют часть системы, которую выделяют по определенному признаку, отвечающему конкретным целям и задачам функционирования системы (например, подсистема управления безопасностью труда). В рамках этих задач подсистема может рассматриваться как самостоятельная система. Таким образом, иерархическая структура сложной системы такая, что позволяет ее разбивать на подсистемы различных уровней, причем подсистемы низших уровней входят составными частями в подсистемы высших уровней. Подсистемы, в свою очередь, состоят из компонентов – частей системы, которые рассматриваются без дальнейшего членения как единое целое.

Систему ЧМС, состоящую из компонентов Q_1, Q_2, \dots, Q_n (рис. 1.18), будем обозначать в виде вектора системы $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$. Отклонение компонента Q_i от нормального функционирования (отказ, авария) есть ЧП E_i . ЧП E_i ($i = 1, n$) ведут к ненормальному функционированию системы Q , составляющему суть ЧП E . Логический анализ внутренней структуры системы ЧМС и определение вероятности ЧП E как функции отдельных ЧП E_i являются одной из задач анализа опасностей. Чтобы определить эту функцию, введем индикаторы ЧП ξ и ξ_i , $i = 1, n$, которые могут принимать только два значения 1 и 0. Будем полагать, что если ЧП E_i , относящееся к компоненту Q_i , произошло, то $\xi_i = 1$, а если не произошло, то $\xi_i = 0$, т. е. произошло ЧП \bar{E}_i . Тогда для системы Q наступление ЧП E соответствует $\xi = 1$, а наступление ЧП \bar{E} означает $\xi = 0$. Иначе говоря, имеем вектор индикаторов ЧП

$$\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n) \quad (1.19)$$

и следующие соотношения:

$$\left. \begin{aligned} E_i &\rightarrow \xi_i = 1 \\ \bar{E}_i &\rightarrow \xi_i = 0 \\ E &\rightarrow \xi = 1 \\ \bar{E} &\rightarrow \xi = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.20)$$

Если ЧП E_i наступает с вероятностью p_i , то, как следует из соотношений (4.21), с этой же вероятностью индикатор ЧП ξ_i принимает значение 1. Поэтому справедливы следующие зависимости:

$$\left. \begin{aligned} p_i &= P\{E_i\} = P\{\xi_i = 1\} \\ q_i &= P\{\bar{E}_i\} = P\{\xi_i = 0\} = 1 - p_i \\ p &= P\{E\} = P\{\xi = 1\} \\ q &= P\{\bar{E}\} = P\{\xi = 0\} = 1 - p. \end{aligned} \right\} \quad (1.21)$$

Логический анализ функционирования системы ЧМС позволяет записать логическую и индикаторную функции системы:

$$E = F(E_1, E_2, \dots, E_n),$$

$$\xi = F_\xi(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n).$$
(1.22)

Применяя правила теории вероятностей, находят вероятность ЧП в виде так называемой *функции опасности*:

$$p = F_p(p_1, p_2, \dots, p_n).$$
(1.23)

Таким образом, состояние системы ЧМС описывается: вектором системы $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$, вектором индикаторов ЧП $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$, логической функцией системы $E = F(E_1, E_2, \dots, E_n)$, индикаторной функцией системы $\xi = F_\xi(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$, функцией опасности $p = F_p(p_1, p_2, \dots, p_n)$.

На практике часто индикатор и событие обозначают одной и той же буквой, так как это делалось в предыдущих параграфах.

Предположим, что анализ опасностей проводится для таких пространственно крупных систем, как цех или завод. Тогда в большинстве случаев выявленные источники опасностей могут рассматриваться как точечные. Их местоположение можно задать с помощью системы координат. Кроме того, можно допустить, что опасность достаточно полно характеризуется значениями вероятностей ЧП. Эти вероятности можно условно называть «зарядами» опасностей. Заряды опасностей можно связать с системой координат, как, например, показано на рис. 1.19, и считать, что они создают вокруг себя поле опасности, напряженность которого характеризуется вероятностью наступления н-ЧП. Это позволит не только установить границы опасной зоны, но и произвести ее разметку в зависимости от степени опасности.

Подсистемы и ЧП ИЛИ, И. Подсистемой ИЛИ называют часть системы ЧМС, компоненты которой соединены последовательно (рис. 1.20). Отказ подсистемы есть ЧП ИЛИ. К ЧП ИЛИ приводит отказ любого компонента подсистемы. Будем обозначать отказы теми же буквами, что и компоненты. Если E_j – отказу j -го компонента (компонент E_j), то ЧП ИЛИ есть событие:

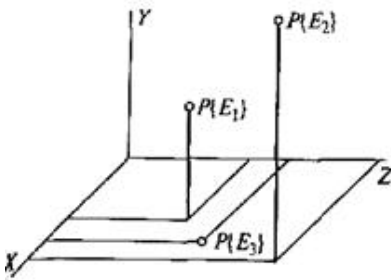


Рис. 1.19. Описание опасности с помощью «зарядов»

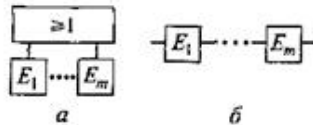


Рис. 1.20. Символическое изображение подсистемы ИЛИ

$$E = E_1 = E_2 + \dots + E_n = \sum_{j=1, m} \hat{E}_j, \quad (1.24)$$

где m – число компонентов.

В силу логических законов двойственности отсутствие ЧП ИЛИ есть событие

$$\bar{E} = \prod_{j=1, m} \bar{E}_j. \quad (1.25)$$

Если отказы компонентов можно рассматривать как взаимно независимые, то соотношения (1.24.) и (1.25.) позволяют найти вероятность ЧП ИЛИ:

$$P\left\{\sum_{j=1, m} \hat{E}_j\right\} = 1 - P\left\{\sum_{j=1, m} \bar{E}_j\right\} = 1 - P\left\{\prod_{j=1, m} \bar{E}_j\right\} = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P\{E_j\}). \quad (1.26)$$

Для равновероятных отказов

$$P\{E_j\} = p, \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (1.27)$$

и вероятность ЧП ИЛИ

$$P\{E\} = 1 - (1 - p)^m. \quad (1.28)$$

Последнее выражение свидетельствует о высокой вероятности ЧП в случае сложных систем. Например, при вероятности отказа компонента $p = 0,1$ подсистема ИЛИ, состоящая из десяти компонентов ($m = 10$), имеет вероятность того, что ЧП ИЛИ не произойдет равную $(1-0,1)^{10} \approx 0,35$.

Используя разложения в ряд, можно получить полезные выражения, которые упрощают вычисления:

$$\left. \begin{aligned} P\{E\} &\approx 1 - \exp(-pm) \\ P\{\bar{E}\} &\approx \exp(-pm) \end{aligned} \right\} \quad \text{при } p < 0,$$

$$\left. \begin{aligned} P\{E\} &\approx pm \\ P\{\bar{E}\} &\approx 1 - pm \end{aligned} \right\} \quad \text{при } pm < 0,$$

Подсистемой И называют ту часть системы ЧМС, компоненты которой соединены параллельно (рис. 1.21). Отказ этой подсистемы есть ЧП И. К ЧП И приводит отказ всех компонентов подсистемы:

$$E = E_1 E_2 \dots E_m = \prod_{j=1, m} \hat{E}_j. \quad (1.29)$$

Если отказы компонентов можно считать взаимно независимыми, то вероятность чепе И

$$P\{E\} = \prod_{j=1}^m P\{E_j\}. \quad (1.30)$$

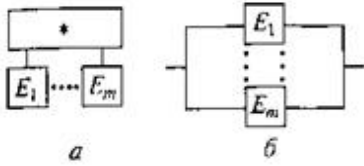


Рис. 1.21. Символическое изображение подсистемы И:
а – графический символ, б – развернутая схема

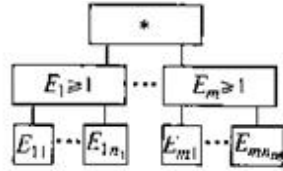


Рис. 1.22. Символическое представление подсистемы И – ИЛИ

К понятию подсистемы И в машиностроении приводит операция резервирования, которую применяют, когда необходимо достичь высокой надежности системы (например, если имеется опасность аварии).

С точки зрения анализа опасностей, можно сделать следующие обобщения.

1. Любые действия персонала, операции, устройства, которые сточки зрения безопасности выполняют одни и те же функции в системе ЧМС, могут считаться соединенными параллельно.
2. Любые действия персонала, операции, устройства, каждое из которых необходимо для предотвращения ЧП (например, аварии или несчастного случая), должны рассматриваться как соединенные последовательно.
3. Для уменьшения опасности системы ЧМС обычно добавляют резервирование, учитывая при этом затраты.

Приведем примеры. Пусть защитное устройство пилы устраняет 95 %, а инструкция по технике безопасности 98 % несчастных случаев. В определенном смысле до – параллельные мероприятия (компоненты) по решению одной и той же проблемы. Следовательно, если они независимы, результирующая вероятность несчастного случая находится как для подсистемы И и будет равна 0,001.

Аналогично, если возгорание может произойти как от неосмотрительного курения, так и вследствие электростатического разряда, то предотвращение этих двух причин надо рассматривать как последовательные компоненты.

Подсистемой И – ИЛИ называют ту часть системы ЧМС, которая соединяет подсистемы ИЛИ в подсистему И. Отказ подсистемы И – ИЛИ есть ЧП И – ИЛИ. На рис. 1.22 параллельно соединенные компоненты E_i ($i = 1, 2, \dots, m$), образующие подсистему И, представляют собой подсистемы ИЛИ, состоящие из последовательно соединенных компонентов E_{ij} ($j = 1, 2, \dots, n_i$).

По формуле (11.28) вероятность отказа i -й подсистемы ИЛИ

$$P\{E_{ij}\} = 1 - \prod_{j=1}^{n_i} (1 - P\{E_{ij}\}). \quad (1.31)$$

Учитывая соотношение (1.31), находим вероятность ЧП И-ИЛИ:

$$P\{E\} = \prod_{i=1}^m \left[1 - \prod_{j=1}^{n_i} (1 - P\{E_{ij}\}) \right]. \quad (1.32)$$

Подсистемой ИЛИ – И в системе ЧМС называют подсистемы И, соединенные в подсистему ИЛИ. На рис. 1.23 последовательно соединенные компоненты E_i ($i = 1, 2, \dots, m$), образующие подсистему ИЛИ, представляют собой подсистемы И из

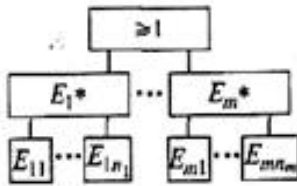


Рис. 1.23. Символическое представление подсистемы ИЛИ - И

параллельно соединениях компонентов E_{ij} ($j=1, 2, \dots, n_i$)

С учетом формулы (11.32) вероятность отказа i -й подсистемы И

$$P\{E_i\} = \prod_{j=1}^{n_i} P\{E_{ij}\}. \quad (1.33)$$

Используя соотношение (1.33), находим вероятность ЧП ИЛИ - И

$$P\{E\} = 1 - \prod_{i=1}^m \left[1 - \prod_{j=1}^{n_i} P\{E_{ij}\} \right]. \quad (1.34)$$

В более сложных случаях, чтобы воспользоваться формулами (1.3) и (1.18) теории вероятностей, логическую функцию (1.23) необходимо определенным образом преобразовать – привести ее к нормальной, а затем к совершенной нормальной форме. Тогда она будет включать несовместимые события.

Численный анализ риска. Риск в широком смысле слова – это подвержение воздействию вероятности экономического или финансового проигрыша, физического повреждения или причинения вреда в какой-либо форме из-за наличия неопределенности, связанной с желанием осуществить определенный вид действий.

Ниже рассмотрен анализ риска при техногенном воздействии. Следует различать риск при наличии источника опасности и риск при наличии источника, оказывающего вредное воздействие на здоровье. Как определено выше, источник травмоопасности потенциально обладает повреждающими факторами, которые воздействуют на организм, собственность или окружающую среду в течение относительно короткого отрезка времени. Что касается источника, характеризующегося вредными факторами, то принято считать, что он воздействует на объект в течение достаточно длительного времени.

Для оценки риска используют различные математические формулировки, выбор которых зависит от имеющейся информации.

Когда последствия неизвестны, то под риском обычно понимают просто вероятность наступления определенного сочетания нежелательных событий:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i.$$

При необходимости можно использовать определение риска как вероятности превышения предела:

$$R = P\{\xi > x\}, \quad (1.35)$$

где ξ – случайная величина; x – некоторое значение.

Риск, связанный с техникой, обычно оценивают по формуле, включающей как вероятность ЧП, так и величину последствий U (обычно ущерб):

$$R = PU. \quad (1.36)$$

Если каждому i -му ЧП, происходящему с вероятностью P_i может быть поставлен в соответствие ущерб U_i то величина риска будет представлять собой ожидаемую величину ущерба U_* .

$$R = U_* = \sum_{i=1}^n U_i P_i . \tag{1.37}$$

Если все вероятности наступления ЧП одинаковы ($P_i = p, i = \overline{1, n}$), то из формулы (1.37) следует

$$R = p \sum_{i=1}^n U_i . \tag{1.39}$$

Если последствия измерять числом летальных исходов и известна вероятность P_N N летальных исходов, то риск

$$R = P_N N^q , \tag{1.40}$$

где q – положительное число. Если предположить, что одно ЧП с большим числом летальных исходов более нежелательно, чем такое же число отдельных летальных исходов, в выражении (1.40) число q должно быть больше единицы.

При угрозе собственности ущерб и риск чаще всего измеряют в денежном выражении. Однако если можно принять, что ущерб при авариях будет одним и тем же, то определение рисков и дальнейшее их сравнение можно проводить, пользуясь вероятностями. В частности, если ущерб трудно рассчитать, то за величину риска принимают вероятность превышения предела.

При угрозе здоровью ущерб в денежном выражении можно оценить только частично в виде расходов на оплату листков нетрудоспособности и подмену персонала. Еще труднее в денежном виде оценить ущерб от летальных исходов. Поэтому риск, связанный с несчастными случаями, оценивают вероятностями. Таким образом, единицы измерения риска могут быть различными в том случае, когда



Рис. 1.24. Риск и его оценка

существует угроза здоровью, и тогда, когда существует угроза собственности. Поэтому, когда одновременно существует угроза здоровью и собственности, риск целесообразно записывать в векторном виде с различными единицами измерения по координатным осям:

$$R = UP. \quad (1.41)$$

Здесь перемножение в правой части уравнения производится покомпонентно (рис. 1.24), что позволяет сравнивать риски.

Принято различать риск индивидуальный и общий.

Индивидуальный риск можно определить как ожидаемое значение ущерба $U_{\text{инд}}$ причиненного ЧП за интервал времени T и отнесенное к группе людей численностью M человек. (Численность людей должна быть указана,

$$R = U_{\text{инд}} / (T \cdot M). \quad (1.42)$$

если делается ссылка на индивидуальный риск.)

Общий риск для группы людей (коллективный риск)

$$R = U / T. \quad (1.43)$$

На рис. 1.25 и 1.26 показана связь между частотой и числом несчастных случаев с летальным исходом. Видно, что частота и величина риска, обусловленного

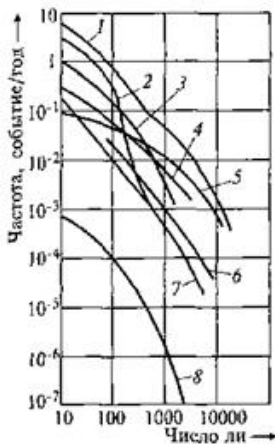


Рис. 1.25. Частота и число н/случаев

1 — суммарная кривая; 2 — общее число аварий самолетов; 3 — пожары; 4 — взрывы; 5 — прорывы плотин; 6 — выбросы вредных химических веществ; 7 — аварии самолетов (без пассажиров); 8 — 100 атомных реакторов

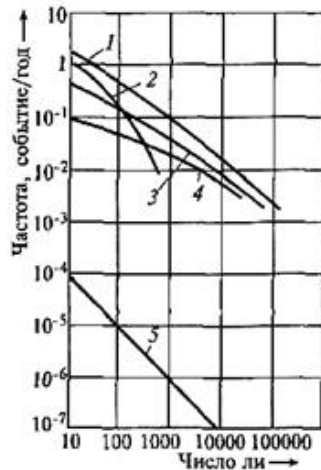


Рис. 1.26. Частота и число природных катастрофических событий

1 — суммарная кривая; 2 — смерчи; 3 — ураганы; 4 — землетрясения; 5 — падение метеоритов

природными катаклизмами, обычно существенно превосходят угрозы, сопутствующие эксплуатации техники. На рис. 1.27 сопоставлены экономические последствия (ущерб), наносимые природными катаклизмами и техническими катастрофами.

При определении социально приемлемого риска обычно используют данные о естественной смертности людей, которая в индустриально развитых странах практически одинакова и изменяется с течением времени, отражая научно-технический прогресс. Однако риск естественной смерти зависит от возрастной группы людей: в возрасте 5...15 лет он имеет минимум и равен $2 \cdot 10^{-4}$ случаев/(чел. · год), при этом на каждый такой случай приходится 20 несчастных случаев постоянной нетрудоспособности (нс пн) и 200 несчастных случаев временной нетрудоспособности (нс вн).

Поэтому имеет смысл ввести реперное значение *абсолютного риска*

$$R_A = 10^{-4} \text{ ли / (чел. · год)}. \quad (1.44)$$

При определении значения *допустимого риска* R_d при наличии отдельного источника опасности (технической установки) следует иметь в виду, что человеку обычно угрожает несколько источников опасности и, следовательно, должно выполняться неравенство: $R_d < R_A$. Обычно в качестве реперного значения допустимого риска при наличии отдельно взятого источника опасности берут

$$R_d = \begin{cases} 10^{-5} \text{ ли / (чел. · год)} \\ 10^{-4} \text{ нс пн / (чел. · год)} \\ 10^{-3} \text{ нс вн / (чел. · год)}. \end{cases} \quad (1.45)$$

Условие безопасности для населения можно сформулировать следующим образом: величина дополнительного риска, вызванного техническими причинами, для подавляющего большинства людей не должна превосходить реперное значение абсолютного риска R_A (рис 1.28):

$$R \leq R_A. \quad (1.46)$$

Рис. 1.28 показывает, как велика доля тех людей, для которых среднегодовые значения риска вследствие присутствия технического фактора выше значения R_A . Среднегодовое значение риска для конкретного человека зависит от источников опасностей и времени их воздействия.

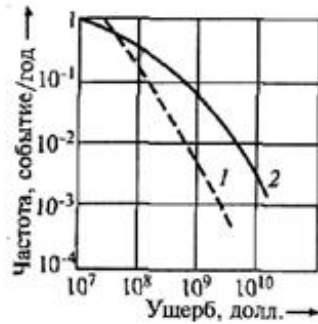


Рис. 1.27. Ущерб, наносимый источниками техногенного (1) и природного (2) происхождения

Рассматривая отдельно взятый источник опасности и учитывая, что индивидуальный риск обычно зависит от расстояния $R = R(r)$, условие безопасности для всех r можно записать в виде

$$R(r) \leq R_d. \quad (1.47)$$

Однако это неравенство нуждается в корректировке, когда последствия ЧП могут быть весьма значительными. Как следует из рис. 11.25 (кривая 1), имеет смысл считать приемлемым критерием максимального числа летальных исходов в год значение $N_0 = 100$. Если при определенных условиях можно ожидать число летальных исходов $N > N_0$ то значение допустимого риска следует уменьшить пропорционально отношению N_0/N (рис. 11.29), так что условие безопасности будет иметь вид

$$R(r) \leq \begin{cases} R_d N_0 / N & \text{при } N \geq N_0, \\ R_d & \text{при } N \leq N_0. \end{cases} \quad (1.48)$$

При заданном источнике анализ опасностей будет включать идентификацию потенциальных ЧП, численную оценку риска и этап управления риском. Оценку и управление риском можно проводить в следующем порядке.

Пусть плотность людей на единицу площади рабочей зоны определена как функция $p(r)$. Тогда общий риск применительно к отдельному источнику

$$R = \int R(r)p(r)dr. \quad (1.49)$$

При наличии n источников опасности для нахождения индивидуального риска можно использовать принцип суперпозиции

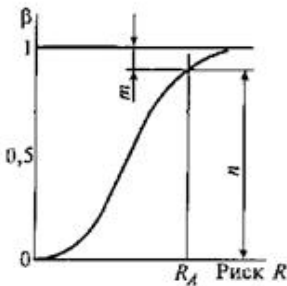


Рис. 1.28. Обычный характер функции распределения среднегодового риска

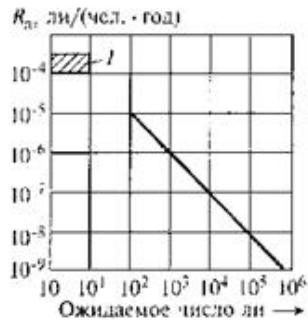


Рис. 1.29. Зависимость R_d от ожидаемого числа летальных исходов

β — доля людей с индивидуальным риском, меньшим R ; m — доля людей с чрезмерно высоким риском; n — доля людей с приемлемым риском

I — наименьшее значение естественной смертности

$$R(r) = \sum_{i=1}^n R_i(r), \quad (1.50)$$

где $R_i(r)$ – индивидуальный риск при i -м источнике опасности.

Один и тот же объект может быть источником разных опасностей. Например, при транспортировании топлива между пунктами A и B можно выделить поле опасности, связанное с токсичностью топлива, и поле опасности, связанное с горючестью топлива, которые в общем случае различны.

Далее проверяют выполнение неравенства (1.50.). В дополнение к этому неравенству, которое ограничивает индивидуальный риск, следует учесть также условие, рассматривающее коллективный риск:

$$R = \int R(r) \rho(r) dr \leq N_0 R_d. \quad (1.51)$$

Отметим, что при определении индивидуального риска необходимо учитывать частоту появления персонала и время их пребывания в заданном месте. Однако на практике индивидуальный риск обычно рассчитывают для гипотетического индивидуума, постоянно находящегося в заданном месте. Таким образом, индивидуальный риск отражает характеристику опасности технической установки вне зависимости от поведения персонала.

Как правило, индивидуальный риск уменьшается с увеличением расстояния от технической установки и в заданном месте может быть изображен в виде кривых изорисков. Например, на рис. 1.30 схематично показано поле рисков от трех установок. При суперпозиции полей делается допущение, состоящее в том, что исключается одновременное появление ЧП на всех установках из-за малой вероятности их возникновения.

При принятии решений следует иметь в виду, что для ряда источников невозможно достичь уровня «нулевой» опасности. На рис. 1.31 кривая 1 соответствует случаю, когда можно достичь абсолютной безопасности, или нулевой опасности. В этом случае при расходах на защиту при необходимом конечном значении $X = X_0$ риск R становится равным нулю. Кривая 2 соответствует случаю, когда достичь абсолютной безопасности принципиально невозможно. Такое поведение эффективности затрат на защиту

характерно, например, для радиационно опасных производств, транспорта, промышленных предприятий. Если придерживаться принципа абсолютной безопасности, то необходимо применить все меры защиты, которые практически можно осуществить. Однако при этом помимо прямого риска $R_{пр}$, создаваемого данной технологией, и на

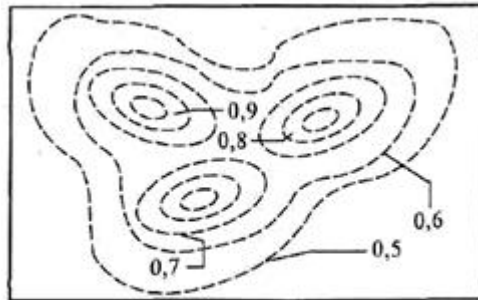


Рис. 1.30. Вариант изображения поля изорисков

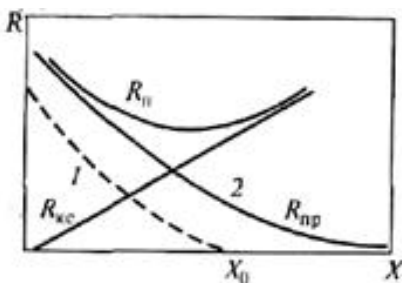


Рис.1.31. Зависимость риска от расходов на защиту

$R_n = R_{пp} + R_{кc}$. Поэтому при наличии источников, которые не позволяют достичь уровня нулевой опасности, следует принимать вариант решения с оптимизацией риска.

Для выполнения условий безопасности может потребоваться внесение изменений в следующие компоненты, управляющие риском: конструкторские решения; аварийные методики; учебные, тренировочные программы, программы по подготовке; руководство по эксплуатации; нормативные документы; программы по безопасности.

Анализ риска, обусловленного наличием источника вредного Действия, состоит из этапа оценки риска, сопровождаемого исследованиями, и этапа управления



Рис. 1.32. Схема анализа риска, обусловленного источником, воздействующим на здоровье

риском (рис. 1.32). На этапе оценки устанавливаются последствия, вызываемые разными дозами и в разных условиях в данном коллективе. На этапе управления риском анализируются разные альтернативы и выбирают наиболее подходящие управляющие воздействия.

Анализ риска различных систем ЧМС обычно заканчивают процедурой ранжирования. Упрощенно ранжирование рисков можно провести в зависимости от тяжести повреждения и частоты ЧП. В табл. 1.18 дан возможный вариант качественной оценки тяжести повреждений, а в табл. 1.19 показано, как можно классифицировать частоту потенциальных ЧП. Из этих таблиц следует, что если в результате анализа опасностей ЧП отнесено по тяжести потенциального повреждения к категории 1 (катастрофическое), а частота ЧП отмечена классом А (частое), то усилия должны быть сосредоточены на устранении опасности конструкторскими мерами. Если потенциальное ЧП имеет категорию 1 тяжести повреждения, то класс частоты ЧП должен быть Е, а при классе частоты А должна быть категория тяжести 4, тогда величина риска не будет большой. Эта точка зрения ведет к допущению того факта, что вероятность ЧП приемлемого риска обратно пропорциональна тяжести повреждения.

Используя частоту потенциальных ЧП и тяжесть повреждения, можно ранжировать риски так, как показано в табл. 1.20, которая иллюстрируется рис. 1.33.



Рис. 1.33. Классификация риска в зависимости от тяжести повреждения и частоты чепе

Таблица 1.17

Тяжесть повреждения	Категория	Описание потенциального ЧП
Катастрофическая	1-я	Несчастный случай с летальным исходом или повреждение системы, исключающее восстановление
Критическая	2-я	Несчастный случай с тяжелым исходом или значительный ущерб собственности или окружающей среды
Ощутимая	3-я	Несчастный случай или ущерб собственности или окружающей среды
Пренебрежимая	4-я	ЧП при небольшом повреждении организма или собственности или окружающей среды

Таблица 1.18

Характеристика ЧП по частоте	Класс	Описание потенциального ЧП
Частое	А	Может происходить часто
Вероятное	В	Может происходить несколько раз в течение жизненного цикла системы ЧМС
Возможное	С	Возможно будет иметь место
Допустимое	Д	Невозможное, но полностью исключить из рассмотрения нельзя
Нулевое	Е	Настолько невероятно, что может быть исключено из рассмотрения

Характеристика и класс частоты ЧП		Категория и тяжесть повреждения			
		1-я – катастрофическое	2-я – критическое	3-я – ошутимое	4-я – пренебрежимое
Частое	A	1A	2A	3A	4A
Вероятное	B	1B	2B	3B	4B
Возможное	C	1C	2C	3C	4C
Допустимое	D	1D	2D	3D	4D
Нулевое	E	1E	2E	3E	4E
Классификация риска:				Ранжирование риска:	
1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 3A 1D, 2C, 2D, 3B, 3C 1E, 2E, 3D, 3E, 4A, 4B 4C, 4D, 4E				Неприемлем Нежелателен Допустим с пересмотром Допустим	

В процессе управления риском выделяют управление техническим риском (УТР) и управление корпоративным риском (УКР).

УТР есть процесс, в результате которого принимаются решения о согласии с известным риском или о необходимости устранения опасности и смягчения последствий. Методы УТР основаны на инженерных знаниях и могут в качестве своей цели ставить, например, задачу повышения надежности системы.

УКР может подразумевать:

а) Уменьшение риска. Уменьшения риска можно достичь техническим путем или организационными методами, например управлением опасностями в режиме реагирования;

б) Аннулирование риска. Аннулирование неприемлемо большого риска можно осуществить, например, путем упразднения какого-либо производства, изменением производственного процесса или заменой опасных материалов на неопасные;

в) Сохранение риска. Риск может быть сохранен при его знании и не знании. Однако в этом пункте подразумевается, что управленческий персонал сознательно решает сохранить известный ему риск;

г) Передачу риска. Риск может быть передан, например, из одного цеха в другой или сменщикам вместе с техникой.

С целью принятия окончательного решения результаты оценки риска рассматривают с учетом инженерных, экономических и политических аспектов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Укажите объекты анализа опасностей системы ЧМС.
2. Укажите структурные элементы управления опасностями на стадии эксплуатации.
3. В чем состоит качественный и количественный анализ опасностей?
4. Что такое риск? Назовите виды риска. Как рассчитывается риск?

Глава 2

СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ТРАВМООПАСНОСТИ И ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Воздействие негативных факторов технических систем приводит к травмированию и профессиональным заболеваниям работающих

Производственная травма представляет собой внезапное повреждение организма человека и потерю им трудоспособности, вызванные несчастным случаем на производстве. Повторение несчастных случаев, связанных с производством, называется производственным травматизмом.

Профессиональное заболевание – это повреждение здоровья работника в результате постоянного или длительного воздействия на организм вредных условий труда. Различают острые и хронические заболевания. К острым относят профессиональные заболевания, возникшие внезапно (в течение 1 рабочей смены) из-за воздействия вредных производственных факторов с большим превышением ПДК.

Методы и средств обеспечения безопасной жизнедеятельности работающих в цехе: Существуют три основных метода:

А – метод использующий пространственное и (или) временное разделение гомосферы (пространство, где находится человек в процессе рассматриваемой деятельности) и ноносферы (пространство, в котором постоянно существуют или периодически возникают опасности). Это достигается при механизации или автоматизации производственных процессов, дистанционном управлении оборудованием, использовании манипуляторов и роботов различных поколений.

Б – метод направленный на нормализацию ноносферы путём исключения опасностей и на приведение характеристик ноносферы в соответствии с характеристиками человека. Это совокупность мероприятий, защищающих человека от шума, вибраций, газа, пыли, опасности травмирования и т. д. С помощью СКЗ.

В – метод направленный на адаптацию человека к соответствующей среде и повышение его защищённости (с помощью СИЗ). Он реализуется путём профотбора, обучения, инструктирования, психологического воздействия и т. д.

2.1. ЗАЩИТА ОТ МЕХАНИЧЕСКОГО ТРАВМИРОВАНИЯ

К средствам защиты от механического травмирования относятся:

- предохранительные устройства
- тормозные устройства

- оградительные устройства (кожухи, двери, щиты, планки и др.)
- средства автоматического контроля и сигнализации
- системы дистанционного управления
- СИЗ

Системы дистанционного управления и автоматические сигнализаторы на опасную концентрацию паров, газов, пылей применяют чаще всего во взрывоопасных производствах и производствах с выделением в воздух рабочей зоны токсичных веществ.

Предохранительные защитные средства предназначены для автоматического отключения агрегатов и машин при отклонении какого-либо параметра, характеризующего режим работы оборудования, за пределы допустимых значений. Следовательно при аварийных режимах (увеличении давления, температуры, рабочих скоростей, силы тока, крутящих моментов и т. п.) исключается возможность взрывов, поломок, воспламенений. В соответствии с ГОСТ 12.4.125–83 предохранительные устройства по характеру действия бывают блокировочными и ограничительными.

Блокировочные устройства по принципу действия подразделяют на:

- механические;
- электронные;
- электрические;
- электромагнитные;
- пневматические;
- гидравлические;
- оптические;
- магнитные;
- комбинированные.

Ограничительные устройства по конструктивному исполнению подразделяют на:

- муфты;
- штифты;
- клапаны;
- шпонки;
- мембраны;
- пружины;
- сильфоны и шайбы.

Блокировочные устройства препятствуют проникновению человека в опасную зону либо во время пребывания его в этой зоне устраняют опасный фактор.

Особенно большое значение этим видам средств защиты придается на рабочих местах агрегатов и машин, не имеющих ограждений, а также там, где работа может вестись при снятом или открытом ограждении.

Механическая блокировка представляет собой систему, обеспечивающую связь между ограждением и тормозным (пусковым) устройством. При снятом ограждении агрегат невозможно растормозить, а следовательно, и пустить его в ход.

Электрическую блокировку применяют на электроустановках с напряжением от 500 В и выше, а также на различных видах технологического оборудования с

электроприводом. Она обеспечивает включение оборудования только при наличии ограждения.

Электромагнитную (радиочастотную) блокировку применяют для предотвращения попадания человека в опасную зону. Если это происходит, высокочастотный генератор подает импульс тока к электромагнитному усилителю и поляризованному реле. Контакты электромагнитного реле обесточивают схему магнитного пускателя, что обеспечивает электромагнитное торможение привода за десятые доли секунды. Аналогично работает магнитная блокировка, использующая постоянное магнитное поле.

Оптическая блокировка находит применение в кузнечно-прессовых и механических цехах машиностроительных заводов. Световой луч, попадающий на фотозлемент, обеспечивает постоянное протекание тока в обмотке блокировочного, электромагнита. Если в момент нажатия педали в рабочей (опасной) зоне штампа окажется рука рабочего, падение светового тока на фотозлемент прекращается, обмотки блокировочного магнита обесточиваются, его якорь под действием пружины выдвигается и включение пресса педалью становится невозможным.

Электронную (радиационную) блокировку применяют для защиты в опасных зонах на прессах, гильотинных ножницах и других видах технологического оборудования, применяемого в машиностроении. Преимуществом блокировки с радиационными датчиками является то, что они позволяют производить бесконтактный контроль, так как не связаны с контролируемой средой. В ряде случаев при работе с агрессивными или взрывоопасными средами в оборудовании, находящемся под большим давлением или имеющем высокую температуру, блокировка с применением радиационных датчиков является единственным средством для обеспечения требуемых условий безопасности.

Пневматическая схема блокировки широко применяется в агрегатах, где рабочие тела находятся под повышенным давлением: турбинах, компрессорах, воздуходувках и т. д. Ее основным преимуществом является малая инерционность.

Примерами ограничительных устройств являются элементы механизмов и машин, рассчитанные на разрушение (или несрабатывание) при перегрузках. К слабым звеньям таких устройств относятся: срезные штифты и шпонки, соединяющие вал с маховиком шестерней или шкивом; фрикционные муфты, не передающие движения при больших крутящих моментах; плавкие предохранители в электроустановках; разрывные мембраны в установках с повышенным давлением и т. п. Слабые звенья делятся на две основные группы: звенья с автоматическим восстановлением кинематической цепи после того, как контролируемый параметр пришел в норму (например, муфты трения), и звенья с восстановлением кинематической цепи путем замены слабого звена (например, штифты и шпонки). Срабатывание слабого звена приводит к останову машины на аварийных режимах.

Тормозные устройства подразделяют:

- по конструктивному исполнению – на колодочные, дисковые, конические и клиновые;
- по способу срабатывания – на ручные, автоматические и полуавтоматические;
- по принципу действия – на механические, электромагнитные, пневматические, гидравлические и комбинированные;

– по назначению – на рабочие, резервные, стояночные и экстренного торможения.

Оградительные устройства – класс средств защиты, препятствующих попаданию человека в опасную зону. Оградительные устройства применяют для изоляции систем привода машин и агрегатов, зоны обработки заготовок на станках, прессах, штампах, оголенных токоведущих частей, зон интенсивных излучений (тепловых, электромагнитных, ионизирующих), зон выделения вредных веществ, загрязняющих воздушную среду, и т. п.. Ограждают также рабочие зоны, расположенные на высоте (леса и т. п.).

Конструктивные решения оградительных устройств весьма разнообразны. Они зависят от вида оборудования, расположения человека в рабочей зоне, специфики опасных и вредных факторов, сопровождающих технологический процесс. В соответствии с ГОСТ 12.4.125–83, классифицирующим средства защиты от механического травмирования, оградительные устройства подразделяют:

- по конструктивному исполнению – на кожухи, дверцы, щиты, козырьки, планки, барьеры и экраны;
- по способу изготовления – на сплошные, несплошные (перфорированные, сетчатые, решетчатые) и комбинированные;
- по способу установки – на стационарные и передвижные.

Примерами полного стационарного ограждения служат ограждения распределительных устройств электрооборудования, кожуха галтовочных барабанов, корпуса электродвигателей, насосов и т.п.; частичного – ограждение фрез или рабочей зоны станка.

Возможно применение подвижного (съёмного) ограждения. Оно представляет собой устройство, заблокированное с рабочими органами механизма или машины, вследствие чего закрывает доступ в рабочую зону при наступлении опасного момента. Особенно широкое распространение получили такие ограничительные устройства в станкостроении (например, в станках с ЧПУ ОФЗ–36).

Переносные ограждения являются временными. Их используют при ремонтных и наладочных работах для защиты от случайных прикосновений к токоведущим частям, а также от механических травм и ожогов. Кроме того, их применяют на постоянных рабочих местах сварщиков для защиты окружающих от воздействия электрической дуги и ультрафиолетовых излучений (сварочные посты). Выполняются они чаще всего в виде щитов высотой 1,7 м.

Конструкция и материал ограждающих устройств определяются особенностями оборудования и технологического процесса в целом. Ограждения выполняют в виде сварных и литых кожухов, решеток, сеток на жестком каркасе, а также в виде жестких сплошных щитов (щитков, экранов). Размеры ячеек в сетчатом и решетчатом ограждении определяются в соответствии с ГОСТ 12.2.062–81. В качестве материала ограждений используют металлы, пластмассы, дерево. При необходимости наблюдения за рабочей зоной кроме сеток и решеток применяют сплошные оградительные устройства из прозрачных материалов (оргстекла, триплекса и т. д.).

Чтобы выдерживать нагрузки от отлетающих при обработке частиц и случайные воздействия обслуживающего персонала, ограждения должны быть достаточно прочными и хорошо крепиться к фундаменту.

2.2 ВЗРЫВОЗАЩИТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

Взрывозащита технологического оборудования – это обеспечение контроля за технологическим оборудованием при его проектировании, изготовлении и эксплуатации с целью недопущения возникновения взрыва при эксплуатации данного оборудования.

Ни одно производство не обходится без использования систем повышенного давления (трубопроводов, баллонов и емкостей для хранения или перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов, газгольдеров и т. д.). Любые системы повышенного давления всегда представляют потенциальную опасность.

Причинами разрушения или разгерметизации систем повышенного давления могут быть: внешние механические воздействия, старение систем (снижение механической прочности); нарушение технологического режима; конструкторские ошибки; изменение состояния герметизируемой среды; неисправности в контрольно-измерительных, регулирующих и предохранительных устройствах; ошибки обслуживающего персонала и т. д.

Взрывозащита систем повышенного давления достигается организационно-техническими мероприятиями;

- разработкой инструктивных материалов, регламентов, норм и правил ведения технологических процессов;
- организацией обучения и инструктажа обслуживающего персонала;
- осуществлением контроля и надзора за соблюдением норм технологического режима, правил и норм техники безопасности, пожарной безопасности и т. п.

Оборудование повышенного давления должно быть оснащено системами взрывозащиты, которые предполагают:

- применение гидрозатворов, огнепреградителей, инертных газов или паровых завес;
- защиту аппаратов от разрушения при взрыве с помощью устройств аварийного сброса давления (предохранительные мембраны и клапаны, быстродействующие задвижки, обратные клапаны и т. д.).

Рассмотрим средства обеспечения безопасности основных элементов систем повышенного давления.

Все трубопроводы подвергают гидравлическим испытаниям на прочность при пробном давлении на 25 % выше рабочего, но не менее 0,2 МПа.

Кроме испытаний водой на прочность газопроводы, а также трубопроводы для токсичных газов испытывают на герметичность воздухом при пробном давлении, равном рабочему. Отсутствие утечки воздуха из соединений проверяют мыльным раствором или погружением узлов в ванну с водой.

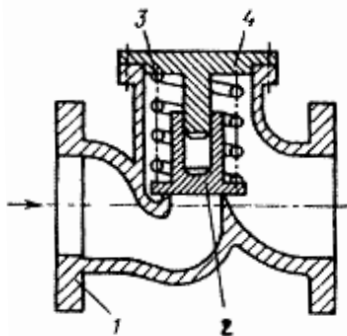


Рис. 2.1. Обратный клапан: 1 – корпус; 2 – золотник; 3 – пружина; 4 – крышка

Газопроводы прокладывают с небольшим уклоном в сторону движения газа, а буферную емкость снабжают в нижней части спускной трубой с краном для систематического удаления водяного конденсата и масла. Паропроводы снабжают конденсатоотводчиками, которые позволяют предотвратить возникновение гидравлических ударов и пробок. Во избежание возникновения напряжений от тепловых деформаций, особенно в наземных газопроводах, устраивают специальные компенсаторы в виде П-образного участка.

Трубопроводы со сжиженными газами прокладывают на расстоянии не менее 0,5 м от трубопроводов с горячим рабочим телом, при этом последние изолируют, а трубопроводы с легко замерзающими газами монтируют рядом с паропроводами и трубопроводами горячей воды. Для предотвращения ожогов кислотами и щелочами фланцевые соединения трубопроводов закрывают защитными кожухами. Трубопроводы для транспортирования жидкого и газообразного кислорода периодически, а также после каждого ремонта обезжиривают. Для обезжиривания используют тетрахлорид углерода, трихлорэтилен или тетрахлорэтилен.

Трубопроводы, по которым в зону реакции к аппарату или устройству подается горючее и окислитель, оборудуют специальными устройствами: автоматическими задвижками, обратными клапанами, гидравлическими затворами, огне- и взрывопреградителями. Обратные клапаны препятствуют обратному ходу потока рабочего тела в случае начала процесса горения и появления противодействия. Предохранительные затворы применяют в генераторах ацетилена для исключения обратного проскака пламени от газовой горелки сварочного агрегата в генератор.

Стационарные сосуды, баллоны для хранения и перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов: баллоны (ГОСТ 949–73) изготовляют малой (0,4...12 л), средней (20...50 л) и большой (80...500 л) вместимости. Баллоны малой и средней вместимости изготовляют из углеродистой стали на рабочее давление 10, 15 и 20 МПа, из легированной стали – на 15 и 20 МПа. У горловины каждого баллона на сферической части выбивают следующие данные:

- товарный знак предприятия-изготовителя, дату (месяц и год) изготовления (последнего испытания) и год следующего испытания;
- вид термообработки (нормализация, закалка с отпуском);
- рабочее и пробное гидравлическое давление (МПа);
- вместимость баллона, л; массу баллона, кг;
- клеймо ОТК;
- обозначение действующего стандарта.

Для предотвращения проникновения в опорожненный баллон посторонних газов, а также для определения (в необходимых случаях), какой газ находится в баллоне, или герметичности баллона и его арматуры заводы-наполнители принимают опорожненные баллоны с остаточным давлением не менее 0,05 МПа, а баллоны для растворенного ацетилена – не менее 0,05 и не более 0,1 МПа.

Взрыв ацетиленовых баллонов может быть вызван старением пористой массы (активированного угля в ацетоне), в которой растворяется ацетилен. Образование смеси горючее – окислитель в кислородных баллонах чаще всего связано с попаданием в его вентиль масел; в водородных – с загрязнением их кислородом, а также с появлением в них окалина.

Действующие в настоящее время Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ–115–96), распространяются на:

- сосуды, работающие под давлением воды с температурой выше 115 °С или другой жидкости с температурой, превышающей температуру кипения при давлении 0,07 МПа, без учета гидростатического давления;

- сосуды, работающие под давлением пара или газа свыше 0,07 МПа;

- баллоны, предназначенные для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением свыше 0,07 МПа;

- цистерны и бочки для транспортирования и хранения сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50 °С превышает давление 0,07 МПа;

- цистерны и сосуды для транспортирования или хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,07 МПа создается периодически для их опорожнения;

- барокамеры.

Сосуды, на которые распространяется действие «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», до пуска их в эксплуатацию должны быть зарегистрированы в органах Госгортехнадзора. Исключение составляют:

- сосуды 1-й группы, работающие при температуре стенки не выше 200° С, у которых произведение давления в МПа на вместимость в м³ не превышает 0,05, а также сосуды 2-й, 3-й, 4-й групп, работающие при указанной выше температуре, у которых произведение давления в МПа на вместимость в м³ не превышает 0,1 (к первой группе относятся сосуды, содержащие взрывоопасные и пожароопасные среды, или вещества 1-го и 2-го классов опасности по ГОСТ 12.1.007 независимо от температуры стенки и расчетного давления (выше 0,07 МПа). 2-я, 3-я, 4-я группы сосудов определяются расчетным давлением и температурой стенки, при условии, что сосуд не содержит среду, указанную для группы 1);

- аппараты воздухоразделительных установок и разделения газов, расположенные внутри теплоизоляционного кожуха;

- резервуары воздушных электрических переключателей;

- бочки для перевозки сжиженных газов, баллоны вместимостью до 100 л включительно, установленные стационарно, а также предназначенные для транспортировки и (или) хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов;

- генераторы (реакторы) для получения водорода, используемые гидрометеорологической службой;

- сосуды, включенные в закрытую систему добычи нефти и газа (от скважин до магистрального трубопровода);

- сосуды для хранения или транспортировки сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, находящиеся под давлением периодически при их опорожнении;

- сосуды со сжатым и сжиженными газами, предназначенные для обеспечения топливом двигателей транспортных средств, на которых они установлены;

- сосуды, установленные в подземных горных выработках.

Для обеспечения безопасной и безаварийной эксплуатации сосуды и аппараты, работающие под давлением, должны подвергаться техническому освидетельство-

ванию после монтажа и пуска в эксплуатацию, периодически в процессе эксплуатации, а в необходимых случаях и внеочередному освидетельствованию.

Объемы, методы и периодичность технического освидетельствования оговариваются изготовителем и указываются в инструкциях по монтажу и эксплуатации. В случае отсутствия таких указаний техническое освидетельствование проводится по указанию «Правил» ПБ10–115–96. Так, для сосудов, не подлежащих регистрации в органах Госгортехнадзора, установлена следующая периодичность:

- гидравлические испытания пробным давлением один раз в восемь лет;
- наружный и внутренний осмотр один раз в два года при работе со средой, вызывающей разрушение и физико-химическое превращение материала (коррозия и т. п.) со скоростью не более 0,1 мм в год и 12 месяцев при скорости более 0,1 мм в год.

Сроки и объемы освидетельствований других типов сосудов и баллонов, зарегистрированных и не зарегистрированных в органах Госгортехнадзора, также устанавливаются в зависимости от условий эксплуатации (скорость физико-химических превращений) и типа сосуда.

При гидравлических испытаниях испытываемую емкость заполняют водой, после чего давление воды плавно повышают до значений пробного давления, указанного в табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Давление при гидравлических испытаниях

Тип сосуда	Пробное давление, МПа	Примечание
Кроме литых Литые	$P_{пр} = 1,25 K P_{рас}$ $P_{пр} = 1,50K P_{рас}$	Ударная вязкость материала более 20 Дж / см
Из не металлических материалов	$P_{пр} = 1,30 K P_{рас}$	Ударная вязкость материала менее 20 Дж / см
Из не металлических материалов	$P_{пр} = 1,60 K P_{рас}$	
Криогенные сосуды	$P_{пр} = 1,25 P_{рас} - 0,1 \text{ МПа}$	Наличие вакуума в изоляционном пространстве
Металлопластиковые	$P_{пр} = (1,25K_m + \alpha(1 - K_m))P_{рас} K$	

Применяемая вода должна иметь температуру не ниже 5 и не выше 40 °С, если иное не оговорено в паспорте на сосуд. Разность температур стенки сосуда и окружающего воздуха во время испытаний не должна вызывать конденсации влаги на поверхности стенок сосуда. Использование сжатого воздуха или другого газа для подъема давления не допускается.

Давление в испытываемом сосуде контролируется двумя манометрами одного типа, предела измерения, одинаковых классов точности, цены деления. Время выдержки пробного давления устанавливается разработчиком и обычно определяется толщиной стенки сосуда. Так, при толщине стенки до 50 мм оно составляет 10 мин, при 50–100 мм – 20 мин, свыше 100 мм – 30 мин. Для литых неметаллических и многослойных сосудов независимо от толщины стенки время выдержки составляет 60 мин.

После выдержки под пробным давлением давление снижается до расчетного, при котором производят осмотр наружной поверхности сосуда, всех его разъемных и сварных соединений. Сосуд считается выдержавшим гидравлическое испытание, если не обнаружено:

- течи, трещин, слезок, потения в сварных соединениях и на основном металле;

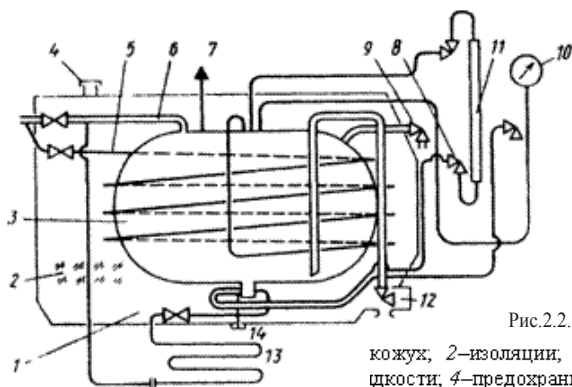


Рис.2.2. Криогенный резервуар:

кожух, 2—изоляции, 3—сосуд для криогенной жидкости, 4—предохранительная мембрана, — змеевик, 6 — дренажная труба, 7 — предохранительный клапан, 8 — вентиль; 9 — предохранительный клапан, 10—манометр, 11—указатель уровня, 12—вентиль для слива, 13—испаритель; — пробка для продувки отстойника

–течи в разъемных соединениях;

– видимых остаточных деформаций, падения давления по манометру.

Гидравлическое испытание допускается заменять пневматическим при условии контроля этого испытания методом акустической эмиссии или другим, согласованным с Госгортехнадзором.

Техническое освидетельствование установок, работающих под давлением, зарегистрированных в органах Госгортехнадзора, производит технический инспектор, а установки, не зарегистрированные в этих органах,— лицо, на которое приказом по предприятию возложен надзор за безопасностью эксплуатации установок, работающих под давлением.

Техническое освидетельствование установок, работающих под давлением, зарегистрированных в органах Госгортехнадзора, производит технический инспектор, а установки, не зарегистрированные в этих органах,—лицо, на которое приказом по предприятию возложен надзор за безопасностью эксплуатации установок, работающих под давлением.

Сжиженные газы хранят и перевозят в стационарных и транспортных сосудах —цистернах (сосуды для сжиженных газов), которые в случае хранения криогенных жидкостей снабжены высокоэффективной тепловой изоляцией.

Криогенные сосуды номинальным объемом 6,3..40 л изготавливают в соответствии с ТУ 26-04-622–87.

Стационарные резервуары изготавливают объемом до 500 тыс. л и более. В зависимости от конструкции они бывают цилиндрической (горизонтальные и вертикальные) и шарообразной формы. Основные параметры и размеры внутренних резервуаров для сжиженных газов регламентированы ТУ 26-04-622–87.

Транспортные сосуды (цистерны) обычно имеют объем до 35 тыс. л. Принципиальная схема такого резервуара представлена на рис. 5.3. Низкие температуры,

при которых эксплуатируются внутренние сосуды криогенных резервуаров и цистерн, накладывают ограничения на материалы, используемые при их изготовлении.

В промышленности в настоящее время используют газгольдеры низкого и высокого давления. Газгольдеры низкого давления – это сосуды переменного объема, давление газа в которых практически всегда остается постоянным. Из газгольдеров высокого давления расходуемый газ подается сначала на редуктор, а затем к потребителю.

Для управления работой и обеспечения безопасных условий эксплуатации сосуды в зависимости от назначения должны быть оснащены:

- запорной или запорно-регулирующей арматурой;
- приборами для измерения давления;
- приборами для измерения температуры;
- предохранительными устройствами;
- указателями уровня жидкости.

Арматура должна иметь следующую маркировку:

- наименование или товарный знак изготовителя;
- условный проход;
- условное давление, МПа (допускается указывать рабочее давление и допустимую температуру);
- направление потока среды;
- марку материала корпуса.

На маховике запорной арматуры должно быть указано направление его вращения при открывании или закрывании арматуры. Арматура с условным проходом более 20 мм, изготовленная из легированной стали или цветных металлов, должна иметь паспорт установленной формы, в котором должны быть указаны данные по химсоставу, механическим свойствам, режимам термообработки и результатам контроля качества изготовления неразрушающими методами.

Каждый сосуд и самостоятельные полости с разными давлениями должны быть снабжены манометрами прямого действия. Манометр устанавливается на штуцере сосуда или трубопроводе между сосудом и запорной арматурой. Манометры должны иметь класс точности не ниже 2,5–при рабочем давлении сосуда до 2,5 МПа, 1,5–при рабочем давлении сосуда свыше 2,5 МПа. Манометр должен выбираться с такой шкалой, чтобы предел измерения рабочего давления находился во второй трети шкалы. На шкале манометра владельцем сосуда должна быть нанесена красная черта, указывающая рабочее давление в сосуде. Манометр должен быть установлен так, чтобы его показания были отчетливо видны обслуживающему персоналу. Номинальный диаметр корпуса манометров, устанавливаемых на высоте до 2 м от уровня площадки наблюдения за ним, должен быть не менее 100 мм, на высоте от 2 до 3 м – не менее 160 мм. Установка манометров на высоте более 3 м от уровня площадки не разрешается.

Между манометром и сосудом должен быть установлен трехходовый кран или заменяющее устройство, позволяющее проводить периодическую проверку манометра с помощью контрольного.

Проверка манометров с их опломбированием и клеймением должна производиться не реже одного раза в 12 месяцев. Кроме того, не реже одного раза в 6 месяцев

владельцем сосуда должна производиться дополнительная проверка рабочих манометров контрольными с записью результатов в журнал контрольных проверок.

Манометр не допускается к применению в случаях, когда:

- отсутствует пломба или клеймо с отметкой о проведении проверки;
- просрочен срок проверки;
- стрелка при его отключении не возвращается в нулевое положение на величину, превышающую половину допускаемой погрешности для данного прибора;
- разбито стекло или имеются повреждения, которые могут отразиться на правильности его показаний.

Сосуды, работающие при изменяющейся температуре стенок, должны быть снабжены приборами для контроля скорости и равномерности прогрева по длине и высоте сосуда и реперами для контроля тепловых перемещений.

Необходимость оснащения сосудов указанными приборами и реперами, а также допустимая скорость прогрева и охлаждения сосудов определяются разработчиком проекта и указываются изготовителем в паспортах сосудов или инструкциях по монтажу и эксплуатации.

Каждый сосуд должен быть снабжен предохранительными устройствами от повышения давления выше допустимого значения.

В качестве предохранительных устройств применяются:

- пружинные предохранительные клапаны;
- рычажно-грузовые предохранительные клапаны;
- импульсные предохранительные устройства, состоящие из главного предохранительного клапана и управляющего импульсного клапана прямого действия;
- предохранительные устройства с разрушающимися мембранами (предохранительные мембраны);
- другие устройства, применение которых согласовано с Госгортехнадзором России.

Распространенным средством защиты технологического оборудования от разрушения при взрывах являются предохранительные мембраны (разрывные, ломающиеся, срезные, хлопающие, специальные) и взрывные клапаны.

Достоинством предохранительных мембран является предельная простота их конструкции, что характеризует их как самые надежные из всех существующих средств взрывозащиты. Кроме того, мембраны практически не имеют ограничений по пропускной способности. Существенным недостатком предохранительных мембран является то, что после срабатывания защищаемое оборудование остается открытым, это, как правило, приводит к остановке технологического процесса и к выбросу в атмосферу всего содержимого аппарата. При разгерметизации технологического оборудования нельзя исключить возможность вторичных взрывов, которые бывают обусловлены подсосом атмосферного воздуха внутрь аппарата через открытое отверстие мембраны.

Использование на технологическом оборудовании взрывных клапанов дает возможность устранить эти негативные последствия, так как после срабатывания и сброса отверстие вновь закрывается и таким образом не вызывает необходимости немедленной остановки оборудования и проведения восстановительных работ. К недостаткам взрывных клапанов следует отнести их большую инерционность по

сравнению с мембранами, сложность конструкции, а также недостаточную герметичность, ограничивающую область их применения (они могут использоваться для взрывозащиты оборудования, работающего при нормальном давлении).

Широко используются разрывные мембраны, изготавливаемые из тонколистового металлического проката. Конструктивное оформление узла зажима мембраны может быть различным (шип – паз, конический или линзовый зажим).

При нагружении рабочим давлением мембрана испытывает большие пластические деформации и приобретает ярко выраженный купол, по форме очень близкий к сферическому сегменту. Чаще всего куполообразную форму мембране придают заранее при изготовлении, подвергая ее нагружению давлением, составляющим около 90 % разрывного. При этом фактически исчерпывается почти весь запас пластических деформаций материала, поэтому еще больше увеличивается быстрое действие мембраны.

Разрывное давление P_c , такой оболочки (давление срабатывания мембраны)

$$P_c = 2\Delta\sigma \cdot \delta_{вр} \cdot R \quad (2.1)$$

где $\Delta\sigma$ – толщина материала мембраны; $\delta_{вр}$ – временное сопротивление материала при растяжении (предел прочности); R – радиус купола.

Минимальный (на пределе разрыва мембраны) радиус купола, где δ – относительное удлинение при разрыве.

Для определения времени полного раскрытия сбросного отверстия мембран можно использовать соотношение:

$$\begin{aligned}
 &0,75a \text{ – для разрывных мембран со сплошным куполом;} \\
 I_0 &= 0,500a \text{ – для разрывных мембран с прорезями;} \\
 &1,650a \text{ – для хлопающих мембран,}
 \end{aligned}$$

где $a = [(\pi D_p \Delta\sigma) / P_c]^{1/2}$; D и $\Delta\sigma$ – соответственно рабочий диаметр мембраны и толщина металлопроката, из которого изготовлена мембрана;

ρ – плотность материала мембраны, кг/м³. Наиболее распространенным средством защиты технологического оборудования от взрыва являются предохранительные клапаны. Однако и они имеют ряд существенных недостатков, в основном определяющихся большой инерционностью подвижных деталей клапанов.

Расчет и подбор предохранительного клапана заключается в определении количества газа (жидкости), вышедшего из сосуда, аппарата, или площади проходного сечения предохранительного устройства, а также расчете времени истечения при заданном конечном давлении. Давление P_{max} в защищаемой емкости не должно превышать значений, указанных ниже:

P_1 , МПа	P_t	P_{max} , МПа
<0,3	<	$P_p + 0,05$
<6,0	<	1,15 P_p
>6,0	<	1,1 P_p

Для подбора предохранительного клапана или мембраны необходимо по заданному массовому расходу, который определяется как максимальный аварийный расход среды, определить площадь проходного сечения клапана.

Важной характеристикой предохранительного устройства является время истечения. При истечении газа из сосуда или аппарата ограниченной постоянной емкости через сбросное отверстие постоянного сечения реализуется звуковой режим истечения, если давление $P_i \geq P''/\pi^*$, где P'' – давление в среде, в которую происходит истечение. В этом случае время истечения

$$\tau = \tau_i - \tau_0 = \frac{2}{n-1} \frac{V_0}{A F_0 \psi \cdot \sqrt{R \Theta_0}} \left[\left(\frac{P_0}{P_i} \right)^{\frac{n-1}{2n}} - 1 \right]. \quad (2.2)$$

Здесь нулевым индексом отмечены параметры в начальный момент времени. Если истечение происходит в дозвуковой области, то время истечения

$$\tau = \frac{V_0}{n A F_0 \sqrt{R \Theta_0}} \left(\frac{P_0}{P_i} \right)^{\frac{n-1}{n}} \int_{P'/P_0}^{P'/P_i} \frac{d(P'/P_0)}{\psi_1 (P'/P_0)^{\frac{n+1}{2n}}}. \quad (2.3)$$

Здесь нулевым индексом отмечены параметры в начальный момент времени.

Значение коэффициента расхода предохранительного устройства зависит от конструктивных особенностей предохранительного устройства и указывается в паспорте на него. Если таковые данные отсутствуют, то обычно полагают $A = \xi$ где ξ – коэффициент сопротивления предохранительного клапана.

Мембранные предохранительные устройства могут устанавливаться:

- вместо рычажно-грузовых и пружинных предохранительных клапанов, когда эти клапаны в рабочих условиях конкретной среды не могут быть применены вследствие их инерционности или других причин;

- перед предохранительными клапанами в случаях, когда предохранительные клапаны не могут надежно работать вследствие вредного воздействия рабочей среды (коррозия, эрозия, полимеризация, кристаллизация, прикипание, примерзание) или возможных утечек через закрытый клапан взрыво- и пожароопасных, токсичных, экологически вредных веществ и т. п.;

- параллельно с предохранительными клапанами для увеличения пропускной способности систем сброса давления;

- на выходной стороне предохранительных клапанов для предотвращения вредного воздействия рабочих сред со стороны сбросной системы и для исключения влияния колебаний противодавления со стороны этой системы на точность срабатывания предохранительных клапанов.

Предохранительные мембраны должны быть маркированы, при этом маркировка не должна оказывать влияния на точность срабатывания мембраны.

Содержание маркировки:

- наименование или товарный знак изготовителя;
- номер партии мембран;
- тип мембран;

- условный диаметр;
- рабочий диаметр;
- материал;
- минимальное и максимальное давление срабатывания мембран в партии при заданной температуре и при температуре 20 °С.

Порядок и сроки проверки исправности действия предохранительных устройств в зависимости от условий технологического процесса должны быть указаны в инструкции по эксплуатации предохранительных устройств, утвержденных владельцем сосуда в установленном порядке.

2.3 . ОПОЗНАВАТЕЛЬНАЯ ОКРАСКА ОБОРУДОВАНИЯ, ЕМКОВ С ВЕЩЕСТВОМ, СОСУДОВ, БАЛЛОНОВ

Сигнальные цвета и знаки безопасности предназначены для привлечения внимания работающих к непосредственной опасности, предупреждения о возможной опасности, предписания и разрешения определенных действий с целью обеспечения безопасности, а также для необходимой информации.

Сигнальные цвета и знаки безопасности не заменяют необходимых мероприятий по безопасности труда и средств защиты работающих, и применяются для знаков безопасности поверхностей конструкций, приспособлений и элементов производственного оборудования, которые могут служить источниками опасности для работающих, поверхностей ограждений и других защитных устройств, а также пожарной техники. Знаки безопасности, установленные на воротах и входных дверях помещений, означают, что зона действия этих знаков охватывает все помещение. Знаки безопасности, установленные у въезда (входа) на объект (участок), означают, что их действие распространяется на объект (участок) в целом. При необходимости ограничить зону действия знака соответствующее указание следует приводить в поясняющей надписи.

Знаки безопасности должны контрастно выделяться на окружающем их фоне и находиться в поле зрения людей, для которых они предназначены и должны быть расположены с таким расчетом, чтобы они были хорошо видны, не отвлекали внимания работающих и сами по себе не представляли опасности. На местах и участках, являющихся временно опасными, следует устанавливать переносные знаки безопасности и временные ограждения, окрашенные лакокрасочными материалами сигнальных цветов. Знаки и ограждения должны быть сняты после того, как отпадет необходимость в их применении.

Устанавливают следующие сигнальные цвета: красный, желтый, синий, зеленый. Смысловое значение сигнальных цветов и номера образцов (эталонов) цвета “Картотеки образцов (эталонов) цвета лакокрасочных материалов” приведены в табл.2.2.

Для усиления контраста сигнальных цветов их следует применять на фоне контрастных цветов. Контрастные цвета (см. табл.2.2.) необходимо применять также для выполнения символов и поясняющих надписей.

Красный сигнальный цвет следует применять для:

Таблица 2.2

Сигнальный цвет	Основное смысловое значение сигнального цвета	Номер образца (эталоны) цвета “Картотеки образцов (эталонов) цвета лакокрасочных материалов”	Контрастный цвет
Красный	Запрещение, непосредственная опасность, обозначение пожарной техники	6, 7, 9, 10, 11, 19, 37, 43, 62	Белый
Желтый	Предупреждение, возможная опасность	216, 218, 220, 221, 254, 255, 285, 286, 287	Черный
Синий	Предписание, знаки пожарной безопасности, информация	408, 409, 423, 424, 449, 450, 474, 485, 486	Белый
Зеленый	Безопасность, знак “Выходить здесь”	324, 325, 329, 385	Белый

– обозначения отключающих устройств механизмов и машин, в том числе аварийных;

– внутренних поверхностей крышек (дверец) шкафов с открытыми токоведущими элементами электрооборудования.

Если оборудование окрашено лакокрасочными материалами красного цвета, то указанные внутренние, поверхности крышек (дверец) должны быть желтого сигнального цвета;

– рукояток кранов аварийного сброса давления;

– корпусов масляных выключателей, находящихся в рабочем состоянии под напряжением;

– обозначения различных видов пожарной техники или ее элементов, требующих оперативного опознавания (пожарные машины, наземные части гидрант-колонок, огнетушители, баллоны и пусковые устройства установок пожаротушения, ручные пожарные извещатели и т. п.), а также средств общетехнического назначения, используемых в целях обеспечения пожарной безопасности (насосы спринклерных и дренчерных установок пожаротушения, клапанов внутренних пожарных кранов, телефоны прямой пожарной связи, ведра и лопаты в составе пожарных щитов и стенов и т. п.);

– сигнальных ламп, извещающих о нарушении технологического процесса или условий безопасности: “Тревога”, “Неисправность” и др.;

– окантовки щитов белого цвета для крепления пожарного инструмента и огнетушителей. Ширина окантовки должна составлять от 30 до 100 мм.

– захватных устройств промышленных роботов.

Не допускается окрашивать лакокрасочными материалами красного цвета спринклерные и дренчерные оросители, подводящие трубопроводы и другие стационарно устанавливаемые виды пожарной техники или ее элементы, не требующие оперативного опознавания.

Желтый сигнальный цвет следует применять для:

– элементов строительных конструкций, которые могут явиться причиной получения травм работающими: низких балок, выступов и перепадов в плоскости пола, малозаметных ступеней, пандусов, мест, в которых существует опасность

падения (кромки погрузочных платформ, грузовых поддонов, неогражденных площадок, люков, проемов и т.д.), сужений проездов малозаметных распорок, узлов, колонн, стоек и опор в местах интенсивного движения внутризаводского транспорта и т. д.;

– элементов производственного оборудования, неосторожное обращение с которыми представляет опасность для работающих: открытых движущихся частей оборудования, кромок оградительных устройств, неполностью закрывающихся движущиеся элементы производственного оборудования (ограждения шлифовальных кругов, фрез, зубчатых колес, приводных ремней, цепей и т. п.), ограждающих конструкций площадок для работ, проводимых на высоте, а также постоянно подвешенной к потолку или стенам технологической арматуры, выступающей в рабочее пространство:

– обозначения опасных при эксплуатации элементов внутризаводского транспорта, подъемно-транспортного оборудования и строительно-дорожных машин, площадок грузоподъемников, бамперов и боковых поверхностей электрокар, погрузчиков, тележек, поворотных платформ и боковых поверхностей стрел экскаваторов, захватов и площадок автопогрузчиков, рабочих органов сельскохозяйственных машин, элементов грузоподъемных кранов, обойм грузовых крюков и др.;

– постоянных и временных ограждений или элементов ограждений, устанавливаемых на границах опасных зон, у проемов, ям, котлованов, выносных площадок, постоянных и временных ограждений лестниц, перекрытий строящихся зданий, балконов и других мест, в которых возможно падение с высоты;

– подвижных монтажных устройств или их элементов и элементов грузозахватных приспособлений, подвижных частей кантователей, траверс, подъемников, подвижных частей монтажных вышек и лестниц;

– обозначения емкостей, содержащих опасные или токсичные вещества.

В зависимости от размеров поверхность емкости должна быть желтого сигнального цвета или иметь предупреждающую полосу желтого сигнального цвета шириной от 50 до 150 мм;

– обозначения площадей, которые в целях оперативной эвакуации должны быть всегда свободными (площадки у эвакуационных выходов и подходы к ним, у мест подачи пожарной тревоги и др.). Границы этих площадей следует обозначать сплошными линиями желтого сигнального цвета шириной от 50 до 100 мм, а сами площади штриховкой пола полосами желтого сигнального цвета шириной от 50 до 100 мм под углом 45°;

– внутренних поверхностей крышек, дверец, кожухов и других ограждений, закрывающих места расположения движущихся элементов производственного оборудования, требующих периодического доступа для контроля, ремонта, регулировки и т. п. Если указанные элементы производственного оборудования закрыты съемными ограждениями, то окраске лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета подлежат сами движущиеся элементы или поверхности смежных с ними неподвижных деталей, закрываемые ограждениями.

Поверхность ограждения должна быть желтого цвета или иметь предупреждающие чередующиеся вертикальные или горизонтальные полосы желтого сигнального и черного цветов при соотношении ширины полос 1:1.

Синий сигнальный цвет следует применять для предписывающих знаков.

Зеленый сигнальный цвет следует применять для световых табло (надпись белого цвета на зеленом фоне), эвакуационных выходов и декомпрессионных камер, сигнальных ламп, извещающих о нормальном режиме работы машин или автоматических линий, и для указательного знака.

Устанавливаются четыре группы знаков безопасности, приведенные в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Номер группы	Наименование знака	Форма знака	Применение поясняющей надписи
1	Запрещающий		Допускается поясняющая надпись на знаке (без наклонной полосы) или на дополнительной табличке
2	Предупреждающий		Допускается поясняющая надпись на знаке или на дополнительной табличке
3	Предписывающий		Допускается применять поясняющую надпись на внутреннем белом поле знака или на дополнительной табличке
4	Указательный		Допускается поясняющая надпись на знаке

При необходимости уточнить, ограничить или усилить действие знаков безопасности допускается применять дополнительные таблички прямоугольной формы с поясняющими надписями или с указательной стрелкой. Дополнительные таблички следует размещать горизонтально под знаком безопасности или вертикально справа от него. Длина дополнительной таблички должна быть не более диаметра или длины соответствующей стороны знака безопасности.

Размеры запрещающих и предупреждающих знаков безопасности для производственного оборудования и тары должны соответствовать указанным в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Размеры знаков для оборудования	Номера размеров знаков для оборудования					
	1	2	3	4	5	6
Внешний диаметр, мм	20	30	40	60	80	120
Сторона треугольника, мм	25	40	50	80	100	160

Запрещающие знаки предназначены для запрещения определенных действий и должны быть следующими: круг красного цвета с белым полем внутри, белой по контуру знака каймой и символическим изображением черного цвета на внутреннем белом поле, перечеркнутым наклонной полосой красного цвета (угол наклона 45°, слева сверху направо вниз). Ширина кольца красного цвета должна быть 0,09-0,1 внешнего диаметра, а ширина наклонной красной полосы – 0,08 внешнего диаметра, ширина белой каймы по контуру знака – 0,02 внешнего диаметра.


Допускается применять запрещающие знаки с поясняющей надписью, выполненной шрифтом черного цвета. При этом наклонную красную полосу не наносят. На знаках пожарной безопасности поясняющие надписи необходимо выполнять красным цветом. Смысловое значение, изображение и место установки запрещающих знаков указаны в табл. 2.5.

Предупреждающие знаки предназначены для предупреждения работающих о возможной опасности. Знаки должны быть следующими: равносторонний треугольник со скругленными углами желтого цвета, обращенный вершиной вверх, с каймой черного цвета шириной 0,05 стороны и символическим изображением черного цвета (табл.2. 6)..

Предписывающие знаки предназначены для разрешения определенных действий работающих только при выполнении конкретных требований безопасности труда (обязательное применение средств защиты работающих, принятие мер по обеспечению безопасности труда), требований пожарной безопасности и для указания путей эвакуации. Знаки должны быть следующими: круг синего цвета с белой каймой по контуру шириной 0,02 диаметра знака, внутри которого находится символическое изображение белого цвета. Для нанесения поясняющей надписи на знак необходимо внутри синего круга выполнить белое поле диаметром 0,7 диаметра знака (табл.2.7). Надписи, относящиеся к пожарной безопасности, должны быть красного цвета, остальные – черного цвета.

Указательные знаки предназначены для указания местонахождения различных объектов и устройств, пунктов медицинской помощи, питьевых пунктов, пожарных постов, пожарных кранов, гидрантов, огнетушителей, пунктов извещения о пожаре, складов, мастерских и др. Знаки должны быть следующими: синий прямоугольник, окантованный белой каймой по контуру, шириной 0,02 меньшей стороны прямоугольника с белым квадратом внутри со стороной, равной 0,7 меньшей стороны прямоугольника.

Таблица 2. 5

Номер знака	Смысловое значение	Изображение	Место установки
1.1	Запрещается пользоваться открытым огнем		На наружной стороне дверей складов с легковоспламеняющимися и взрывоопасными материалами и веществами, внутри этих складов; при входе на участки, где проводят работы с указанными материалами и веществами; на оборудовании, представляющем опасность взрыва или воспламенения








Номер знака	Смысловое значение	Изображение	Место установки
1.2	Запрещается курить		Там же, где и знак 1.1, и в местах наличия отравляющих веществ
1.3	Вход (проход) воспрещен		У входов в опасные зоны, а также в помещения и зоны, в которые закрыт доступ для посторонних лиц
1.4	Запрещается тушить водой		У входов в помещения и места, предназначенные для хранения и работы с материалами, тушение которых водой, в случае их возгорания, запрещено (щелочные металлы и др.)
1.5	Запрещающий знак с поясняющей надписью		В местах и зонах, пребывание в которых связано с опасностью, раскрываемой поясняющей надписью
1.6	Запрещается пользоваться электронагревательными приборами		У входов в зоны (помещения), где по соображениям пожарной безопасности пользоваться электронагревательными приборами запрещено

Таблица 2. 6.

Номер знака	Смысловое значение	Изображение	Место установки
2.1	Осторожно! Легковоспламеняющиеся вещества		На входных дверях складов, внутри складов, в местах хранения, перед входами на участки работ с легковоспламеняющимися веществами
2.2	Осторожно! Опасность взрыва		На дверях складов, внутри складов, в местах хранения, перед входами на участки работ с взрывоопасными материалами и веществами

Номер знака	Смысловое значение	Изображение	Место установки
2.3	Осторожно! Едкие вещества		На дверях складов, внутри складов, в местах хранения, на участках работ с едкими веществами
2.4	Осторожно! Ядовитые вещества		На дверях складов, внутри складов, в местах хранения, на участках работ с ядовитыми веществами
2.5	Осторожно! Электрическое напряжение		На опорах воздушных линий, корпусах электрооборудования и электроаппаратуры, на дверях электропомещений, камер выключателей трансформаторов, на сетчатых и сплошных ограждениях токоведущих частей, расположенных в производственных помещениях, на электротехнических панелях, дверцах силовых щитков и ящиков, на шкафах с электрооборудованием различных машин и станков
2.6	Осторожно! Излучение лазера	 Осторожно! Излучение лазера	На дверях помещений, где проводят работы с лазером, внутри этих помещений в местах работы с лазером, на лазерных установках и вблизи опасных зон лазерного излучения
2.7	Осторожно! Работает кран		Вблизи опасных зон на строительных площадках, участках и в цехах, где используют подъемно-транспортное оборудование
2.8	Осторожно! Возможно падение	 Поясняющая надпись	Перед входом на временно опасные участки и места, где возможно падение. Применяется вместе с табличкой с поясняющей надписью (например, “Осторожно! Скользко”, “Осторожно! Открытый проем”)
2.9	Осторожно! Прочие опасности		В местах, где необходимо предупреждение о возможной опасности, а передача информации с помощью сигнальных цветов или символа затруднена. Применяется вместе с табличкой с поясняющей надписью (например, “Высокая температура!”, “Осторожно! Микроволновое (СВЧ) излучение” и др.)

Таблица 2. 7

Номер знака	Смысловое значение	Изображение	Место установки
3.1	Работать в каске!		При входе в рабочие помещения или на участки работ, где существует возможность падения предметов сверху
3.2	Работать в защитных перчатках!		На участках работ, связанных с опасностью травмирования рук
3.3	Работать в защитной одежде!		При входе в рабочие помещения или на участки работ, связанных с опасностью воздействия на тело человека опасного и (или) вредного фактора
3.4	Работать в защитной обуви!		При входе в рабочие помещения или на участки работ, связанных с опасностью травмирования ног
3.5	Работать с применением средств защиты органов слуха!		При входе в рабочие помещения или на участки работ с повышенным уровнем шума
3.6	Работать в защитных очках!		При входе на участки работ, связанных с опасностью травмирования глаз
3.7	Работать с применением средств защиты органов дыхания!		При входе в рабочие помещения, зоны или участки работ, связанных с выделением вредных для организма человека газов, паров, аэрозолей

Номер знака	Смысловое значение	Изображение	Место установки
3.8	Работать в предохранительном поясе!		В местах выполнения работ на высоте
3.9	Предписание определенных действий, направленных на обеспечение безопасности труда и пожарной безопасности		В производственных помещениях и на территориях в местах, где обеспечена безопасность проведения работ (поясняющая надпись на знаке «Работать здесь» черного цвета), на путях подхода к местам размещения пожарной техники и к эвакуационным выходам (поясняющая надпись на знаке «Проход держать свободным» красного цвета), а также с обеих сторон пожарных дверей и на дверях иного назначения, закрытое положение которых требуется по соображениям безопасности (поясняющая надпись на знаке «Дверь держать закрытой» красного цвета)

В целях безопасности на опасные объекты для увеличения внимания к ним на них наносят опознавательную краску.

Чтобы внешний вид трубопровода указывал на свойства транспортируемого вещества, введена их опознавательная окраска:

Таблица 2.8

Вода	зеленый	Кислоты	оранжевый
Пар	красный	Щелочи	фиолетовый
Воздух	синий	Горючие и негорючие жидкости	коричневый
Горючие и негорючие газы	желтый	Прочие вещества	серый

Для выделения вида опасностей на трубопроводы наносят предупреждающие (сигнальные) цветные кольца, количество которых определяет степень опасности. Так, на трубопроводы взрывоопасных, огнеопасных, легковоспламеняющихся веществ наносят красные кольца, безопасных или нейтральных веществ – зеленые, токсичных веществ – желтые. Для обозначения глубокого вакуума, высокого давления, наличия радиации используют также желтый цвет.

Применимо к герметичным баллонам применяют следующую окраску.

Наружная поверхность баллонов окрашивается в определенный цвет, на нее наносится соответствующая надпись и сигнальная полоса. Окраска баллонов для наиболее часто используемых промышленных газов приведена ниже:

Таблица 2.9

Газ	Окраска баллонов	Надпись	Цвет надписи	Цвет полосы
Азот	Черная	Азот	Желтый	Коричневый
Аммиак	Желтая	Аммиак	Черная	Тоже
Аргон, чистый	Серая	Аргон, чистый	Зеленый	Зеленый
Ацетилен	Белая	Ацетилен	Красный	Красный
Водород	Темно-зеленая	Водород	Красный	Красный

Газ	Окраска баллонов	Надпись	Цвет надписи	Цвет полосы
Воздух	Черная	Сжатый воздух	Белый	Белый
Гелий	Коричневая	Гелий	Белый	Белый
Кислород	Голубая	Кислород	Черный	Черный
Диоксид углерода	Черная	Диоксид углерода	Желтый	Желтый

Для горючих и негорючих газов, не обозначенных в ПБ10—115—96 (Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением), предусмотрена следующая гамма цветов:

Таблица 2.10.

Газы	Окраска баллонов	Надпись	Цвет надписи	Цвет полосы
Все другие горючие газы	Красная	Наименование газа	Белый	Белый
Все другие негорючие газы	Черная	Наименование газа	Желтый	Желтый

Сигнальная окраска баллонов и цистерн позволяет исключить образование смеси «горючее – окислитель» вследствие заполнения емкостей рабочим телом, для которого они не предназначены.

Под видом предупредительной сигнализации является сигнальная окраска. Травмоопасные элементы оборудования выделяют чередующимися (под углом 45° к горизонтали) полосами желтого и черного цвета. На станках в красный цвет окрашивают обратные стороны дверец, ниш для электрооборудования, а также поверхности схода стружки.

2.4. СРЕДСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ

Наличие контрольно-измерительных приборов – одно из условий безопасной и надежной работы оборудования. Это приборы для измерения давления, температур, статических и динамических нагрузок, концентраций паров и газов и др. Эффективность их использования повышается при объединении их с системами сигнализации, как это имеет место в газосигнализаторах, срабатывающих при определенных уровнях концентрации паров, газов, пыли в воздухе.

Устройства автоматического контроля и сигнализации подразделяют:

- по назначению – на информационные, предупреждающие, аварийные и ответные;
- по способу срабатывания – на автоматические и полуавтоматические;
- по характеру сигнала – на звуковые, световые, цветовые, знаковые и комбинированные;
- по характеру подачи сигнала – на постоянные и пульсирующие.

Информативную сигнализацию используют для согласования действий работающих, в частности крановщиков и стропальщиков. Такую же сигнализацию применяют в шумных производствах, где нарушена речевая связь. Подвидом информативной сигнализации являются всякого рода схемы, указатели, надписи. Как

правило, надписи делают непосредственно на оборудовании либо в зоне его обслуживания на специальных табло.

Устройства предупредительной сигнализации предназначены для предупреждения об опасности. Чаще всего в них используют световые и звуковые сигналы, поступающие от различных приборов, регистрирующих ход технологического процесса, в том числе уровень опасных и вредных факторов. Большое применение находит предупредительная сигнализация, опережающая включение оборудования или подачу высокого напряжения. К предупредительной сигнализации относятся указатели и плакаты: «Не включать – работают люди», «Не входить», «Не открывать – высокое напряжение» и др.

Указатели желательны выполнять в виде световых табло с переменной по времени (мигающей) подсветкой.

Знаки безопасности могут быть:

- запрещающими;
- предупреждающими;
- предписывающими;
- указательными.

Они отличаются друг от друга формой и цветом. В производственном оборудовании и в цехах применяют предупредительные знаки, представляющие собой желтый треугольник с черной полосой по периметру, внутри которого располагается какой-либо символ (черного цвета). Например, при электрической опасности – это молния, при опасности травмирования перемещаемым грузом – груз, при опасности скольжения – падающий человек, при прочих опасностях – восклицательный знак.

Запрещающий знак – круг красного цвета с белой каймой по периметру и черным изображением внутри. Предписывающие знаки представляют собой синий круг с белой каймой по периметру и белым изображением в центре, указательные – синий прямоугольник.

Предупреждающий знак радиационной опасности имеет символ и кайму красного цвета. Указательные знаки средств пожаротушения имеют символ красного цвета на белом фоне, остальные – черного.

2.5. БЕЗОПАСНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И РОБОТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В связи с наличием большой зоны перемещения исполнительных органов одновременно по нескольким координатам промышленные роботы представляют объекты повышенной опасности.

Основными опасными факторами при работе отдельных промышленных роботов, роботизированных технологических комплексов и гибких производственных систем в целом являются:

- непредусмотренные движения исполнительных устройств при наладке, ремонте, во время обучения и исполнения обучающих программ;
- внезапный отказ в работе промышленного робота или технологического оборудования, работающего совместно с ним;

– ошибочные действия оператора или наладчика во время наладки и ремонта, при работе в автоматическом режиме;

– доступ человека в рабочее пространство робота при работе в режиме исполнения программы;

– нарушение условий эксплуатации и требований безопасности труда.

Планировочные решения ПР, РТК и ГПС должны обеспечивать:

– кратчайшие пути движения труда и производственных отходов;

– минимальное количество операций загрузки и разгрузки;

– рациональное расположение оборудования, рабочих мест;

– рациональное расположение проходов, мест складирования заготовок и готовой продукции;

– кратчайшие и удобные проходы к рабочим местам и местам расположения органов аварийного останова;

– кратчайшие и рациональные маршруты движения операторов при обслуживании двух и более РТК;

– свободный доступ к зонам и частям оборудования, требующим профилактических осмотров и ремонта;

– безопасность труда через размещение рабочих мест с учетом требований промсанитарии, техники безопасности, электро-, взрыво- и пожарной безопасности;

– исключение воздействия опасных и вредных производственных факторов на операторов РТК и работников соседних рабочих мест.

Взаимное расположение основного и вспомогательного и технологического оборудования, ПР, пультов управления, технологической и организационной оснастки (вибробункеры, подающие устройства, накопители, столы, тара и т.д.) должно обеспечивать основные рабочие движения в оптимальной зоне и зоне легкой досягаемости моторного поля, а также обзор в оптимальной зоне информационного поля рабочего места.

Для обеспечения безопасности труда оператора на пульте управления ПР, РТК или ГПС должна отражаться информация:

– о режиме работы ПР (исполнение программы, ручное управление и др.)

– о срабатывании блокировок ПР и технологического оборудования, работающего совместно с ним;

– о наличии сбоя в работе;

– о начале движения исполнительных устройств и готовности к движению при исполнении управляющей программы ПР.

В конструкции ПР должны быть средства, обеспечивающие остановку исполнительных устройств при:

– нахождении работника в запрограммированную область рабочего пространства ПР;

– выходе манипулятора за пределы запрограммированного пространства ПР.

К самостоятельной работе на РТК или ГПС в качестве операторов и наладчиков должны допускаться рабочие не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование. Изучившие устройство и правила эксплуатации основного и вспомогательного технологического оборудования, входящего в состав РТК и безо-

пасные приемы и методы работы, имеющие группу электробезопасности не ниже второй, и сдавшие квалификационные экзамены с получением удостоверения на право обслуживания РТК. Запрещается привлекать к временному обслуживанию ПР, РТК, ГПС работников, не прошедших специальной подготовки по обслуживанию ПР, РТК, ГПС и не обученных правилам их безопасной эксплуатации.

Для уменьшения вероятности возникновения каких-либо неисправностей в ПР и оборудования РТК, ГПС необходимо обеспечивать своевременное проведение их профилактического технического обслуживания.

Безопасность обеспечивается прежде всего технологией проведения работ. Для периодической смены инструмента, регулировки и подналадки станков с ЧПУ и автоматов, их смазывания и чистки, а также для мелкого ремонта в цикле работы автоматической линии должно быть предусмотрено специальное время. Все перечисленные работы должны выполняться на обесточенном оборудовании.

Контроль за обеспечением оборудования средствами защиты от механического травмирования и за их исправностью возложен на службу главного механика предприятий и на механиков подразделений. Контрольные вопросы

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте предохранительные, блокировочные и тормозные устройства.
2. Укажите требования безопасности к работе систем повышенного давления.
3. Перечислите цвета окраски баллонов и систем трубопроводов, с какой целью она выполняется?
4. Укажите безопасность функционирования автоматизированных и роботизированных производств.

Глава 3

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

3.1. ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМ, ЕГО УЧЕТ И ХАРАКТЕРИСТИКА

Жизнь человека сегодня немыслима без электричества. Электрическая энергия используется для освещения, работы приборов, бытовой техники, производственного оборудования. Человек ежедневно пользуется электричеством дома, на работе, на учебных занятиях, привычка к постоянному использованию электрической энергии притупляет чувство опасности, а между тем электрический ток представляет собой скрытый тип опасности, так как наличие его в токо- и нетокопроводящих частях оборудования трудно или невозможно определить без специальных средств контроля. Поэтому электрические установки представляют для человека потенциальную опасность, особенно в процессе их эксплуатации или проведении профилактических работ. Реакция человека на электрический ток проявляется лишь при протекании тока через его тело, этим, прежде всего, объясняется большое количество смертельных исходов в результате электротравматизма. Статистика электротравматизма показывает, что количество травм, вызванных воздействием электрического тока, относительно невелико (от 1% до 10% в зависимости от отрасли промышленности) [1], наибольшее количество несчастных случаев со смертельным исходом (до 40%) происходит в результате электропоражений, причем почти 80% из них приходится на электроустановки напряжением до 1000 В.

Согласно ПТЭ и ПТБ все электроустановки принято разделять на 2 группы:

- установки напряжением до 1000 В;
- установки напряжением выше 1000 В.

Это объясняется тем, что установки напряжением до 1000 В применяются более широко, а также тем, что контакт с электрооборудованием здесь имеет большее число людей, как правило, не имеющих электрическую специальность.

Для удобства количественного анализа травматизма общепринятым является применение коэффициента частоты травматизма (коэффициента частоты общего травматизма – Кч, коэффициента частоты травматизма со смертельным исходом – Кчс), т.е. количества пострадавших на 1000 работающих.

Коэффициент частоты общего травматизма Кч отражает уровень общего травматизма и рассчитывается с помощью следующей формулы:

$$Кч = N_o/N_s * 1000$$

где N_o – общее число травмированных работников за определенный период времени; N_s – общее число работников в рассматриваемый период времени.

Коэффициент частоты травматизма со смертельным исходом $K_{чс}$ рассчитывается аналогично $K_{ч}$, только вместо общего числа травмированных работников берется число погибших от травм N_c :

$$K_{чс} = N_c/N_s * 1000$$

К показателям, которые применяются для оценки травматизма (качественный анализ), относится коэффициент тяжести травматизма K_t – среднее время нетрудоспособности пострадавших, приходящееся на одну производственную травму:

$$K_t = T_{нс}/N_o$$

где $T_{нс}$ – суммарное время нетрудоспособности всех пострадавших от производственных травм за рассматриваемый период.

При анализе травматизма наряду с $K_{ч}$ и $K_{чс}$ иногда применяется показатель, получивший рабочее название «коэффициент смертности» – K_c в (%):

$$K_c = N_c/N_o$$

где N_c – число работников, погибших в результате несчастных случаев; N_o – общее число травмированных.

Между коэффициентами $K_{ч}$, $K_{чс}$, K_c существует взаимосвязь:

$$K_c = K_{чс} / K_{ч} * 100$$

Результаты анализа статистических данных показывают, что самый высокий электротравматизм со смертельным исходом имеет место при выполнении ремонтных работ. Анализ данных по стажу работы пострадавших показывает, что имеет место рост травматизма при стаже работы более 5 лет – это объясняется тем, что при таком стаже работы люди уже привыкли нарушать правила техники безопасности, так как у них, как правило, не было собственных серьезных неприятностей и они возводят такие нарушения в принцип, или в норму.

Основными причинами электротравматизма являются:

– появление напряжения там, где его в нормальных условиях быть не должно (на корпусах оборудования, на технологическом оборудовании, на металлических конструкциях сооружений и т.д.), что чаще всего происходит вследствие повреждения изоляции;

– возможность прикосновения к неизолированным токоведущим частям при отсутствии соответствующих ограждений;

– образование электрической дуги между токоведущей частью и человеком, что возможно в электрических установках напряжением выше 1000 В;

– воздействия напряжения шага;

– несогласованные и ошибочные действия персонала;

– отсутствие надзора за электроустановками под напряжением;

– подача напряжения на установку, где работают люди;

– допуск к работам на отключенном электрооборудовании без проверки отсутствия напряжения и т.д.

Опасность поражения электрическим током наступает главным образом при прямом или косвенном прикосновении к частям, находящимся под напряжением. Под прямым понимается прикосновение к неизолированным токоведущим частям, когда человек одновременно находится в контакте с землей или другой токоведущей частью отличного потенциала; под косвенным – прикосновение к части оборудования, оказавшейся под напряжением вследствие повреждения изоляции, когда человек находится в контакте с землей или с другой проводящей частью отличного потенциала. Опасными являются и ситуации, при которых возникает шаговое напряжение. Напряжение шага – напряжение в зоне растекания тока с заземлителя или иных проводящих частей в землю между двумя находящимися на ее поверхности точками, отстоящими применительно к человеку одна от другой на расстоянии 0,8 – 1 м. Численно напряжение шага равно разности потенциалов точек, на которых могут находиться ноги человека, оказавшегося в этой зоне. Поле потенциалов на поверхности земли может возникнуть, например, при замыкании провода на землю в результате его обрыва, стекании тока с заземлителя и т. п.

Коэффициент смертности K_c в любой отрасли можно снизить, действуя в перечисленных ниже четырех направлениях:

– повышение безопасности применяемого оборудования за счет ослабления опасных для жизни и здоровья персонала факторов, возникающих в аварийных экстремальных ситуациях (при разработке и внедрении оборудования и технологий нового поколения первоочередной задачей должна быть всесторонняя оценка их надежности и безопасности);

– усиление защитных свойств применяемых средств коллективной и индивидуальной защиты;

– коренной пересмотр подхода к человеческому фактору, ориентированный на повышение надежности профессиональной деятельности персонала, для чего требуется радикальные изменения в организации работы с персоналом;

– проведение комплекса мероприятий, итогом которых является немедленное и эффективное оказание пострадавшим доврачебной помощи, в соответствии с законодательством об охране труда.

3.2. МЕХАНИЗМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ЧЕЛОВЕКА

Проходя через организм человека, электрический ток оказывает термическое, электролитическое, биологическое и механическое воздействие. Термическое воздействие проявляется в нагреве и ожогах отдельных участков тела; электролитическое – в изменении состава (разложении) биологических жидкостей, в том числе крови, в результате чего нарушается их физико-химический состав; биологическое воздействие проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, нарушением жизненно важных биологических процессов, в результате чего воз-

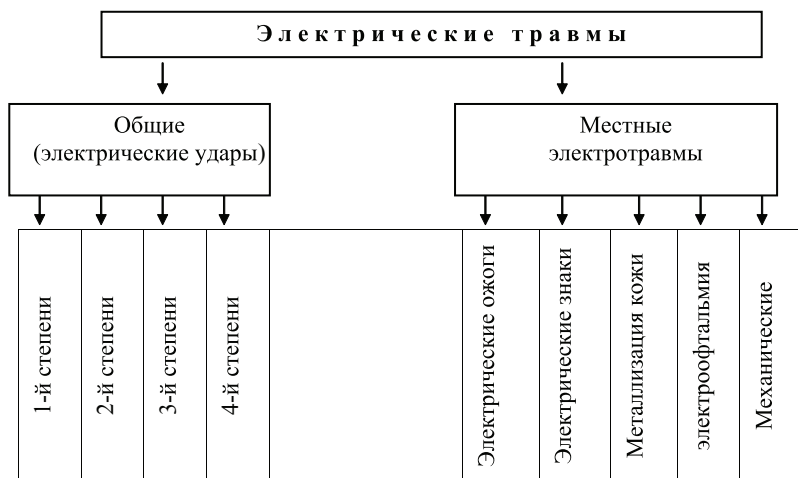


Рис.3.1

можно остановка сердца и прекращение дыхания; механическое воздействие приводит к расслоению, разрыву тканей организма.

Электрические травмы разделяют на общие (электрические удары) и местные, под которыми понимают четко выраженные повреждения тканей организма, вызванные воздействием электрического тока или электрической дуги (рис.3.1).

Наибольшую опасность представляют электрические удары.

Электрический удар – это возбуждение живых тканей проходящим через человека электрическим током, сопровождающееся судорожными сокращениями мышц; в зависимости от исхода воздействия тока различают четыре степени электрических ударов:

1-я – судорожное сокращение мышц без потери сознания;

2-я – судорожное сокращение мышц с потерей сознания, дыхание и деятельность сердца сохраняются;

3-я – потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (или того и другого вместе);

4-я – клиническая смерть, т.е. отсутствие дыхания и кровообращения (длительность 7 – 8 минут).

Тяжесть последствий электрических ударов различна: от слабого сокращения мышц в местах входа и выхода тока до существенных нарушений, в том числе прекращения функционирования сердца и легких. Даже при несмертельной электротравме электрокардиограмма пострадавшего несет в себе признаки коронарной недостаточности, а морфологические исследования в ряде случаев показывают наличие инфаркта миокарда. Нередко у пострадавших наблюдаются отдаленные (от 10 дней до 2 лет и более после травмы) последствия электрических ударов: заболевания щитовидной железы, половых органов, ранее появление артериосклероза, развитие диабета, сердечно-сосудистых, вегетативно-эндокринных и нервно-психических расстройств.

Кроме остановки сердца и прекращения дыхания причиной смерти может быть электрический шок – тяжелая нервно– рефлекторная реакция организма на сильное раздражение электрическим током. Шоковое состояние длится от нескольких десятков минут до суток, после чего может наступить гибель или выздоровление в результате интенсивных лечебных мероприятий.

Местные электротравмы – это местные нарушения целостности тканей организма. К местным электротравмам относятся:

– электрический ожог – бывает токовым и дуговым;

токовый ожог связан с прохождением тока через тело человека и является следствием преобразования электрической энергии в тепловую (как правило, возникает при относительно невысоких напряжениях электрической сети);

при высоких напряжениях электрической сети между проводником тока и телом человека может образовываться электрическая дуга, возникает более тяжелый ожог – дуговой, т.к. электрическая дуга обладает очень высокой температурой (свыше 3500°С).

– электрические знаки – пятна серого или бледно-желтого цвета на поверхности кожи человека, образующие в месте контакта с проводником тока. Как правило, знаки имеют круглую форму с размерами 1– 10мм. Знаки безболезненны, вокруг них не наблюдается воспалительных процессов, в месте поражения появляется припухлость. Эта травма не представляет серьезной опасности и достаточно быстро проходит;

– металлизация кожи – проникновение в верхние слои кожи мельчайших частиц металла, расплавившегося под действием электрической дуги. В зависимости от места поражения травма может быть очень болезненной, поврежденный участок кожи приобретает жесткую шероховатую поверхность. С течением времени пораженная кожа сходит, поражение же глаз может закончиться ухудшением или даже потерей зрения;

– электроофтальмия – воспаление наружных оболочек глаз под действием ультрафиолетового излучения электрической дуги. Травма сопровождается сильной болью и резью в глазах, временной потерей зрения. При сильном поражении лечение может быть сложным и длительным. На электрическую дугу без специальных защитных очков или масок смотреть нельзя;

– механические повреждения возникают в результате резких судорожных сокращений мышц под действием проходящего через человека тока. При непроизвольных мышечных сокращениях могут произойти разрывы кожи, кровеносных сосудов, а также вывихи суставов, разрывы связок и даже переломы костей. Кроме того, при испуге и шоке человек может упасть и получить травму. Как видим, электрический ток очень опасен и обращение с ним требует большой осторожности и знания мер обеспечения электробезопасности.

Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током

Воздействие тока на организм человека по характеру и последствиям поражения зависит от следующих факторов:

- величины тока;
- длительности воздействия тока;
- частоты и рода тока;

- приложенного напряжения;
- пути прохождения через тело человека;
- индивидуальных особенностей (возраста, массы тела, состояния здоровья) и др.

Значение тока, как основного поражающего фактора, зависит от напряжения прикосновения $U_{пр}$ (это напряжение между двумя проводящими частями или между проводящей частью и землей при одновременном прикосновении к ним человека) и находящегося под его действием сопротивления электрической цепи, содержащей сопротивление человека.

$$I_{ч} = U_{пр} / R_{ч}.$$

Сопротивление тела человека – величина нелинейная, зависящая от многих факторов: сопротивление кожи (сухая, влажная, чистая, поврежденная и т.д.); от величины тока и приложенного напряжения; от длительного протекания тока. Наибольшим сопротивлением обладает верхний роговой слой кожи:

- при снятом роговом слое $R_{ч} = 600 - 800 \text{ Ом}$;
- при сухой неповрежденной коже $R_{ч} = 10 - 100 \text{ кОм}$;
- при увлажненной коже $R_{ч} = 1000 \text{ Ом}$

Для анализа травматизма сопротивление кожи человека принимает $R_{ч} = 1000 \text{ Ом}$. При малых напряжениях, приложенных к телу человека (менее 20 В), оно изменяется от индивидуума к индивидууму в широких пределах (от 100 до 100 000 Ом) и определяется преимущественно сопротивлением рогового слоя кожи. При повреждении этого слоя, увлажнении и загрязнении кожи сопротивление тела резко снижается.

С увеличением напряжения, длительности его воздействия, тока, площади контакта с токопроводником сопротивление человека уменьшается, т.к. при этом увеличивается нагрев кожи и растет потоотделение. При напряжении более 50 В возможен пробой рогового слоя кожи, который расширяется по мере роста напряжения, приводя в итоге к снижению сопротивления тела человека.

В результате статистической обработки многочисленных и различных данных, полученных на основе анализа несчастных случаев и результатов опытов, была получена усредненная зависимость характера воздействия от значения постоянного и переменного тока (таблица 3.1).

Из приведенной таблицы можно выделить ряд пороговых значений тока:

– наименьший переменный ток 0,6...1,5 мА и постоянный 5...7 мА называют пороговым ощутимым током;

– переменный ток 15мА и постоянный 50мА – приняты в качестве средних значений порогового неотпускающего тока (начиная с этих значений тока, человек не может самостоятельно освободиться от проводника тока).

– переменный ток свыше 100мА и постоянный свыше 300мА называется пороговым фибрилляционным током. Фибрилляция проявляется в виде хаотического разновременного сокращения волокон сердечной мышцы (фибрилл), в результате чего в организме прекращается процесс кровообращения. При возникновении фибрилляции пострадавшему следует срочно оказать первую помощь (делать прямой массаж сердца и при необходимости искусственное дыхание).

Таблица 3.1

Воздействие тока на человека

Ток, мА	Переменный (50 Гц)	Постоянный
0,6...1,5	Начало ощущения, легкое дрожание пальцев рук	Ощущение отсутствует
2,0...2,5	Начало ощущения боли и усиление дрожания пальцев	Ощущение отсутствует
5,0...7,0	Легкие судороги в руках, усиление болевых ощущений	Ощущения нагрева. Зуд.
8,0...10,0	Сильные боли, судороги в руках, трудно, но еще можно оторваться от проводника тока	Усиление ощущения нагрева
20,0...25,0	Очень сильные судороги и боли, руки невозможно оторвать от проводника тока. Затруднение дыхания	Слабые сокращения мышц рук, усиление нагрева
50,0...80,0	Паралич дыхания	Судороги рук, затруднение дыхания, сильное ощущения нагрева
90,0...100,0	Фибрилляция сердца при воздействии тока продолжительностью 1...3с и более. Остановка сердца	Паралич дыхания
300,0	Фибрилляция сердца при меньшей длительности воздействия	Фибрилляция сердца через 1...3с, паралич дыхания

Ток более 5А вызывает немедленную остановку сердца, минуя состояние фибрилляции. Сопоставление последствий воздействия на человека различных значений тока показывает, что переменный ток (особенно с частотой 20...100 Гц) опаснее постоянного. Однако при действующем на человека напряжении выше 500 В постоянный ток считается более опасным. При частотах более 500 кГц ток не вызывает электрического удара, однако может сопровождаться ожогами тела пострадавшего.

Опасность поражения электрическим током зависит от пути протекания тока через тело человека, т.к. путь определяет долю общего тока, которая проходит через сердце. Наиболее опасным является прохождение тока через дыхательные органы и сердце по продольной оси (от головы к ногам). Наиболее опасен путь «правая рука – ноги». Затем по степени снижения опасности идут: «левая рука – ноги», «рука – рука», «нога – нога». Часть общего тока, проходящего через сердце:

- путь – правая рука – ноги – 6,7 % общего тока;
- путь – рука – рука – 3,3 %;
- путь – левая рука – ноги – 3,7 % общего тока;
- путь – нога – нога – 0,4 % общего тока.

Исход поражения при воздействии электрического тока зависит от психического и физического состояния человека. Здоровые и физически крепкие люди легче переносят электрические удары. Поэтому установлен ряд заболеваний, в первую очередь болезни сердечно-сосудистой системы, легких, кожи, при наличии которых люди не допускаются к работе на электроустановках. Кроме того, отмечено, что женщины и особенно дети более восприимчивы к воздействию тока, нежели мужчины.

Неблагоприятные факторы окружающей человека среды увеличивают опасность поражения током, поэтому согласно Правил устройства электроустановок (ПУЭ) различают:

1. Помещения без повышенной опасности – это сухие, беспыльные помещения с нормальной температурой воздуха и с изолирующими (например, деревян-

ными) полами, т.е. в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность (см. пп 2 и 3)

2. Помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием одного из следующих пяти условий, создающих повышенную опасность:

- сырость, когда относительная влажность воздуха длительно превышает 75%; такие помещения называют сырими;

- высокой температуры, когда температура воздуха длительно (более суток) превышает +35°С; такие помещения называются жаркими;

- токопроводящих полов (металлических, земляных, железобетонных, кирпичных и т.п.);

- токопроводящей пыли, когда по условиям производства в помещениях выделяется токопроводящая технологическая пыль (например, угольная, металлическая и т.п.) в таком количестве, что она оседает на проводах, проникает внутрь машины, аппаратов и т.п.; такие помещения называются пыльными с токопроводящей пылью;

- возможности одновременного прикосновения к металлическим корпусам электрооборудования, с одной стороны, и металлоконструкциям зданий, имеющим соединение с землей, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с другой.

3. Помещения особо опасные характеризуются наличием одного из следующих трех условий, создающих особую опасность:

- особой сырости, когда относительная влажность воздуха близка к 100% (стены, пол и предмет, находящиеся в помещении, покрыты влагой); такие помещения называют особо сырими;

- химически активной или органической среды, т.е. помещения, в которых постоянно или в течении длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образующие отложения или плесень, действующие разрушающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования; такие помещения называются помещениями с химически активной или органической средой;

- наличия одновременно двух или более условий, свойственных помещениям с повышенной опасностью.

4. Территории размещения наружных электроустановок, которые по опасности поражения током приравняются к особо опасным помещениям.

Особо опасными помещениями является большая часть производственных помещений, в том числе все цехи машиностроительных заводов, испытательные станции, гальванические цехи, мастерские и т.п. К таким же помещениям относятся и участки работ под открытым небом или под навесом.

Продолжительность прохождения тока через человека в значительной мере влияет на исход поражения, так как с увеличением времени воздействия возрастает значение тока, а также аккумулируются негативные последствия его влияния на организм. При кратковременном воздействии тока вероятность возникновения фибрилляции или остановки сердца существенно возрастает при совпадении интервала времени прохождения тока с фазой «Т» кардиоцикла, длительность которой составляет обычно 0,15...0,2с. Вероятность такого совпадения снижается с уменьшением длительности действия тока. Вследствие указанных причин приведенные в Приложении 2 предельно допустимые значения напряжения прикосновения и то-

ков при аварийном режиме электроустановок зависят от длительности протекания тока в теле человека.

3.3. НОРМИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИКОСНОВЕНИЯ И ТОКОВ

Напряжение прикосновения $U_{пр}$ – это напряжение между двумя проводящими частями или между проводящей частью и землей при одновременном прикосновении к ним человека. При этом

$$U_{пр} = I_{ч} * R_{ч}$$

где $I_{ч}$ – ток проходящий через тело человека, А; $R_{ч}$ – сопротивление тела человека, Ом.

Значение $I_{ч}$ зависит от полного сопротивления в цепи протекания тока и действующего в ней напряжения. Значения $R_{ч}$ можно принять равными сопротивлениям резисторов, рекомендованным ГОСТ 12.1.038–92 для моделирования сопротивления тела человека при измерении параметров $U_{пр}$ и $I_{ч}$.

Сравнение рассчитанного таким образом (или измеренного) напряжения прикосновения $U_{пр}$ и тока $I_{ч}$ в местах, где возможно замыкание его цепи через тело человека, с предельно допустимыми значениями этих величин ($U_{пр.доп}$ и $I_{пр.доп}$) позволяет оценить опасность поражения, а в случае превышения допустимых значений правильно выбрать средства защиты, обеспечивающие требуемый уровень безопасности. Ниже приведены установленные ГОСТ 12.1.038–92 предельно допустимые значения напряжений прикосновения $U_{пр.доп}$ и токов $I_{пр.доп}$ протекающих через тело человека по путям «рука–рука» и «рука–ноги», в производственных и бытовых электроустройствах при нормальном и аварийном режимах их функционирования.

При нормальном (неаварийном) режиме работы производственных и бытовых электроустановок предельно допустимые значения $U_{пр.доп}$ и $I_{пр.доп}$ зависят от рода и частоты тока:

- переменный, 50 Гц --- $U_{пр.доп} = 2$ В и $I_{пр.доп} = 0,3$ мА;
- переменный, 400 Гц --- $U_{пр.доп} = 3$ В и $I_{пр.доп} = 0,4$ мА;
- постоянный --- $U_{пр.доп} = 8$ В и $I_{пр.доп} = 1$ мА;

Значения $U_{пр.доп}$ и $I_{пр.доп}$ приведены при продолжительности воздействия не более 10 мин в сутки и установлены исходя из реакции ощущения. Для лиц, работающих при температуре выше 25° С и относительной влажности более 75%, указанные значения должны быть уменьшены в три раза.

Значения $U_{пр.доп}$ и $I_{пр.доп}$ при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1 кВ с глухозаземленной или изолированной нейтралью и выше 1 кВ с изолированной нейтралью приведены в табл. 3.2, а выше 1 кВ с глухозаземленной нейтралью предельно допустимые значения $U_{пр.доп}$ указаны в табл. 3.3. Для бытовых электроустановок значения $U_{пр.доп}$ и $I_{пр.доп}$ приведены в табл.3.4.

Рассмотренные предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов используются при выборе и разработке способов и средств защиты людей от поражения током, рассмотренных далее.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения Упр.доп и токов Ипр.доп, проходящих через человека при аварийном режиме производственных электроустановок до 1 кВ с глухозаземленной или изолированной нейтралью и выше 2 кВ с изолированной нейтралью.

Таблица 3.2

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока I_t , с											
		0,01...0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св.1,0
Переменный 50 Гц	Упр.доп, В	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
	Ипр.доп.,мА	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6
Переменный 400 Гц	Упр.доп, В	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	36
	Ипр.доп, мА	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	8
Постоянный	Упр.доп, В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
	Ипр.доп,мА	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	15

Примечание: значения Упр.доп и Ипр.доп при t более 1,0 с соответствуют отпускающим (переменный) и неболевым (постоянным) токам.

Предельно допустимые напряжения прикосновения Упр.доп при аварийном режиме производственных электроустановок переменного тока 50 Гц напряжением выше 1 кВ глухим заземлением нейтрали в зависимости от продолжительности t воздействия на человека

Таблица 3.3

t, с	До 0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	Св. 1,0 до 5,0
Упр.доп, В	500	400	200	130	100	65

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения Упр.доп и токов Ипр.доп, проходящих через человека при аварийном режиме бытовых электроустановок напряжением до 1 кВ и частотой 50 Гц в зависимости от продолжительности t воздействия на человека

Таблица 3.4

t, с	0,01...0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св.1,0
Упр.доп, В	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	25
Ипр.доп.,мА	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	12

Примечание: Значения Упр.доп и Ипр.доп установлены для людей с массой 15 кг и более.

3.4 ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Случаи поражения человека током возможны при прикосновении человека не менее чем по двум точкам цепи, между которыми существует некоторое напряже-

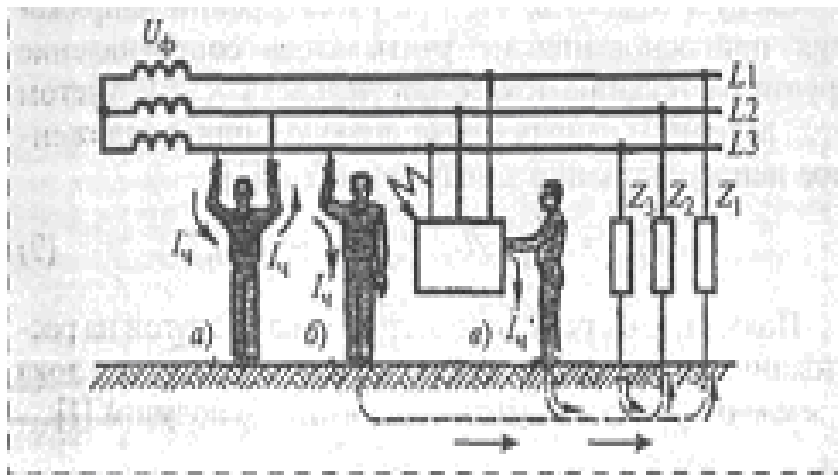


Рис. 3.5. Случаи включения человека в цепь тока:
а – двухфазное включение; б, в – однофазное включение (прямое и косвенное)

ние. Опасность такого прикосновения зависит от ряда факторов: схемы включения человека в цепь, напряжения и схемы сети, режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей относительно земли.

В промышленности применяются преимущественно сети переменного тока¹: трехфазные и реже однофазные. Трехфазные сети зависимости от режима нейтрали источника тока разделяют на следующие:

- при напряжении до 1 кВ – с глухозаземленной нейтралью (присоединенной к заземлителю непосредственно или через малое сопротивление) и с изолированной нейтралью;
- при напряжении выше 1 кВ – с глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью и с изолированной нейтралью (не присоединенной к заземлителю и присоединенной через большое сопротивление).

Схемы включения человека в электрическую цепь могут гут быть различными. Наиболее характерными являются две схемы включения: между двумя проводам (L2 и L3) и между одним проводом L₃ и землей (рис.3.5) Во втором случае предполагается наличие электрической связи между сетью и землей через сопротивление изоляции проводов относительно земли Z_j, Z_j, Z₃.

Применительно к трехфазным сетям первую схему обычно называют двухфазным включением, а вторую – однофазным (см. рис. 3.5).

Двухфазное включение – прикосновение человека одновременно к двум фазам, как правило, более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение – линейное, и поэтому через тело человека пройдет ток

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{л}} / R_{\text{ч}} = 1,73 U_{\text{ф}} / R_{\text{ч}},$$

¹ Сеть постоянного тока здесь не рассматривается.

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение, т. е. напряжение между фазными проводами L1, L2, L3 сети;

$U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение, т. е. напряжение между началом и концом одной обмотки источника тока (трансформатора, генератора) или между фазным и нулевым проводами (при наличии последнего).

Двухфазное включение является одинаково опасным в сети как с изолированной, так и с заземленной нейтралью. При этом изоляция человека от земли, например с помощью диэлектрического коврика, не уменьшит опасность поражения.

Однофазное включение происходит значительно чаще, но является менее опасным, чем двухфазное, поскольку напряжение, под которым оказывается человек, обычно меньше линейного. Соответственно меньше будет и ток, проходящий через тело человека. Кроме того, на значение проходящего через тело человека тока влияют также режим нейтрали источника тока, сопротивление изоляции и емкость проводов относительно земли, сопротивление основания, на котором стоит человек, сопротивление его обуви и другие факторы.

Рассмотрим подробнее получившие широкое распространение трехфазные сети напряжением до 1 кВ при нормальном и аварийном режимах работы. Это сети трехпроводные с изолированной нейтралью и сети глухозаземленной нейтралью. Последние бывают пят проводными, содержащими кроме трех фазных два нулевых проводника: рабочий N и защитный PE, и четырехпроводными, в которых нулевые проводники объединены в один PE N – проводник, совмещающий функции N– и PE-проводников.

В трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью (рис3.6) ток, проходящий через тело человека, при прикосновении к одной из фаз сети в период работы в нормальном режиме определяется следующим выражением:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + r/3),$$

где r – сопротивление изоляции провода.

Таким образом, в сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме ее работы ток, протекающий через тело человека при однофазном прикосновении, зависит от сопротивления r изоляции проводов и их емкости C относительно зем-

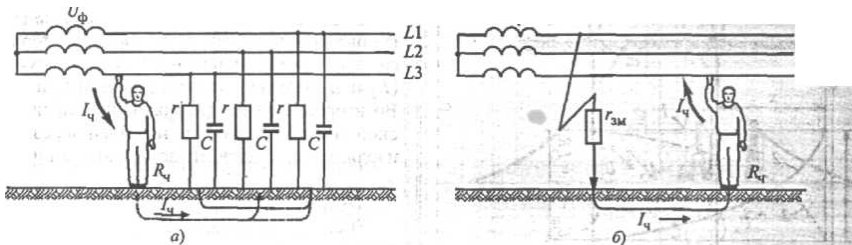


Рис.3.6. Прикосновение человека к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью: а – при нормальном режиме; б – при аварийном режиме

ли. Этот ток, а, следовательно, и опасность поражения им будут незначительными, если обеспечить достаточно большое значение r и малое – C .

При аварийном режиме работы сети, когда возникло замыкание одной из фаз на землю через малое сопротивление $r_{\text{зм}}$, ее напряжение относительно земли снижается. При этом напряжение, под которым окажется человек, прикоснувшийся к исправной фазе трехфазной сети с изолированной нейтралью, будет значительно больше фазного и несколько меньше линейного напряжения (рис.3.6.). Таким образом, этот случай прикосновения во много раз опаснее прикосновения к той же фазе сети при нормальном режиме работы.

В трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью при ее нормальном режиме работы активная и емкостная составляющие сопротивления изоляции проводов относительно земли много больше сопротивления заземления нейтрали, поэтому при определении тока, проходящего через тело человека, касающегося фазы сети, ими можно пренебречь. Тогда ток, проходящий через тело человека:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + r_0),$$

где r_0 – сопротивление заземления нейтрали.*

Так как $r_0 < 8 \text{ Ом}$, то $r_0 \ll R_{\text{ч}}$. Следовательно можно пренебречь значением r_0 и считать, что человек оказывается практически под фазным напряжением $U_{\text{ф}}$, а ток $I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / R_{\text{ч}}$. Если, например $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$, $R_{\text{ч}} = 1000 \text{ Ом}$, то ток $I_{\text{ч}} = 220 \text{ мА}$ и представляет существенную опасность жизни человека (см. табл. 3.1.). Ограничить этот ток можно увеличив сопротивление в цепи тела человека, например, используя диэлектрическую обувь, диэлектрические коврики, изолирующие подставки.

Из проведенного выше анализа следует, что прикосновение к фазе трехфазной сети с глухозаземлет нейтралью в период нормальной ее работы более опасно, чем прикосновение к фазе нормально работающей сети с изолированной нейтралью, но менее опасно прикосновения к неповрежденной фазе сети с изолированной нейтралью в аварийный период:

При аварийном режиме работы, когда одна из фаз сети замкнута на землю через относительно малое сопротивление $r_{\text{зм}}$ при условии, что $r_0 \ll r_{\text{з}}$ « $r_{\text{з}}$ » г напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправному фазному проводу трехфазной сети с заземленной нейтралью, всегда меньше линейного и немного больше фазного. Таким образом, прикосновение к исправной фазе сети с заземленной нейтралью в аварийный период более опасно, чем при нормальном режиме.

Выбор схемы сети, а следовательно и режима нейтрали источника тока производится, исходя из технологических требований и из условий безопасности.

Проведенный выше анализ сетей напряжением до 1 кВ показал, что по условиям безопасности в случае прикосновения к фазному проводу в период нормального режима работы сети более безопасной является как правило, сеть с изолированной нейтралью, а в аварийный период – сеть с заземленной нейтралью. Следовательно, сети с изолированной нейтралью целесообразно применять в тех случаях, когда имеется возможность поддерживать высокий уровень изоляции проводов и когда

емкость сети относительно земли незначительна. Такими являются мало разветвленные сети, не подверженные воздействию агрессивной среды и находящиеся под постоянным надзором квалифицированного персонала. Примером могут служить сети электротехнических лабораторий, небольших предприятий и т. п.

Сеть с заземленной нейтралью следует применять там, где невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов (из-за высокой влажности, агрессивной среды и пр.), когда нельзя быстро отыскать или устранить повреждение изоляции, либо когда емкостные токи сети достигают больших значений, опасных для человека. Это, как правило, сети жилых, общественных и промышленных зданий и наружных установок.

При напряжении выше 1 кВ по технологическим требованиям сети напряжением до 35 кВ включительно имеют изолированную нейтраль, а выше 35 кВ – заземленную. Поскольку такие сети имеют большую емкость проводов относительно земли, для человека является одинаково опасным прикосновение к проводу сети, как с изолированной, так и с заземленной нейтралью. Поэтому режим нейтрали сети напряжением выше 1 кВ по условиям безопасности не выбирается.

3.5. ТЕХНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

Согласно указаниям Правил устройства электроустановок (ПУЭ) токоведущие части электроустановки не должны быть доступны для случайного прикосновения, а доступные прикосновению открытые и сторонние проводящие части не должны находиться под напряжением, представляющим опасность поражения электрическим током как в нормальном режиме работы электроустановки, так и при повреждении изоляции.

В связи с этим в нормальном режиме применяют по отдельности или в сочетании следующие меры защиты от прямого прикосновения:

- основную изоляцию токоведущих частей;
- ограждения и оболочки;
- установку барьеров;
- размещение вне зоны досягаемости;
- сверхнизкое (малое) напряжение.

Для дополнительной защиты от прямого прикосновения в электроустановках напряжением до 1 кВ, согласно требованиям ПУЭ, используют устройства защитного отключения (УЗО) с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА.

Для защиты от поражения током в случае повреждения изоляции применяют по отдельности или в сочетании следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- выравнивание потенциалов;

- двойную или усиленную изоляцию;
- сверхнизкое (малое) напряжение;
- защитное электрическое разделение цепей;
- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны площадки.

Защиту при косвенном прикосновении выполняют во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного и 120 В постоянного тока. При наличии соответствующих требований ПУЭ в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных в наружных установках защиту при косвенном прикосновении выполняют при более низких напряжениях например 25 В переменного и 60 В постоянного тока или соответственно 12 и 30 В при наличии специальных требований ПУЭ (при питании погружаемых в воду светильников, ручных светильников в наружных установках, при работе в котлах и т. п.).

Защита от прямого прикосновения не требуется, если электрооборудование находится, в зоне системы уравнивания потенциалов, а наибольшее рабочее напряжение не превышает 25 В переменного или 60 В постоянного тока в помещениях без повышенной опасности и 6 В переменного или 15 В постоянного тока во всех случаях.

3.5.1. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ПРЯМОГО ПРИКОСНОВЕНИЯ К ТОКОВЕДУЩИМ ЧАСТЯМ

Основная изоляция токопроводящих частей должна надежно их прикрывать и выдерживать все возможные воздействия в процессе ее эксплуатации. Высокое качество изоляции проводов характеризуется ее электрическим сопротивлением. В сети напряжением до 1 кВ сопротивление изоляции каждого ее участка должна быть не менее 0,5 МОм на фазу. Однако с течением времени состояние изоляции ухудшается за счет нагревания механических повреждений, влияния окружающей среды и т. п. Поэтому проводится испытание изоляции повышенным напряжением, при котором дефекты изоляции обнаруживаются вследствие ее пробоя. Кроме того, осуществляется контроль сопротивления изоляции периодически мегаомметром и непрерывно с применением прибора постоянного контроля изоляции (ПКИ).

ПКИ не отключает сеть, а показывает текущее значение ее сопротивления изоляции и при снижении его ниже заданного подает сигнал (звуковой и (или) световой).

В случаях, когда основная изоляция обеспечивается воздушным промежутком, защита от прямого прикосновения к токоведущим частям или приближения на опасное расстояние выполняется посредством применения оболочек, ограждений, барьеров или размещения вне зоны досягаемости, например расположением токоведущих частей на недоступной высоте. Ограждения и оболочки должны обладать достаточной механической прочностью и надежно закрепляться. Вход за ограждения или вскрытие оболочки могут быть осуществлены при помощи специального ключа или инструмента либо после снятия напряжения с токоведущих частей. Барьеры выполняют из изолирующего материала.

В целях уменьшения опасности поражения током при прямом и/или косвенном прикосновении применяется сверхнизкое (малое) напряжение (СНН) – напряжение, не превышающее 50 В переменного и 120 В постоянного тока. Сверхнизкое

напряжение используют для питания электрифицированного инструмента, переносных светильников и местного освещения в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и вне помещений. В случае особенно неблагоприятных условий работы применяют напряжение 12 В.

Сверхнизкое напряжение в электроустановках напряжением до 1 кВ применяют в сочетании с защитным электрическим разделением цепей или в сочетании с автоматическим отключением питания.

3.5.2. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ ПРИ КОСВЕННОМ ПРИКОСНОВЕНИИ

Защитное заземление предназначено для устранения опасности поражения электрическим током человека, находящегося в контакте с землей, в случае его прикосновения к корпусу или к другим открытым проводящим частям электроустановок, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (рис.3.7.). При этом все открытые проводящие части электроустановок / соединяются с землей с помощью заземляющих проводников 2 и заземлителя 3, образующих в совокупности заземляющее устройство.

Заземлитель – это проводник или совокупность соединенных между собой проводников, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Заземлители бывают искусственные, предназначенные исключительно для целей заземления, и естественные – находящиеся в земле проводящие ток предметы иного назначения. Для заземления оборудования в первую очередь используют естественные заземлители: железобетонные фундаменты, а также расположенные в земле металлические конструкции зданий и сооружений. Заземляющие устройства должны быть механически прочными, термически и динамически стойкими токам замыкания на землю.

Защитное заземление применяют в сетях напряжением до 1 кВ: трехфазных с изолированной нейтраль (система IT) и однофазных, изолированных от земли а также в сетях напряжением выше 1 кВ как с изолированной, так и с заземленной нейтралью.

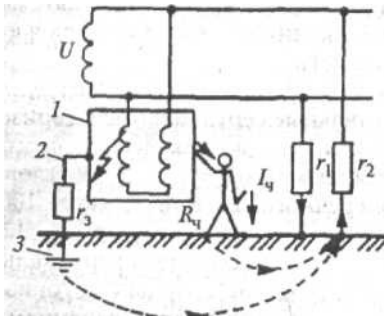


Рис.3. 7. Схема защитного заземления в однофазной двухпроводной сети: 1 – электроустановка; 2 – заземляющий проводник; 3 – заземлитель

С помощью защитного заземления уменьшается напряжение на корпусе относительно земли (напряжение прикосновения) до безопасного значения, следовательно уменьшается и ток, протекающий через тело человека

Рассмотрим вначале функционирование защитного заземления в однофазной двухпроводной сети (см.рис3.7). Если пренебречь шунтирующим действием сопротивления изоляции и положить, что в нормальном жиме работы сети сопротивление

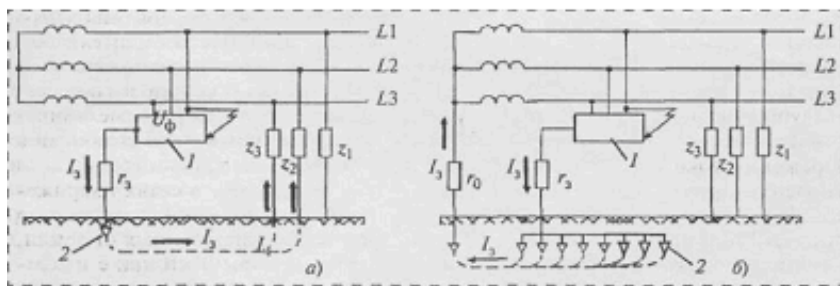


Рис.3. 8. Принципиальные схемы защитного заземления:

- а – в сети с изолированной нейтралью с выносным заземляющим устройством;
 б – в сети с заземленной нейтралью и напряжением выше 1 кВ: 1 – заземленное оборудование;
 2 – заземлитель; 3 – ток замыкания на землю

заземления r_3 мн меньше сопротивления изоляции на много меньше сопротивления изоляции r_2 , то

$$I_{ч} = U/r_2(R /r_3 +1)$$

Следовательно, ток через тело человека можно снизить, уменьшая сопротивление заземления r_3 , а также увеличивая сопротивление изоляции r_2 и сопротивление в цепи тела человека. Таким образом, сопротивление защитного заземления должно быть весьма малым и не превышать указанных ниже нормативных значений, наибольшее из которых составляет 10 Ом.

Аналогичен принцип действия защитного заземления в трехфазной сети с изолированной нейтралью при использовании выносного заземляющего устройства (рис.3.8, а). В этом случае заземляемое оборудование находится вне зоны протекания тока с заземлителя.

Для защиты при косвенном прикосновении в случае замыкания фазы на землю защитное заземление дополняется контролем изоляции сети или применяются устройства защитного отключения с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА.

В целях уравнивания и выравнивания потенциалов в пределах защищаемой территории заземлитель выполняется в виде горизонтально расположенной в земле на глубине 0,3...0,7 м металлической сетки, соединенной проводниками с заземляемыми частями (например, корпусами) электрооборудования. Тогда при замыкании фазы на корпус и стекании тока I_3 в землю потенциал на ее поверхности в пределах площадки оказывается близким к потенциалу заземленных частей оборудования, поэтому напряжение прикосновения не превысит установленных значений (уравнивание потенциалов). Кроме того, за счет сложения потенциальных полей заземлителей, образующих сетку, происходит относительное выравнивание потенциалов на защищаемой территории и снижение шагового напряжения. В отдельных случаях, например, при применении стальных настилов (площадки генераторов) может быть достигнуто практически полное выравнивание и уравнивание потенциалов

в их границах. Описанная ситуация длится кратковременно, так как срабатывает автомат защиты от коротких замыканий на землю и отключает поврежденный участок сети.

Для сооружения искусственных заземлителей применяют обычно стальные вертикальные и горизонтальные электроды. В качестве вертикальных электродов используют трубы диаметром 30...60 мм и угловую сталь с площадью поперечного сечения не менее 100 мм² длиной 2,5...5 м, а также стержни диаметром 12...16 мм и длиной до 10 м и более. Для связи вертикальных электродов и в качестве самостоятельного горизонтального электрода используют полосу сечением не менее 4 x 25 мм и прутки диаметром 10 мм и более. В качестве конструкционного материала применяют также оцинкованную сталь и медь. Для установки вертикальных электродов предварительно роют траншею глубиной

0,7...0,8 м, после чего с помощью механизмов их погружают в землю.

В качестве заземляющих проводников применяют стальную полосу и прутки. Прокладывают их открыто по конструкциям зданий на специальных опорах. При соединении заземляемого оборудования к магистрали заземления осуществляют параллельно с помощью отдельных проводников. Последовательное соединение заземляемого оборудования не допускается, так как при нарушении электрической целостности заземляющего проводника все корпуса оборудования за местом повреждения окажутся не заземленными и, в случае пробоя фазы на корпус в одном из них, будут представлять опасность поражения током.

Соединение элементов заземляющего устройства между собой осуществляется обычно сваркой, а присоединение к заземляемому оборудованию сваркой или с помощью болтов.

Выравнивание потенциала внутри помещения происходит через металлические конструкции, связанные с сетью заземления.

Защитное автоматическое отключение питания осуществляется посредством автоматического размыкания цепи одного или нескольких фазных проводников (и если необходимо, то и нулевого рабочего проводника), выполняемого в целях защиты от поражения электрическим током. Этот способ защиты реализуется, например, в рассмотренной системе защитного заземления, а также в системе защитного зануления в устройствах защитного отключения и защиты от поражения током при замыкании между обмотками понижающего трансформатора, которые будут представлены ниже. Характеристики защитных аппаратов автоматического отключения и параметры защитных проводников должны быть согласованы, чтобы обеспечивалось нормированное время отключения поврежденной цепи защитно-коммутационным аппаратом, указанное в ПУЭ, в соответствии с номинальным напряжением питающей сети. Защитно-коммутационные аппараты могут реагировать на сверхтоки (например, в системе защитного зануления) или на дифференциальный ток (устройства защитного отключения). В электроустановках, где применено автоматическое отключение питания, выполняют выравнивание потенциалов в целях снижения напряжения прикосновения в период времени от момента возникновения аварийной ситуации до момента отключения питания.

Защитное зануление применяется в электроустановках напряжением до 1 кВ и представляет собой преднамеренное соединение открытых проводящих частей

электроустановок (в том числе их корпусов) с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, в сетях с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, в сетях с заземленной точкой источника постоянного тока.

Это соединение выполняют посредством нулевого защитного проводника (РЕ-проводника). Такую систему обозначают TN (Т – нейтраль источника глухо заземлена, N – открытые проводящие части присоединены к этой нейтрали). Нулевой РЕ-проводник следует отличать от нулевого рабочего проводника (N), который тоже присоединен к глухозаземленной нейтрали источника но предназначен для питания электроприемщиков. Проводники РЕ и N могут быть разделены на всем своем протяжении, образуя совместно, с фазными пятипроводную систему, обозначаемую TN-S. Если же они совмещены в одном PEN-проводнике на всем протяжении, то это – четырехпроводная система, TN-G. Применяется также система TN-C-S, в которой начиная от источника питания, прокладывается PEN-проводник, а затем он разделяется на отдельные N и РЕ-проводники в зоне размещения электроприемщиков, предназначенных для подключения к системе TN-S. С позиций безопасности система TN-S предпочтительнее системы TN-C, поскольку в нормальном режиме рабочий ток не протекает по РЕ-проводнику, поэтому, потенциалы зануленных открытых проводящих частей электроустановок практически одинаковы и равны потенциалу, земли. Система TN-S все шире, внедряется в отечественной промышленности и в быту, однако, область применения системе TN-C все еще превалирует.

Согласно ПУЭ наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения в системе TN равно 0,8; 0,4; 0,2 и 0,1 с в зависимости номинального фазного напряжения сети: 127, 220, 380 и более 380 В соответственно. Регламентированы также наименьшие площади поперечного сечения нулевых защитных проводников. Если защитные проводники изготовлены, из того же материала, что и фазные проводники, то их наименьшее сечение зависит от сечения S фазных проводников следующим образом:

сечение фазных проводов, $\text{мм}^2 S < 16; 16 < S < 35; S > 35$

наименьшее сечение защитных проводников, $\text{мм}^2 \text{-----}S; 16; S/2.$

Сечения нулевых защитных проводников из других материалов должны быть эквивалентны по проводимости приведенным.

Нулевой защитный проводник не должен содержать предохранителей и других разъединяющих устройств. Допустимо применение выключателей, которые отключают одновременно нулевой и фазные провода.

Нулевой защитный проводник соединен с землей посредством заземления нейтрали и повторных заземлителей, сопротивление растеканию тока которых обозначено соответственно r_0 и r_n . Повторное заземление выполняют на концах воздушных линий (или ответвлений от них длиной более 200 м), а также на вводах в здания, где имеются электроустановки, подлежащие занулению. Сопротивление заземления нейтрали, общее сопротивление повторных заземлителей и каждого из них в отдельности не должны превышать установленных малых значений, например, в сети 380/220 В соответственно 4, 10 и 30 Ом. Зануленные части электроустановок оказываются заземленными через нулевой защитный проводник. Поэтому в аварийный период (до автоматического отключения поврежденной

установки от сети) проявляется защитное действие этого заземления, т. е. снижается напряжение зануленных частей относительно земли, причем это особенно существенно в случае обрыва PEN-проводника и замыканий фазы на корпус за местом обрыва. Кроме того, за счет заземления нейтрали источника, даже при отсутствии повторного заземления, значительно уменьшается опасность прикосновения к зануленным частям в случае замыкания фазы на землю. В качестве нулевых защитных проводников можно использовать стальные полосы, металлические оплетки кабелей, металлоконструкции зданий, подкрановые пути и др.

В тех случаях, когда электробезопасность не может быть обеспечена в системе TN с помощью защитного зануления, в сети до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью допускается заземление открытых проводящих частей при помощи заземлителя, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника (система TT). При этом для защиты при косвенном прикосновении предусматривается автоматическое отключение питания с обязательным применением УЗО и соблюдением условия

$$R_a I_a < 50 \text{ В},$$

где I_a – ток срабатывания защитного устройства; R_a – суммарное сопротивление заземлителя и заземляющего проводника наиболее удаленного от УЗО электроприемника. Кроме того, выполняется система уравнивания потенциалов.

Защитное отключение – это система быстросрабатывающей защиты, автоматически (за 0,2 с и менее) отключающая электроустановку при возникновении в ней опасности поражения человека электрическим током. Защитное отключение применяется в тех случаях, когда невозможно или трудно осуществить защитное заземление или зануление либо когда высока вероятность прикосновения людей к неизолированным токо-ведущим частям электроустановок. Поэтому защитное отключение целесообразно применять для обеспечения защиты при использовании ручного электроинструмента, передвижных электроустановок.

При замыкании фазы на корпус, при снижении сопротивления изоляции фаз относительно земли ниже определенного предела, при прикосновении человека к токоведущей части, находящейся под напряжением происходит изменение электрических параметров сети, которое может служить импульсом для срабатывания УЗО, основными частями которого являются прибор защитного отключения и автоматический выключатель.

Прибор защитного отключения реагирует на изменение параметров электрической сети и подает сигнал на срабатывание автоматического выключателя, который отключает защищаемую электроустановку от сети.

В зависимости от входного сигнала известны УЗО, реагирующие на напряжение корпуса относительно земли, на ток замыкания на землю, на напряжение нулевой последовательности, на дифференциальный ток, на оперативный ток и т. п. Далее рассмотрим некоторые из них.

Устройство защитного отключения, реагирующее на напряжение корпуса относительно земли (рис. 3.9.) устраняет опасность поражения током при возникновении на заземленном или зануленном корпусе повышенного напряжения, например

в результате повреждения изоляции.

Принцип действия – быстрое отключение от сети установки, если напряжение на корпусе относительно земли окажется выше заданного значения, при котором прикосновение к корпусу становится опасным. Такое УЗО реагирует не только на полный пробой изоляции, но и на частичное уменьшение ее сопротивления.

Напряжение на заземленном корпусе U_K относительно земли при замыкании на него одной из фаз равно произведению тока I_3 , стекающего в землю через основной заземлитель, на его сопротивление r_3 . Если U_K превысит установленное предельное значение для данного реле напряжения (РН), катушка которого включена между корпусом и дополнительным заземлителем $r_{доп}$, то реле сработает. В результате замкнутся нормально, незамкнутые контакты реле, через них запирается от сети катушка электромагнитного выключателя ЭМ, который отключит электроустановку от сети. Применение этого типа защитного отключения распространяется на установки с индивидуальным заземлением.

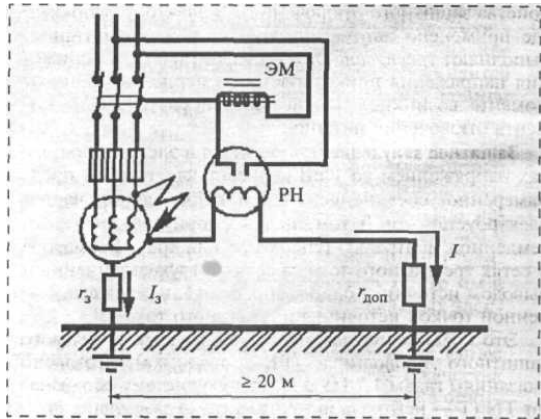


Рис. 3.9. Принципиальная схема УЗО, реагирующего на напряжение корпуса относительно земли

Устройство защитного отключения, работающее на постоянном оперативном токе, предназначено для непрерывного автоматического контроля изоляции фаз относительно земли, а также для защиты человека, прикоснувшегося к токоведущим проводам (рис.3.10.): В этих устройствах активное сопротивление изоляции трехфазных проводов γ относительно земли оценивается получаемым от постороннего источника оперативным током $I_{оп}$, проходящим через эти сопротивления. При снижении γ ниже установленного предела в результате повреждения изоляции и замыкания провода на землю через малое сопротивление $r_{зм}$ или прикосновения человека к фазному проводу возрастает ток $I_{оп}$, вызывающий отключение защищаемой сети от источника питания.

Датчиком УЗО служит реле тока (РТ) с малой величиной тока срабатывания (несколько миллиампер). Трехфазный дроссель (ДТ) предназначен для получения нулевой точки сети. Однофазный дроссель (Д) ограничивает утечку переменного тока в землю, вследствие большого индуктивного сопротивления. В качестве источника постоянного оперативного тока может служить, например, выпрямитель, присоединенный к вторичной обмотке трансформатора, у которого одна из обмоток ДТ является первичной (это устройство на рис.3.10. не показано).

Постоянный ток $I_{оп}$ протекает по цепи “источник–земля–сопротивление изоляции проводов относительно земли–провода–дроссель ДТ–дроссель Д–обмотка РТ–

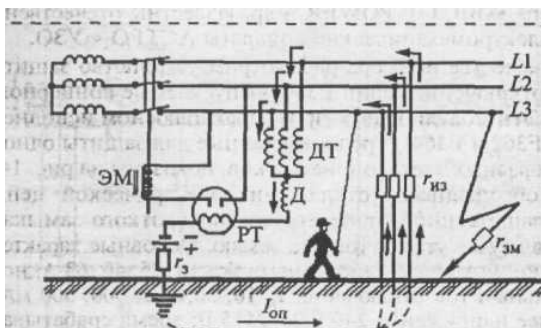


Рис.3.10. Принципиальная схема УЗО, работающего на постоянном оперативном токе (исходное состояние)

источник” (см. рис.3.10.).
Значение этого тока:

$$I_{оп} = U / (R_d + R),$$

где U – напряжение источника постоянного оперативного тока; R_d – суммарное сопротивление реле и дросселей; R – общее сопротивление изоляции проводов ζ и сопротивления $\zeta_{щ}$ при замыкании фазы на землю либо сопротивления $k\lambda$ в случае

прикосновения человека к фазе сети.

При нормальном режиме работы сети сопротивление ζ велико, поэтому значение, $I_{оп}$ мало и не превышает уставку реле РТ.

В случае уменьшения сопротивлению изоляции фазы в результате прикосновения к ней человека или замыкания фазы (фаз) на землю либо на заземленный корпус сопротивление R уменьшается, а ток, $I_{оп}$ возрастает и, превысив уставку, приводит к срабатыванию реле РТ, которое своими, контактами замыкает цепь питания катушки электромагнитного выключателя ЭМ. В результате произойдет отключение сети от питающего трансформатора.

Применяются такие устройства в сетях до 1 кВ с изолированной нейтралью небольшой протяженности, так как они, как правило, обладают большим сопротивлением изоляции и малой емкостью, проводов относительно земли. В таких сетях прикосновение человека к проводу приводит к значительному, возрастанию тока $I_{оп}$, достаточному для срабатывания УЗО.

Устройство защитного отключения, реагирующего на дифференциальный ток, обеспечивает, защиту, в случае прикосновения человека к заземленному или зануленному корпусу электроустановки при замыкании на него фазы, а также при контакте человека с токоведущей частью, находящейся под напряжением.

Устройства защитного отключения могут служить дополнительной защитой к заземлению и занулению, а также самостоятельной защитой (взамен их) и не зависят от сопротивления заземления и сопротивления нулевого проводника при занулении. Недостатком УЗО этого типа является нечувствительность к симметричному снижению сопротивления изоляции фаз в защищаемом электрооборудовании, что возникает весьма редко.

Известна следующая классификация устройств защитного отключения, срабатывающих от дифференциального тока: АС – реагирующие на переменный синусоидальный ток; А – реагирующие на переменный, а также пульсирующий постоянный ток; В – реагирующие на переменный, постоянный и выпрямленный токи; S – селективные (с выдержкой времени отключения); G – то же, что и типа S, но с меньшей выдержкой, времени отключения.

Наличие УЗО типа А и В вызвано тем, что дифференциальные токи утечки могут становиться пульсирующими или принимать вид сглаженного постоянного тока в связи с применением электронных устройств, например, выпрямителей или частотных преобразователей. Устройства защитного отключения типа S и G предназначены для обеспечения селективности отключения объектов защиты. Так при многоступенчатой схеме защиты УЗО, расположенное ближе к источнику питания, должно иметь время срабатывания не менее, чем в три раза больше, чем время срабатывания УЗО, размещенного ближе к потребителю.

Устройства защитного отключения выпускаются с номинальными отключающими токами утечки 10, 30, 100, 300, 500, 1000 мА, причем УЗО с установками 100 мА и более применяются обычно для обеспечения селективности защиты, а с установкой 300 мА также для защиты от возникновения пожара при замыкании на землю.

Устройства защитного отключения бывают электромеханическими и электронными. Первые не зависят от напряжения питания, так как энергии входного сигнала (дифференциального тока) достаточно для их работы. Вторые зависят, так как питаются от контролируемой, сети или от внешнего источника. С этой точки зрения электронные УЗО менее надежны, нежели электромеханические. Кроме того, при обрыве нулевого провода до места установки электронного УЗО оно, не имея питания, не сработает, и фазный провод в защищаемом объекте будет представлять опасность поражения током. Для устранения этого недостатка электронные УЗО оснащают электромагнитным реле, работающим в режиме удержания, которое защищает отключаемый объект при исчезновении питания аппарата защиты. Ряд отечественных предприятий выпускают электронные устройства защитного отключения, в то время как в Германии, Франции, Австрии и некоторых других европейских странах допускается применять только УЗО, не зависящие от напряжения питания. Электромеханические УЗО производят ведущие западные фирмы – Siemens, ABB, GF POWER и др. Известны отечественные электромеханические аппараты АСТРО УЗО.

В качестве примера рассмотрим устройство защитного отключения серии F360, выпускаемые концерном АBB. Эти модули в двух- и четырехполюсном исполнении (F362 и F364), предназначенные для защиты одно- и трехфазных электроприемников, показаны на рис.3.11. Они обеспечивают отключение электрической цепи (уже защищенной от перегрузок и короткого замыкания) в случае утечки тока на землю. Основные характеристики: номинальный ток нагрузок 16, 25, 40, 63 А; номинальный ток отключения $I_{\Delta n}$, 10, 30, 100, 300, 500 мА рабочее напряжение 240 и 240/415 В; время срабатывания 300, 80, 40 мс соответственно при $I_{\Delta n}$, $2I_{\Delta n}$, $\sim 5I_{\Delta n}$; габаритные размеры: ширина 35 и 70 мм,

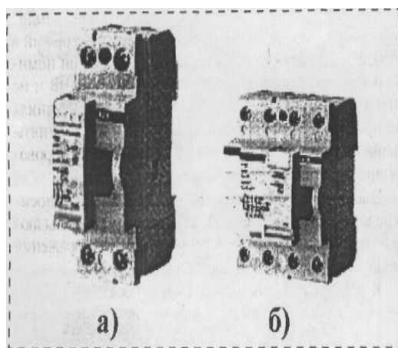


Рис. 3.11. УЗО серии F360:
а – F362 (двухполюсное);
б – F364 (четырёхполюсное)

высота 90 мм, глубина 68 мм. Известны также комбинированные УЗО, оснащенные дополнительно встроенной защитой от сверхтоков.

Защита от замыкания между первичной и вторичной обмотками понижающего трансформатора предотвращает переход высокого напряжения первичной обмотки в сеть низкого напряжения, исключая тем самым массовый пробой изоляции в электропотребителях и попадание высокого напряжения на их корпуса и другие открытые проводящие части.

В качестве средств защиты применяют заземление нейтрали вторичной обмотки, присоединяя ее непосредственно к заземляющему устройству, как это показано на рис. 3.12, а (глухое заземление нейтрали), либо через пробивной предохранитель (ПП), изолирующий в нормальном режиме нейтраль от заземлителя (рис. 3.12, б).

При глухом заземлении нейтрали (см. рис. 3.12, а) в случае замыкания обмотками ток замыкания I_3 возвращается в сеть первичной обмотки через сопротивление заземления r_0 , емкость фазных проводников первичной сети относительно земли С и автомат защиты (АЗ), который срабатывает и отключает трансформатор от питающей сети, благодаря чему достигается безопасность. При изолированной нейтрали (см. рис. 3.12, б) в случае замыкания между обмотками трансформатора высокое напряжение появляется на вторичной обмотке, вызывая пробой ПП, вследствие чего образуется электрическая проводимость между точками А и Б, а далее работа защиты осуществляется так же, как при глухом заземлении нейтрали.

Кроме рассмотренных средств защиты применяют заземленный защитный экран, который располагают между изолированными обмотками трансформатора таким образом, чтобы при повреждении изоляции обмотка высокого напряжения могла иметь контакт только с экраном. В этом случае через заземлитель экрана будет протекать ток замыкания на землю, который вызовет срабатывание автомата защиты и отключение трансформатора от питающей сети.

Уравнивание потенциалов представляет собой электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов, выполняемое в целях

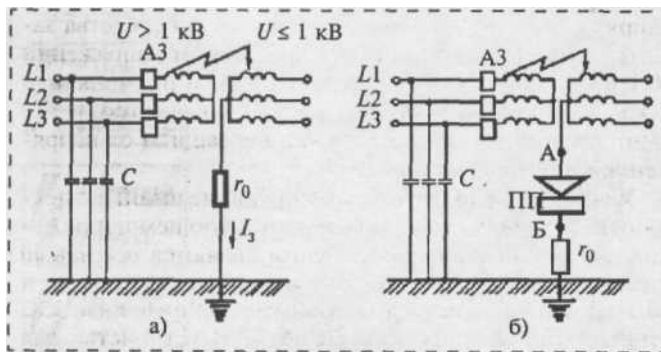


Рис. 3.12. Схема защиты от перехода высокого напряжения на сеть низкого напряжения с нейтралью:

а — глухозаземленной; б — изолированной в нормальном режиме

электробезопасности. Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках напряжением до 1 кВ должна, согласно ПУЭ, соединять между собой:

- нулевой защитный РЕ– или PEN-проводник питающей линии в системе TN;
- заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки в системах IT и TT;
- заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного, заземления на вводе в здание при наличии заземлителя;
- металлические трубы коммуникаций, входящих в здание;
- металлические части каркаса здания;
- металлические части централизованных систем вентиляции и кондиционирования;
- заземляющие устройства системы молниезащиты 2-й и 3-й категории;
- заземляющий проводник функционального (рабочего) заземления, если нет ограничений в ПУЭ на его присоединение;
- металлические оболочки телекоммуникационных кабелей.

Все указанные части присоединяют к главной заземляющей шине при помощи проводников системы уравнивания потенциалов.

Выравнивание потенциалов обеспечивает снижение разности потенциалов (шагового напряжения) на поверхности земли или пола с помощью защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности и присоединенных к заземляющему устройству, или путем применения специальных покрытий земли. Описанная выше конструкция распределенного заземления является практической реализацией этого метода.

Двойная изоляция – это изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, состоящая из основной и дополнительной изоляции. Дополнительная изоляция независима от основной и в случае ее повреждения служит для защиты при косвенном прикосновении.

Усиленная изоляция – это такая изоляция, которая обеспечивает степень защиты от поражения током, равноценную двойной изоляции.

Проводящие части оборудования с двойной изоляцией не должны присоединяться к защитному проводнику и к системе уравнивания потенциалов.

Сверхнизкое напряжение обеспечивает защиту от прямого и косвенного прикосновений к открытым проводящим частям, оказавшимся под напряжением. Оно применяется в сочетании с защитным электрическим разделением цепей или с автоматическим отключением питания. Источник питания цепей сверхнизкого напряжения (СНН) – безопасный разделительный трансформатор или другой источник, обеспечивающий такую же степень безопасности. Цепи СНН надежно электрически отделяются от других цепей. При значениях сверхнизкого напряжения выше 25 В переменного и 60 В постоянного тока предусматривается защита от прямого прикосновения при помощи ограждений, оболочек или изоляции.

При применении сверхнизкого напряжения в сочетании с электрическим разделением цепей открытые проводящие части не присоединяют к заземлителю, защитным проводникам или открытым проводящим частям других цепей и к сторонним проводящим частям, кроме случая, когда соединение сторонних проводя-

щих частей с электрооборудованием необходимо и напряжение на них не превысит СНН.

При использовании сверхнизкого напряжения в сочетании с автоматическим отключением питания один из выводов источника СНН и его корпус присоединяют к защитному проводнику цепи, питающей источник.

Защитное электрическое разделение цепей – это отделение одной электрической цепи от других в электроустановках до 1 кВ с помощью двойной или усиленной изоляции либо основной изоляции и защитного проводящего экрана, отделяющего электрическую цепь и/или проводники оттоковедущих частей других цепей.

Защитное разделение применяют, как правило, для одной цепи, причем наибольшее напряжение отделяемой цепи не должно превышать 500 В. Питание ее осуществляется обычно от разделительного трансформатора, первичная обмотка которого отделена от вторичной при помощи защитного электрического разделения цепей. Токотокведущие части этой цепи прокладываются отдельно от других цепей.

С помощью электрического разделения цепей можно существенно повысить степень безопасности разветвленной электрической сети большой протяженности, разделив ее на отдельные участки с помощью разделительных трансформаторов. Изолированные от земли участки сети небольшой протяженности обладают значительно большим активным сопротивлением изоляции и малой электрической емкостью относительно земли по сравнению со всей разветвленной сетью. Вследствие этого, ток, протекающий через тело человека, стоящего на земле, при прямом или косвенном прикосновении к фазе будет небольшим. Таким образом, улучшатся условия безопасности в зоне отдельного участка сети.

Изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки (далее в тексте “изолирующие помещения”) – помещения, в которых защита при косвенном прикосновении обеспечивается высоким сопротивлением пола и стен и в которых отсутствуют заземленные проводящие части. Такие помещения применяют в электроустановках напряжением до 1 кВ, когда требования к автоматическому отключению питания не могут быть выполнены, а применение других мер невозможно либо нецелесообразно.

Сопротивление относительно зоны растекания изолирующего пола и стен изолирующих помещений в любой точке должно быть не менее 50 кОм при номинальном напряжении электроустановки до 500 В и не менее 100 кОм, если более 500 В. В таких помещениях не предусмотрен защитный проводник и предприняты меры против заноса потенциала на сторонние, проводящие части помещения извне.

Электрозащитные средства (ЭЗС) – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током и электрической дугой.

К электрозащитным средствам относят:

- изолирующие штанги всех видов;
- изолирующие клещи;
- указатели напряжения;
- сигнализаторы и дистанционные индикаторы наличия напряжения;

– устройства и приспособления для обеспечения безопасности работ при измерениях и испытаниях в электроустановках (электроизмерительные клещи, указатели напряжения для проверки совпадения фаз, устройства для прокола кабеля и т. п.);

- диэлектрические перчатки, галоши, боты;
- диэлектрические ковры и изолирующие; подставки;
- защитные ограждения (щиты и ширмы);
- изолирующие накладки и колпаки;
- ручные инструменты для работ под напряжением до 1 кВ;
- переносные заземления;
- плакаты и знаки безопасности;
- гибкие изолирующие покрытия и накладки для работ под напряжением в электроустановках до 1 кВ;
- прочие средства защиты для ремонтных работ под напряжением.

Некоторые из перечисленных средств показаны на рис.3.13.

Кроме ЭЗС при работах с электроустановками применяются средства индивидуальной защиты: очки, каски, противогазы, рукавицы, предохранительные монтажные пояса и страховочные канаты.

По условиям применения изолирующие электротехнические средства разделяют на основные и дополнительные. Основные ЭЗС – это средства защиты, изоляция которых длительно выдерживает рабочее напряжение электроустановок, что позволяет с их помощью работать на токоведущих частях, находящихся под напряжением. Дополнительные ЭЗС – это средства щиты, которые сами не могут при данном напряжении обеспечить защиту от поражения током и применяются исключительно совместно с основными электротехническими средствами, а также служат для защиты от напряжения прикосновения и шага.

Указатели напряжения, изолирующие штанги, электроизмерительные клещи в соответствующем напряжению конструктивном исполнении являются основными изолирующими ЭЗС в электроустановках напряжением до 1 кВ и выше.



Рис.3.13. Электротехнические средства, применяемые в электроустановках: 1 – клещи для вставки предохранителей; 2 – гаечный ключ; 3 – отвертка; 4, 6, 10 – указатели напряжения; 5 – пассатижи; 7 – резиновый коврик и дорожка; 8 – изолирующая подставка; 9 – токоизмерительные клещи; 11 – перчатки резиновые диэлектрические; 12 и 13 – галоши и боты диэлектрические; 14 – сапоги диэлектрические

Также к основным изолирующим ЭЗС относят: при напряжении выше 1 кВ устройства для обеспечения безопасности труда при проведении испытаний и измерений, средства для выполнения ремонтных работ, а при напряжении до 1 кВ – диэлектрические перчатки и ручные инструменты для работ под этим напряжением.

К дополнительным изолирующим ЭЗС в электроустановках напряжением до 1 кВ и выше относят диэлектрические ковры, изолирующие подставки и накладки, изолирующие колпаки. Кроме них при напряжении выше 1 кВ – диэлектрические перчатки и боты, штанги для переноса и выравнивания потенциала, а до 1 кВ – диэлектрические галоши и изолирующие покрытия.

Плакаты и знаки безопасности служат для предупреждения об опасности поражения электрическим током, для запрещения контактов с коммутационной аппаратурой, для определения места работы и т. п.

Для обеспечения безопасной и безаварийной работы электроустановок необходимо наряду с совершенствованием их устройства, оснащением средствами защиты правильно организовать эксплуатацию их обслуживающим персоналом.

3.6. ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

В результате накопленного опыта работы множества электроустановок разработаны мероприятия по их безопасной эксплуатации, которые приведены в Правилах эксплуатации электроустановок потребителей, а также в Межотраслевых правилах по охране труда (правилах безопасности) при эксплуатации электроустановок (далее Правила). В Правилах изложены требования к электротехническому персоналу, организационные и технические мероприятия, обеспечивающие безопасность эксплуатации электроустановок, и меры безопасности при выполнении отдельных работ.

Требования к персоналу. Работники должны иметь профессиональную подготовку, соответствующую характеру работ в электроустановках. При ее отсутствии работников обучают в специализированных центрах подготовки персонала в соответствии с требованиями нормативных правовых актов по организации охраны труда. При приеме на работу, а затем периодически работники проходят проверку здоровья в предусмотренном порядке. Персонал до допуска к работе должен быть обучен приемам освобождения пострадавшего от действия тока, оказания первой помощи. Работники, обслуживающие электроустановки, подвергаются проверке знаний Правил и других нормативно-технических документов. Успешно прошедшим проверку присваивается соответствующая группа по электробезопасности (с II по V) и выдается удостоверение установленной формы. В процессе стажировки обучающиеся закрепляются за опытными работниками. Допуск к самостоятельной работе оформляется распоряжением руководителя предприятия.

Организация работ. К мероприятиям, обеспечивающим безопасность работ в электроустановках, относят:

– оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации; допуск к работе;

- надзор во время работы;
- оформление перерывов в работе, перевода на другое место, окончания работы.

Ответственным за безопасность работ может быть:

- лицо, выдающее наряд или отдающее распоряжение, либо утверждающее перечень работ при текущей эксплуатации;
- ответственный руководитель работ;
- допускающий (ответственное лицо оперативного персонала);
- производитель работ;
- наблюдающий;
- члены бригады.

Выдачу нарядов и распоряжений производят работники из числа административно-технического персонала организации, имеющие квалификационную группу V, а в электроустановках до 1 кВ – не ниже IV. Выдающий наряд, отдающий распоряжение отвечает за достаточность и правильность указанных в наряде (распоряжении) мер безопасности, за состав бригады и назначение ответственных за безопасность. Наряд (распоряжение) выдается до начала работы бригады.

При работах в электроустановках под напряжением до 1 кВ необходимо:

- оградить расположенные вблизи рабочего места другие токоведущие части, находящиеся под напряжением;
- работать в диэлектрических галошах или стоя на изолирующей подставке либо на резиновом ковре;
- применять изолированный инструмент или пользоваться диэлектрическими перчатками.

Технические мероприятия. При подготовке рабочего места к выполнению работ со снятием напряжения требуется выполнить в указанном порядке следующие действия:

- произвести необходимые отключения установки (или ее части) от источника питания и принять меры, препятствующие случайной подаче напряжения на место работы (механическое запирающее устройство приводов отключенных коммутационных аппаратов, снятие предохранителей, отсоединение концов питающих линий и т. п.);
- на приводах управления коммутационных аппаратов необходимо вывесить запрещающие плакаты;
- следует проверить отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые необходимо заземлить (включить заземляющие ножи или установить переносные заземления);
- вывесить указательные плакаты “Заземлено”, оградить при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением части, вывесить предупреждающие и предписывающие плакаты.

Ответственным за электробезопасность является работник из числа административно-технического персонала, на которого возложены обязанности по организации безопасного обслуживания электроустановок в соответствии с действующими правилами (обычно это лицо, ответственное за электрохозяйство организации).

3.7. АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ОТ СВЕРХТОКОВ

Известно, что при определенных условиях в сети могут возникнуть токи короткого замыкания (КЗ) и перегрузок, так называемые сверхтоки, а также ток утечки, следствием которых могут стать повреждения электрооборудования, поражения людей, пожары. Сверхтоки возникают часто в результате повреждения изоляции токопроводов или подключения электроприемников избыточной мощности. Токи утечки возникают, как правило, вследствие недопустимого снижения сопротивления изоляции или прикосновения человека к частям, находящимся под напряжением. Быстрое прерывание протекания сверхтоков обеспечивают автоматические выключатели и предохранители, а отключение защищаемого объекта от питающей сети при возникновении в нем тока утечки осуществляют устройства защитного отключения. Защиту при возникновении обоих видов опасных токов выполняют дифференциальные автоматические выключатели.

Токи уставок ($I_{уст}$) автоматических выключателей, (АВ) и номинальные токи ($I_{ном}$) плавких вставок (ПВ) предохранителей, защищающих отдельные участки сети, выбирают, по возможности, наименьшими, исходя из расчетных токов этих участков или номинальных токов подключенных здесь электроприемников, но таким образом, чтобы аппараты защиты не отключали электроустановки при кратковременных перегрузках (пусковые токи, токи при самозапущке и т. п.). Аппараты защиты от токов КЗ должны обеспечивать наименьшее время отключения защищаемой электрической цепи в рамках установленных ПУЭ допустимых значений. Аппараты защиты предохраняют от перегрузок осветительные сети жилых зданий, включая цепи бытовых и переносных электроприемников (утюгов, чайников, плиток, холодильников, пылесосов, стиральных и швейных машин и т. п.), а также, при необходимости силовые сети этих зданий. По отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам, приведенным в ПУЭ для различных проводников сети, аппараты защиты должны иметь кратность не более:

80 % для $I_{ном}$ плавкой вставки или $I_{уст}$ автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку), – для проводников с поливинилхлоридной (ПВХ), резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией;

100 % для $I_{ном}$ плавкой вставки или $I_{уст}$ автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку), для кабелей с бумажной изоляцией;

100 % для $I_{ном}$ расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратнo зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки) – для проводников всех марок, а также для тока трогания расцепителя АВ с регулируемой обратнo зависящей от тока характеристикой – для проводников с ПВХ, резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией;

125 % для тока трогания расцепителя АВ с регулируемой обратнo зависящей от тока характеристикой – для кабелей с бумажной изоляцией и изоляцией из вулканизированного полиэтилена.

Аппараты защиты должны иметь надпись, указывающую значения $I_{уст}$ расцепителя и $I_{ном}$ плавкой вставки. Номинальный ток ПВ предохранителя указывается

производителем на имеющемся на ней клейме. Если ток в цепи, защищенной предохранителем, превысит $I_{ном} ПВ$, то она расплавляется, обеспечивая разрыв цепи и предотвращая тем самым перегрев проводов и возможное возникновение пожара. После устранения причин, вызвавших перегрузку, плавкую вставку заменяют новой. Установка проволоч, шунтирующих или заменяющих перегоревшую калиброванную на заводе проволочку плавкой вставки, недопустима, так как может стать причиной пожара.

Более удобны в эксплуатации предохранители автоматические резьбовые (ПАР). При возникновении сверхтоков, превышающих ток срабатывания ПАР, они автоматически отключают защищаемую сеть. После устранения причин перегрузки, питание вновь подается в сеть нажатием одной из двух кнопок, установленных на ПАР. Нажатием другой кнопки можно при необходимости отключить сеть от источника питания. Предохранители и автоматические выключатели пробочного типа присоединяют к сети так, чтобы при вывинченной пробке винтовая гильза аппарата оставалась без напряжения.

Промышленностью выпускаются различные типы автоматических выключателей, что позволяет выбрать подходящий с необходимым номинальным током. Например, выключатели автоматические серии ВА 45-29 со встроенной защитой от токов перегрузки и КЗ, а также от пожаров при сверхтоках могут быть использованы в однофазных и трехфазных сетях напряжением 220 и 380/220 В. Выключатели ВА 45-29 могут иметь 1, 2, 3 или 4 полюса. Они выпускаются с номинальным током $I_{я} - 10, 16, 25, 32, 40, 50, 63$ А; временем отключения не более 0,1 с при токе $10I_{я}$, и номинальной включающей и отключающей способностью $I_m = 3000$ А.

3.8 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ К УСТРОЙСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Современная бытовая среда, в которой человек проводит значительную часть жизни, насыщена электроприемниками различного назначения, преобразующими электрическую энергию в другой необходимый вид энергии (световой, звуковой, тепловой, механический и др.). В связи с многообразием и доступностью этого, электрооборудования различным группам населения, в большинстве не имеющих специальной подготовки в области электробезопасности, представляется целесообразным конкретизировать применительно к бытовым условиям приведенные выше методы и средства защиты от поражения током.

В любой квартире или коттедже поступление электроэнергии к ее потребителям (электроприемникам) должно выполняться в соответствии с требованиями нормативных документов и в первую очередь ПУЭ. Это относится к устройствам ввода, коммутации, учета распределения электроэнергии, к системе электропроводки, электроустановочным устройствам (штепсельным розеткам, выключателям и т. п.). Только правильное выполнение и эксплуатация указанных устройств и систем позволяет гарантировать четкую работу аппаратов защиты, осуществляющих постоянный контроль за безопасностью электросети.

На вводе питающих проводов в жилое помещение размещают групповой электрощиток, на котором установлены коммутационные устройства, расчетный счетчик, аппараты защиты. К последним подключают электропроводку помещения и через нее электроприемники, в том числе светильники, штепсельные розетки и др. Питание электроприемников осуществляется от сети 380/220 В с системой заземления TN-S или TN-C-S. Линии сети групповых щитков до электроприемников (групповые сети), выполняются трехпроводными с фазным – L, нулевым рабочим – N и нулевым защитным – PE-проводниками, причем последние два не должны быть присоединены на щитке к общему зажиму.

Электропроводку в помещениях выполняют сменяемой: скрыто – в каналах строительных конструкций, замоноличенных трубах; открыто – в электротехнических плинтусах, коробах и т. п. Если строительные конструкции выполнены из негорючих материалов, допускается несменяемая замоноличенная процессами групповых сетей в бороздках стен, под штукатуркой, и т. п., выполняемая кабелем или изолированными проводами в защитной оболочке. Такая проводка невидима, поэтому произвольное сверление отверстий в стенах или вбивание гвоздей и костылей жителями недопустимо, так как они не знают схемы электропроводки. Рекомендуется эти действия согласовать со специалистами, обслуживающими данное жилищное хозяйство.

Электрические провода, прокладываемые за непроходными подвесными потолками, необходимо заключать в металлические трубы, обладающие локализационной способностью при возникновении горения, и в закрытых коробах. За потолками из негорючих материалов можно использовать кабели, не распространяющие горение.

В кухнях квартир могут применяться те же виды электропроводок, что и в жилых комнатах и коридорах. В ванных комнатах, санузлах, душевых, как правило, выполняется скрытая электропроводка и только кабели допускается прокладывать открыто. В этих помещениях запрещено прокладывать провода в металлических оболочках, трубах, рукавах.

Выбор сечения проводников осуществляется согласно указаниям ПУЭ, исходя из допустимых длительных токов для проводов, шнуров и кабелей в зависимости от материала жил (медные или алюминиевые), вида изоляции и способа их прокладки. В жилых зданиях рекомендуется применять проводники с медными жилами.

Осветительная сеть жилых помещений с напряжением 220 В обычно позволяет подключить электроприемники единичной мощности до 1,5 кВт. Электроустановочные устройства, в том числе штепсельные розетки и выключатели рассчитаны на ток до 10 А при напряжении 220 В. Иногда к одной розетке через тройник или многорозеточный удлинитель подключают одновременно несколько электроприборов, суммарная мощность которых превышает допустимую. Такие действия недопустимы, так как приводят к перегреву электрооборудования, в том числе проводов, к быстрому высыханию и порче их изоляции, следствием чего может стать короткое замыкание, а при неэффективной защите от сверхтоков – загорание и пожар. При необходимости задействовать электроприемники большой единичной мощности (электроплиты, стиральные машины и т. п.) для них прокладывают непосредствен-

но от группового электрощитка отдельную электропроводку, рассчитанную на соответствующие токи.

Во всех помещениях необходимо присоединять открытые проводящие части светильников общего освещения и стационарных электроприемников (электроплит, бытовых кондиционеров, электрополотенец и т. п.) к нулевому РЕ-проводнику. В помещениях без повышенной опасности могут применяться подвесные светильники, не имеющие зажима для подключения РЕ-проводника, при условии, что крюк для их подвески изолирован. Металлические корпуса однофазных переносных электроприборов и настольных средств оргтехники класса I необходимо присоединять к РЕ-проводнику трехпроводной групповой линии, для защиты которой рекомендуется предусмотреть УЗО. Если аппарат защиты от сверхтока не обеспечивает отключение за 0,4 с при номинальном напряжении 220 В из-за малых токов КЗ и помещение не охвачено системой уравнивания потенциалов, то применение УЗО обязательно.

В зоне действия устройства защитного отключения, реагирующего на дифференциальный ток, N-проводник не должен иметь соединения с заземленными элементами и РЕ-проводником. УЗО следует использовать в групповых линиях, имеющих защиту от сверхтоков. В жилых зданиях не допускается применять устройства защитного отключения, автоматически отключающие потребителя от сети при исчезновении или недопустимом падении напряжения сети. При этом УЗО должно сохранять работоспособность на время не менее 5 с при снижении напряжения до 50 % номинального. При наличии в зоне защиты источников пульсирующего тока, например стиральных машин с регуляторами скорости, телевизоров, видеомagneтофонов, персональных компьютеров и др. применяют устройства защитного отключения типа А.

В групповых сетях, питающих штепсельные розетки, используют УЗО с номинальным током срабатывания не более 30 мА. При этом максимальный суммарный ток утечки сети в нормальном режиме работы не должен превосходить 1/3 номинального тока УЗО. При отсутствии данных ток утечки электроприемников следует принимать из расчета 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а ток утечки сети из расчета 10 мкА на 1 м длины фазного проводника. Размещение устройств защитного отключения допускается на этажных или квартирных щитках, причем последний вариант установки является предпочтительным.

На вводе в здание выполняется основная, а по ходу передачи электроэнергии дополнительная система уравнивания потенциалов (СУП). Для ванных и душевых помещений дополнительная СУП является обязательной с присоединением к ней также сторонних проводящих частей (водопроводные и канализационные трубы, элементы отопительной системы и т. п.). Если в этих помещениях нельзя подключить систему уравнивания потенциалов к РЕ-проводнику, то ее присоединяют к РЕ-шине (зажиму) на вводе, т. е. к основной СУП. Замоноличенные в пол нагревательные элементы покрывают заземленной металлической сеткой или оболочкой, присоединенной к СУП. В качестве дополнительной защиты для нагревательных элементов рекомендуется использовать УЗО с током установки до 30 мА. Обособленное местное уравнивание потенциалов для саун, ванных и душевых помещений не допускается.

Для питания осветительных приборов, как правило, применяют напряжение не выше 220 В, причем в помещениях без повышенной опасности при любой высоте установки стационарных светильников. В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных при высоте установки светильников общего освещения менее 2,5 м необходимо применять светильники класса защиты II и III. Допускается применять также светильники класса защиты I при условии их питания через УЗО с током срабатывания до 30 мА. Сети освещения должны быть защищены предохранителями или автоматическими выключателями.

Для питания светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных используют, как правило, напряжение не выше 50 В, получаемое от разделяющих трансформаторов или автономных источников питания. Напряжение до 220 В допускается при наличии защитного отключения питающей линии при токе утечки до 30 мА или при питании каждого светильника через разделяющий трансформатор. Люминесцентные лампы для местного освещения применяются только в арматуре специальной конструкции.

Переносные светильники, предназначенные для подвешивания, настольные, напольные и т. п. приравниваются при выборе напряжения к стационарным светильникам местного освещения.

Выключатели и переключатели переносных электроприемников устанавливают обычно на самих электроприемниках или в электропроводке, проложенной неподвижно. На подвижных проводах устанавливают выключатели специальной конструкции. Выключатели для светильников общего освещения устанавливают на стене помещения на высоте от 0,8 до 1,7 м от пола, а в школах, детских садах и яслях в помещениях, где могут находиться дети, – на высоте 1,8 м. Допускается установка выключателей под потолком с управлением при помощи шнура. В трех- или двухпроводных однофазных линиях сетей с заземленной нейтралью используют однополюсные выключатели в цепи фазного (L) провода или двухполюсные, отключающие одновременно L и N-проводники. Двухполюсные выключатели устанавливают в трех- или двухпроводных групповых линиях сетей с изолированной нейтралью или без нее при напряжении выше 50 В в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных. В помещениях умывальников и зонах 1 и 2 (ГОСТ Р 50571.11–96) ванн и душевых комнат допускается установка выключателей, соответствующих требованиям ГОСТ 7397.0–89, приводимых в действие шнуром. Отключающие аппараты сети освещения чердаков, имеющих элементы конструкций из горючих материалов, должны устанавливаться вне чердака.

В жилых помещениях штепсельные розетки устанавливают на высоте, удобной для пользования, но не выше 1 м от пола. При скрытой проводке применяют штепсельные розетки и выключатели в утопленном исполнении. Допускается установка розеток на специальных плинтусах, выполненных из негорючих материалов. Гнезда розеток должны автоматически закрываться защитным устройством при вынутой вилке. В школах и детских учреждениях штепсельные розетки размещают на высоте 1,8 м. Штепсельные розетки для переносных электроприемников с частями, подлежащими защитному заземлению, снабжают защитным контактом для присоединения РЕ-проводника. При этом соединение между заземляющими

контактами вилки и розетки должно происходить до того, как войдут в соприкосновение токоведущие контакты; порядок отключения должен быть обратным. Заземляющие контакты розеток и вилок электрически соединяются с их корпусами, если последние изготовлены из токопроводящих материалов. Вилки выполняются таким образом, чтобы их нельзя было включить в розетки с более высоким напряжением, чем то, для которого они предназначены. Для защиты групповых линий, питающих штепсельные розетки для переносных электроприборов, рекомендуется применять УЗО при условии, что эти линии снабжены дополнительным аппаратом защиты от сверхтоков.

В ваннных комнатах квартир и номеров гостиниц допускается установка штепсельных розеток к сети через индивидуальные разделительные трансформаторы или защищенные УЗО, реагирующим на дифференциальный ток, не превышающий 30 мА. Розетки и выключатели должны находиться на расстоянии не менее 0,6 м от дверного проема душевой кабины, изготовленной заводским способом, а также не ближе 0,5 м от газопроводов.

Рассмотрим наиболее характерные ситуации, встречающиеся в быту, которые следует избегать и вовремя устранять.

Опасность поражения током может возникнуть:

- при пользовании электроприборами с нарушенной изоляцией, электроплитами с открытой спиралью, самодельными электропечами, при заполнении водой электроводонагревателей, включенных в сеть;

- при проверке нагревания воды руками, если в нее опущен электрокипятильник;

- при нарушении порядка включения прибора в сеть, согласно которому шнур сначала должен быть подключен к прибору, а потом к сети;

- при использовании оголенных концов проводов вместо штепсельной вилки;

- в случае появления в помещении, например на кухне, двух систем включения приборов: с защитным занулением корпусов и без него, что повышает вероятность поражения током;

- при пользовании электрозажигалками, подключенными к сети 220 В, для зажигания газовых горелок, так как в процессе их эксплуатации часто изоляция шнура оплавляется, что может привести к короткому замыканию или электротравмам.

Необходимо постоянно следить за выполнением следующих основных положений по безопасному использованию электроэнергии в быту:

- аппараты защиты от токов короткого замыкания и перегрузки (автоматические выключатели и пробочные предохранители), а также УЗО должны быть всегда исправны; замена заводских плавких вставок самодельными недопустима; желательна ежемесячная проверка работоспособности устройства защитного отключения путем нажатия на кнопку “Тест” (отключение при этом объекта защиты свидетельствует об исправности УЗО);

- изоляция электропроводки, штепсельных розеток и выключателей, ламповых патронов и светильников, шнуров для подключения электроприемников (телевизоров, холодильников и т. п.) должна находиться в исправном состоянии; при появлении в помещении специфического запаха подгоревшей резины или

пластмассы необходимо отключить подачу электроэнергии и вызвать электромонтера для нахождения и устранения неисправности, а также последующего включения электроэнергии;

– во избежание повреждения изоляции не допускается перекручивать провода или шнуры, закладывать их за газовые или водопроводные трубы, за батареи отопления; вытягивать за шнур вилку из розетки; закрашивать и белить провода;

– не следует оставлять приборы, за исключением холодильника, во время работы без присмотра;

– эксплуатация холодильника на токопроводящем полу должна осуществляться с изолирующих подставок (резиновых ковриков); необходимо отключать холодильник от сети на время его протирки, замены электролампы, перемещения на другое место, устранения неисправностей; запрещается прикасаться одновременно к холодильнику и к объектам, имеющим контакт с землей (газовые плиты, радиаторы отопления, системы водопровода, канализации и т. п.);

– бытовые электроприемники (стиральные машины, электроутюги, электросамовары и т. п.), предназначенные для использования в помещениях, применять вне помещений запрещается.

3.9. ЗАЩИТА ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

В ряде случаев существенную опасность для человека представляет статическое электричество, под которым понимают совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией (ослаблением) свободного электрического заряда на поверхности и в объеме диэлектрических веществ, материалов, изделий или на изолированных проводниках. Величина потенциалов зарядов искусственного статического электричества на ременных передачах и лентах конвейеров может достигать 40 кВ, при механической обработке пластмасс и дерева – до 30 кВ, при распылении красок – до 12 кВ. При соответствующих условиях происходит пробой воздушной прослойки, сопровождающийся искровым зарядом (пробивное сопротивление сухого воздуха составляет 3000 кВ/м), что может привести к взрыву или пожару.

Воздействие статического электричества на организм человека проявляется в виде слабого длительно протекающего тока через тело человека. В результате чего может произойти несчастный случай. Вредное воздействие на организм человека оказывает и электрическое поле повышенной напряженности, вызывая функциональные изменения центральной нервной, сердечно-сосудистой и некоторых других систем организма.

Защиту от статического электричества осуществляют:

- 1) путем уменьшения генерации электрических зарядов;
- 2) устранения зарядов статического электричества;
- 3) применением СИЗ (электростатические халаты и специальная обувь (имеющая кожаную подошву) из электропроводной резины и антистатические браслеты).

Для реализации первого направления необходимо:

– выполнять соответствующий подбор пар трения или смешивание материалов (из которых изготавливаются машины, агрегаты и прочее технологическое оборудование, таким образом), чтобы в результате трения один из смешанных материалов наводил заряд одного знака, а другой – другого. В настоящее время создан комбинированный материал из нейлона (40%) и дакрона (60%), обеспечивающий защиту от статического электричества по этому принципу;

– изменение технологического режима обработки материалов (уменьшение скоростей обработки, скоростей транспортирования и слива диэлектрических жидкостей, уменьшение сил трения).

Для реализации второго направления необходимо:

– выполнять заземление технологического оборудования;

– повышать относительную влажность в помещении, где производится обработка поглощающих воду материалов (древесины, бумаги, хлопчатобумажной ткани и др.), до 65-70%;

– наносить на их поверхность специальные антистатические составы (в которые входят графит, углеродные волокна, алюминиевая пудра и т.д.).

3.10. ПЕРВАЯ ПОМОЩЬ ПРИ ЭЛЕКТРОТРАВМАХ

Если человек попал под электрическое напряжение, необходимо, не теряя ни одной секунды, освободить пострадавшего от тока. После освобождения от проводов человек может быть без сознания и не дышать.

Если пострадавший находится без сознания и не дышит, следует немедленно послать за врачом и сразу же приступить к искусственному дыханию. Искусственное дыхание необходимо делать непрерывно до прибытия врача.

Способы освобождения человека от электрического тока. Прикасаться к человеку, находящемуся под током, без применения мер предосторожности опасно. Поэтому электроустановка должна быть немедленно отключена. Если пострадавший находится на высоте, перед отключением принимают меры, устраняющие возможность несчастного случая при падении с высоты. Если быстро отключить установку нельзя, необходимо отделить человека от токоведущей части. При напряжении установки до 1000 В для этого можно воспользоваться сухой одеждой, канатом, палкой, доской или другим сухим предметом, не проводящим электрический ток. Чтобы оторвать человека от токоведущей части, можно также взяться за его одежду, если она сухая и отстает от тела.

Для изоляции рук при спасении пострадавшего следует надеть резиновые перчатки или обмотать руки шарфом, надеть на руки суконную фуражку, опустить на руку свой рукав и т. п. Для изоляции рук можно также надеть на пострадавшего прорезиненную ткань (плащ) или сухую ткань, встать на сухую доску или сухую, не проводящую электрический ток подстилку. При освобождении пострадавшего от тока рекомендуется действовать по возможности одной рукой. Когда человек судорожно сжимает в руках один провод и электрический ток проходит через него в землю, проще прервать ток, не разжимая руки пострадавшего, а отделяя его от земли (например, подsunуть под пострадавшего сухую доску). При напряжении

выше 1000 В для отделения пострадавшего от земли или токоведущих частей, находящихся под напряжением, следует надеть боты и перчатки и действовать штангой или клещами на соответствующее напряжение. Когда невозможно быстро и безопасно освободить пострадавшего от тока, прибегают к короткому замыканию. Для этого набрасывают проводник на токоведущую часть.

Искусственное дыхание делают многими способами. Наиболее эффективный способ “изо рта в рот”. Потерпевшему кладут валик из одежды под лопатки. После этого спасающий давит одной рукой на лоб, а другую подкладывает под шею, чтобы несколько отогнуть голову потерпевшего и предотвратить западание языка в гортань. Сделав глубокие вдохи, спасающий вдвухает воздух через марлю из своего рта в рот или нос пострадавшего.

При вдувании через рот спасающий должен закрыть своей щекой или пальцами нос пострадавшего; при вдувании в нос – пострадавшему закрывают рот. После каждого вдувания нос и рот пострадавшего открывают, чтобы не мешать свободно-му выходу воздуха из грудной клетки. Затем спасающий снова повторяет вдувание воздуха. Частота вдуваний 12 раз в минуту.

Если у пострадавшего не работает сердце, одновременно с искусственным дыханием необходимо применить массаж сердца. Второе лицо из оказывающих помощь становится слева от пострадавшего, кладет ладонь вытянутой до отказа руки на нижнюю часть грудины пострадавшего, вторую руку накладывает на первую. Усиливая давление рук своим корпусом, надавливает толчками с такой силой, чтобы грудина смещалась на 4-5 см. После этого спасающий резко поднимается. Массаж делается с частотой 1 раз в секунду. После 3-4 надавливаний должен быть перерыв на 3 секунды для вдувания воздуха. Не следует надавливать на грудину во время вдувания, т.к. это препятствует восстановлению дыхания.

Искусственное дыхание пострадавшему нужно делать до полного появления признаков жизни, т.е. когда пострадавший станет самостоятельно свободно дышать, или до явных признаков смерти. Смерть может констатировать только врач. После каждых пяти минут рекомендуется делать на 15 – 20 секунд перерывы для регулирования концентрации углекислоты в крови пострадавшего до нормы и стимулирования самостоятельного дыхания. Наряду с искусственным дыханием во всех случаях рекомендуется сильно растереть спину, конечности, кожу лица.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое действие оказывает электрический ток на организм человека?
2. Что такое электротравмы?
3. Каковы причины электротравматизма?
4. От каких факторов зависит исход поражения электрическим током?
5. Укажите способы и средства защиты от поражения электрическим током.
6. Укажите организацию безопасной эксплуатации электроустановок.
7. Назовите индивидуальные средства защиты от поражения электрическим током.
8. Укажите средства защиты от статического электричества.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ ПО «БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

Авария – это выход из строя, повреждение какого-либо механизма, машины, станка, установки, поточной линии, системы энергоснабжения, оборудования, транспортного средства, задания или сооружения.

Анализ опасности – процедура выявления потенциальных событий, влекущих за собой реализацию опасности; анализ механизмов подобных событий, вероятность их возникновения; определение уязвимости территорий и степени риска для общества.

Антропогенная чрезвычайная ситуация – ЧС, являющаяся следствием ошибочных действий людей.

Биологическая чрезвычайная ситуация – ЧС, происходящая от животных существ и организмов.

Глобальная чрезвычайная ситуация – ЧС, последствия которой настолько велики, что они захватывают значительные территории, ряд республик, краев, областей и сопредельные стороны.

Загрязнение антропогенное – загрязнение, возникающее в результате деятельности людей, в том числе их прямого или косвенного влияния на интенсивность природного загрязнения.

Загрязнение химическое – изменение естественных, химических свойств окружающей среды, превышающее допустимые значения, или проникновение в среду веществ, нормально отсутствующих в ней.

Здоровье населения – основное свойство человеческой общности, ее естественное состояние, отражающие индивидуальные реакции каждого члена общества и способности всей общности эффективно осуществлять социальные и биологические функции. Понятие «здоровье человека» непосредственно не несет количественной меры. Ориентировочный вклад различных факторов в здоровье населения: образ жизни – 50 – 52%, биология (генетика) человека – 20 – 22, окружающая среда – 18 – 22, здравоохранение – 7 – 12%.

Индивидуальный риск – риск, характеризующий опасность определенного вида для отдельного человека.

Инцидент – отказ технической системы, вызванный неправильными действиями оператора.

Ионизирующее излучение – поток частиц (электронов, позитронов, протонов, нейтронов) и квантов (рентгеновские, гамма-лучи) электромагнитного излучения, прохождение которых через вещество приводит к ионизации и возбуждению его атомов и молекул.

Катастрофа – событие с трагическими последствиями, крупная авария с гибелью людей; непредвиденная и неожиданная ситуация, с которой пострадавшее население не может справиться самостоятельно.

Комфортность среды – субъективное чувство и объективное состояние полного здоровья при данных условиях окружающей человека среды, включая ее производственные, природные и социально-экономические показатели.

Контроль экологический производственный – деятельность предприятий, организаций, учреждений по управлению воздействием на окружающую среду имеющихся источников загрязнения.

Контроль за окружающей средой – наблюдение за состоянием и изменением особо важных для человека и биоты характеристик компонентов ландшафта. Контроль за окружающей средой осуществляют государственные органы, предприятия по определенной программе, непрерывно или периодически, в отдельных пунктах или путем проверочных рейдов.

Локальная чрезвычайная ситуация – ЧС, масштабы которой ограничиваются одной промышленной установкой, поточной линией, цехом, небольшим производством или какой-то отдельной системой предприятия. Для ликвидации локальной ЧС достаточно сил и средств, имеющихся на пострадавшем объекте.

Местная чрезвычайная ситуация – ЧС, масштабы которой ограничиваются поселком, городом, районом, отдельной областью.

Мониторинг окружающей среды – слежение за состоянием окружающей человека природной среды и предупреждение о создающихся критических ситуациях, вредных или опасных для здоровья людей и других живых организмов.

Мощность источника воздействия на окружающую среду – соответствующее количество вещества или энергии, поступающее в окружающую среду от определенного источника (или изымаемое из окружающей среды) в единицу времени.

Национальная чрезвычайная ситуация – ЧС, охватывающая несколько экономических районов или суверенных государств, но не выходящая за пределы страны.

Нормируемый риск – риск, нормируемый нормативными документами.

Объектовая чрезвычайная ситуация – ЧС, последствия которой ограничиваются территорией завода, комбината, промышленно-производственного комплекса, учреждения, учебного заведения, но не выходят за рамки объекта.

Опасная ситуация – совокупность электронных и чрезвычайных ситуаций.

Период полураспада – время, в течение которого распадается половина всех атомов данного радиоактивного изотопа.

Предельно допустимый выброс (ПДВ) – объем (количество) загрязняемого вещества за единицу времени, превышение которого ведет к неблагоприятным последствиям в окружающей природной среде или опасно для здоровья человека (ведет к повышению предельно допустимых концентраций в окружающей источник загрязнения среде).

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – норматив, количество вредного вещества в окружающей среде при постоянном контакте или при воздействии за определенный промежуток времени, практически не влияющее на здоровье человека и не вызывающее неблагоприятных последствий у потомства.

Предельно допустимый сброс (ПДС) – нормативная масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в

данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте.

Пределно допустимые уровни физического воздействия на окружающую среду – уровни шума, вибраций, ионизирующих излучений, электромагнитных полей и т.п., которые не должны оказывать на человека прямого или косвенного вредного влияния при неограниченно долгом воздействии.

Приемлемый (допустимый) риск – риск, не выходящий за допустимый уровень безопасности.

Природная чрезвычайная ситуация – ЧС, связанная с проявлением стихийных сил природы.

Производственная катастрофа – крупная авария, повлекшая за собой человеческие жертвы и значительных материальный ущерб.

Производственная травма – внезапное повреждение организма человека и потеря им трудоспособности, вызванное несчастным случаем на производстве.

Профессиональное заболевание – повреждение здоровья работника в результате постоянного или длительного воздействия на организм вредных условий труда.

Региональная чрезвычайная ситуация – ЧС, последствия которой распространяются на несколько областей, республик или крупный регион.

Риск – степень вероятности реализации опасности в конкретных условиях.

Санитарно-гигиенические нормы – показатели санитарно-гигиенических условий и качества окружающей человека среды, соблюдение которых обеспечивает для него условия существования, благоприятные для жизни и безопасные для здоровья.

Социальный (групповой) риск – риск для группы людей.

Социальная чрезвычайная ситуация – ЧС, происходящая в обществе.

Техногенная катастрофа – внезапное, не предусмотренное освобождение механической, химической, термической, радиационной и иной энергии.

Транспортная катастрофа – крупная авария на транспорте, повлекшая за собой человеческие жертвы и значительный материальный ущерб.

Чрезвычайная ситуация – обстоятельство, возникающее в результате природных стихийных бедствий, аварий и катастроф техногенного, экологического происхождения, социального и политического характера, вызывающее отклонение от нормы жизнедеятельности людей, экономики, социальной сферы или природной среды.

Экстремальная ситуация (ЭС) – воздействие на человека опасных и вредных факторов, приведших к несчастному случаю или чрезмерному отрицательному воздействию.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- a – скорость звука в воздухе, равная 330 м/с
 c – концентрация, мг/л, кг/м³, мг/м³, м³/м³
 C_p, C_v – удельные теплоемкости при постоянном давлении и объеме, Дж/(кг·К), Дж/(м³·К)
 d – диаметр, м
 D – токсидоза, мг · мин/л
 E – энергия, Дж
 F, S – площадь, м²
 g – ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с²
 h – толщина, глубина, высота, м
 l, L – длина, линейный размер, м
 m, M – масса, кг
 P – давление, кПа
 P_0 – атмосферное давление, равное 101,3 кПа
 ΔP_ϕ – избыточное давление на фронте ударной волны, кПа
 q – плотность теплового потока, Вт/м
 $q_{свб}$ – плотность потока собственного излучения пламени, кВт/м²
 \underline{Q} – расход, м³ /с
 \underline{Q}_v – энергия взрыва, кДж/кг
 \underline{Q}_p^H – низшая теплота сгорания топлива, МДж/м³, МДж/кг
 r – сопротивление изоляции, Ом
 R_ϕ – сопротивление человека, Ом
 T, t – температура, К, °С
 u, v, w – компоненты вектора скорости, м/с
 V – объем, м³
 W – интенсивность испарения, кг/(м² с)
 δ – толщина, м
 μ – молекулярная масса, кг/кмоль
 ϕ – угловой коэффициент излучения
 ρ – плотность, кг/м³
 τ – время, с
 I – сила тока, А
 U – напряжение, В

ЛИТЕРАТУРА

1. **Арустамов Э.А.** Безопасность жизнедеятельности. М.: 2001.
2. **Белов С.В.** Безопасность жизнедеятельности. М.: Высшая школа, 2001.
3. Вестник высшей школы: Науч. журн. 1983. № 1-12; 1984. №1-12; 1985. № 1-12.
4. **Водяник В.И.** Взрывозащита технологического оборудования. – М.: Химия, 1991.
5. **Волович В.** Академия выживания. М.: Толк; Технокомос, 1996.
6. **Мушик Э., Мюллер П.** Методы принятия технических решений: Пер. с нем. – М.: Мир, 1990.
7. **Павлов А.Н.** Воздействие электромагнитных излучений на жизнедеятельность. М.: Гелиос АРВ, 2002.
8. **Тимофеев Б.Н. Несытов Ю.К.** Прогнозирование радиоактивного заражения. М.: Воениздат, 1969.
9. **Хван Т.А., Хван П.А.** Безопасность жизнедеятельности. Ростов-н/Д.: Феникс, 2001.
10. **Черников В.А., Чекерес А.И.** Агроэкология. М.: Колос, 2000.
11. **Шилов И.А.** Экология. М.: Высшая школа, 2000.
12. Экология и безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие / Под ред. Л. А. Муравья. М.: ЮНИТИ0-ДАНА, 2002.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1. ОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ: ОТКАЗ, ВЕРОЯТНОСТЬ ОТКАЗА, КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ.....	4
1.1. ПРЕДМЕТ АНАЛИЗА ОПАСНОСТЕЙ.....	4
1.2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ.....	8
1.3. ТЕХНИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ЧП.....	10
1.4. КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ.....	12
1.4.1.Общий подход к анализу опасностей.....	12
1.5. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ОПАСНОСТЕЙ.....	30
1.5.1.Функция опасности для системы ЧМС.....	30
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	42
Глава 2. СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ТРАВМООПАСНОСТИ И ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	43
2.1. ЗАЩИТА ОТ МЕХАНИЧЕСКОГО ТРАВМИРОВАНИЯ.....	43
2.2 ЗРЫВОЗАЩИТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	47
2.3 . ОПОЗНАВАТЕЛЬНАЯ ОКРАСКА ОБОРУДОВАНИЯ, ЕМКОСТЕЙ С ВЕЩЕСТВОМ, СОСУДОВ, БАЛЛОНОВ.....	56
2.4. СРЕДСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ.....	65
2.5. БЕЗОПАСНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ И РОБОТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ.....	66
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	68
Глава 3. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ.....	69
3.1.ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМ, ЕГО УЧЕТ И ХАРАКТЕРИСТИКА.....	69
3.2.МЕХАНИЗМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ЧЕЛОВЕКА.....	71
3.3. НОРМИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИКОСНОВЕНИЯ И ТОКОВ.....	77
3.4 ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....	78
3.5. ТЕХНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ.....	82
3.5.1. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ПРЯМОГО ПРИКОСНОВЕНИЯ К ТОКОВЕДУЩИМ ЧАСТЯМ.....	83
3.5.2. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ ПРИ КОСВЕННОМ ПРИКОСНОВЕНИИ.....	84
3.6. ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК.....	96
3.7. АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ОТ СВЕРХТОКОВ.....	98
3.8 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ К УСТРОЙСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.....	99
3.9. ЗАЩИТА ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА.....	104
3.10. ПЕРВАЯ ПОМОЩЬ ПРИ ЭЛЕКТРОТРАВМАХ.....	105
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	106
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ ПО «БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ».....	107
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	110
ЛИТЕРАТУРА.....	111