

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Т. Ф. ГОРБАЧЕВА»**

## **ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Учебное пособие

Составитель: Михайлова Н.С.

Рекомендовано учебно-методической комиссией специальности 280102  
«Безопасность технологических процессов и производств»

Кемерово 2012

Рецензенты: Шевченко Л. А. проф., д.т.н., председатель УМК специальности 280102 «Безопасность технологических процессов и производств»

**Производственная безопасность:** учеб. пособие [Электронный ресурс] / сост.: Наталья Сергеевна Михайлова – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows 95; (CD-ROM-дисковод); мышь. – Загл. с экрана.

Рекомендовано для студентов специальности 280102 «Безопасность технологических процессов и производств» для изучения дисциплины «Производственная безопасность».

Учебное пособие позволяет студентам получить знания в области производственной безопасности. Описаны общие вопросы производственной безопасности, безопасность производственных процессов, безопасность производственного оборудования.

© КузГТУ  
© Н. С. Михайлова

## **1. Введение**

Современная цивилизация столкнулась с огромной проблемой, заключающейся в том, что основа бытия общества – промышленность, сконцентрировав в себе колоссальные запасы энергии и новых материалов, стала угрожать жизни и здоровью людей, окружающей среде. Человек, работая на промышленном предприятии, постоянно подвергается воздействию различных опасностей. Средства массовой информации практически ежедневно сообщают об очередных инцидентах, авариях, катастрофах и др. происшествиях на производстве, повлекших за собой заболевания, гибель людей и материальный ущерб. Причинами подобных явлений могут быть несовершенство технологических процессов и оборудования, износ технологического оборудования и его отдельных деталей, использование в качестве сырья и материалов горючих, агрессивных и токсических веществ, некомпетентность и ошибочные действия производственного персонала и многие другие. В реальных производственных условиях часто возникают ситуации, когда здоровье, а иногда и жизнь человека, зависят только от его своевременных и грамотных действий. Разрешению многих проблем, связанных с негативными последствиями производственной деятельности человека, способствует специальная учебная дисциплина «Производственная безопасность».

### **1.1 Предмет, содержание и задачи производственной безопасности**

Производственная безопасность является научно-учебной дисциплиной, изучающей производственные опасности с целью разработки профилактических мер защиты от них производственного персонала.

Предметом изучения (исследования) дисциплины являются: производственные (технологические) процессы; технологическое (производственное) оборудование; опасности, возникающие при эксплуатации.

## **2. Общие вопросы производственной безопасности**

### **2.1 Опасность как фактор производственной среды**

Производственная среда – всё, что окружает человека в процессе производственной деятельности и прямо или косвенно влияет на его состояние, здоровье, результаты труда и т.п.

Опасность – предметы, объекты, явления, процессы, характеристики среды и т.п., способные в определенных условиях вызывать нежелательные последствия.

Нежелательные последствия – ущерб здоровью, утомление, заболевание, угроза жизни, травма, отравление, пожар и т.п.

Опасность хранят все системы, имеющие энергию, химические или биологические активные компоненты, а также характеристики не соответствующие комфортным условиям деятельности (работы) человека. Опасность является понятием сложным, иерархическим, имеющим много признаков, поэтому многообразие их таксонормируется (классифицируется, систематизируется) по различным признакам. Например:

по природе происхождения (природные, техногенные, антропогенные, экологические, смешанные и др.);

по локализации (литосферные, гидросферные, атмосферные, космические и др.);

по сфере проявления (производственные, бытовые, спортивные, дорожно-транспортные и др.);

по вызываемым последствиям (утомление, заболевание, травмы, аварии, пожары, летальный исход и др.);

по времени проявления отрицательных последствий (импульсивные, кумулятивные);

по структуре (простые и производные, порождаемые взаимодействием простых);

по характеру воздействия на человека (активные и пассивные).

Признаки проявления опасности могут быть априорными (предвестниками) и апостериорными (следы). Опасности в своем большинстве носят потенциальный (скрытый) характер, поэтому любой их анализ начинается с процесса идентификации.

Идентификация опасностей – процесс обнаружения и установления качественных, количественных, временных, пространственных и др. характеристик опасностей, необходимых и достаточных для разработки профилактических и оперативных мероприятий, направленных на обеспечение комфортной трудовой деятельности человека или безаварийного функционирования производственных процессов.

В процессе идентификации опасностей выявляются: признаки, пространственная локализация, вероятность (частота) проявления, возможный ущерб и др. параметры опасностей.

Сложный, взаимозависимый характер производственных опасностей не всегда даёт возможность однозначно определить их количественные параметры, поэтому часто для этого применяют процесс квантификации.

Квантификация – это введение количественных параметров для оценки сложных, но качественно определяемых явлений, процессов и т.п.

Опасности квантифицируются понятием «риск».

Поскольку на производстве преобладают потенциальные опасности, необходимо выявлять условия их проявления, которые называют причинами.

Опасности, причины их проявления и вызываемые нежелательные последствия являются основными характеристиками таких событий, как несчастный случай, чрезвычайная ситуация, пожар, профессиональное заболевание и др. Триада «опасность – причины – последствия» – это логический процесс развития, реализующий потенциальную опасность в реальный ущерб. Например: алкоголь – злоупотребление – деградация личности. В основе профилактики несчастных случаев на производстве по сути лежит поиск их возможных причин.

Практика жизни человека во всех сферах её проявления (бытовая, трудовая и др.) показывает, что любая деятельность потенциально опасна, т.е. невозможно достичь абсолютного исключения опасностей. Современный мир при-

нял это утверждение как аксиому, которая имеет исключительно важное методологическое значение.

Теперь можно дать определение безопасности.

Безопасность – такое состояние трудовой (производственной) деятельности человека, при которой потенциальные опасности реализуются в нежелательные последствия с определенной вероятностью.

## 2.2 Основные положения теории риска

Как было указано выше, опасности, являющиеся сложными иерархическими понятиями, квантифицируются количественной величиной, называемой риском.

Риск – вероятность реализации потенциальных опасностей в реальный ущерб за определенный промежуток времени.

Вероятность может быть выражена через частоту реализации потенциальных опасностей за определенный промежуток времени, которая определяется по формуле:

$$f = R = \frac{n}{N \cdot \tau}, \tau^{-1} \quad (1)$$

где  $f$  – частота реализации потенциальных опасностей за определённый промежуток времени,  $\tau^{-1}$ ;

$R$  – риск,  $\tau^{-1}$ ;

$n$  – количество реализованных потенциальных опасностей за время  $\tau$  ;

$N$  – количество потенциальных опасностей, которые могли бы реализоваться за это же время;

$\tau$  – промежуток времени, за который рассматривается реализация потенциальных опасностей, (год, месяц, сутки, час, и т. п.).

Например, риск гибели людей на производстве в течение 2000 г в РФ составил:

$$R = 4404 / (29557046 \cdot 1) = 1,49 \cdot 10^{-4} \text{ г}^{-1}$$

где 4404 – количество людей, погибших при несчастных случаях на производстве за 2000 г;

29557046 – количество людей, работающих на производстве в РФ.

В определении риска часто используется величина ущерба, нанесенного человеку, обществу, предприятию и т.п. при реализации потенциальных опасностей, например, по формуле:

$$R = f \cdot Y \quad (2)$$

где  $f$  – частота реализации опасности,  $\tau^{-1}$ ;

$Y$  – ущерб, нанесенный человеку, обществу, предприятию и т.п. (например, в баллах или денежном выражении).

Использование риска как количественной меры опасности позволяет объективно сравнивать различные объекты по уровням их опасности, а также избежать субъективных ошибок в оценке различных опасностей. Так, например,

люди крайне негативно реагируют на события или несчастные случаи редкие, но с большим числом жертв, но совершенно спокойно относятся к событиям более частым с малым количеством жертв.

В производственной деятельности риск можно определить четырьмя путями:

инженерный (расчет частот, вероятностей, построение графических зависимостей типа «дерево опасностей», «дерево отказов» и др.);

модельный (построение моделей воздействия опасностей на человека, профессиональную группу, общество и т.п. с получением соответствующих откликов);

экспертный (оценка вероятности реализации опасностей путем опроса специалистов (экспертов) по определенной системе);

социологический (оценка вероятности реализации опасностей путем опроса всех работающих, в том числе и неспециалистов, включая население).

Поскольку все пути отражают разные стороны риска, их применяют в совокупности.

Учитывая принятую выше аксиому о потенциальной опасности любой деятельности человека, можно заключить, что нулевой риск невозможен. В связи с этим возникает вопрос – к какой же величине риска необходимо стремиться на производстве? Параллельно напрашивается и второй вопрос – сколько денежных средств (затрат) необходимо израсходовать на обеспечение безопасности?

Для выяснения этих вопросов построим график зависимости риска от затрат на его изменение:

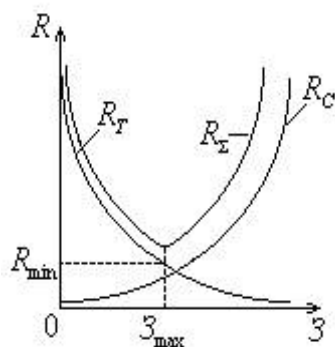


Рис. 1. Зависимость технического, социального и суммарного риска от затрат на его изменение

$R_T$  – риск технический;  $R_C$  – риск социальный;  $R_Σ$  – риск суммарный;  $R_{min}$  – минимальный (допустимый) риск;  $Z_{max}$  – максимальные затраты для обеспечения  $R_{min}$

Величина суммарного риска включает в себя совокупное влияние на человека (общество) производственных опасностей и социальных факторов (величина заработной платы, компенсации воздействия опасностей, льготы и т.п.).

Задачей «риск-анализа» на любом производстве является выявление минимальных (допустимых) величин технического риска для различных опасных

и вредных производственных факторов (ОВПФ) и соответствующих максимальных затрат для их достижения.

С учётом концепции приемлемого (допустимого) риска им можно управлять следующими путями с соответствующим расходом средств:

совершенствование технических систем (технологические процессы, оборудование и т.п.);

подготовка персонала (обучение, инструктаж, аттестация и т.п.);

ликвидация некоторых потенциальных опасностей и предупреждение аварийных ситуаций (отказ от применения токсичных и горючих веществ, исключение импульсов воспламенения, разработка планов ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС) и др.).

Квантификация опасностей риском открывает принципиально новые возможности повышения уровня производственной безопасности. Так, к организационным, административным и техническим методам добавляются экономические (страхование, денежная компенсация ущерба, платежи за риск и др.).

### **3. Категорирование и классификация производственных объектов как мера оценки опасности**

Классификация и категорирование производственных объектов является одним из ориентирующих принципов обеспечения производственной безопасности. Данный принцип заключается в делении производственных объектов на классы и категории в зависимости от качественных и количественных характеристик опасности.

Принцип оценки опасностей путем классификации объектов позволяет учитывать возможную реализацию потенциальных опасностей при проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции, консервации и ликвидации производственного объекта, т.е. на всех стадиях его жизненного цикла.

Классы и категории производственных объектов по видам опасностей закрепляются в нормативной документации, обязательной к исполнению на всех стадиях жизненного цикла объектов. Так как постоянно изменяются технологические процессы, оборудование, сырье, материалы и т.п., классы и категории периодически пересматриваются, как правило, не реже одного раза в 5 лет.

Ниже приведены примеры действующих нормативных документов РФ, в которых производственные объекты подразделяются на классы и категории по видам опасностей.

Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов (санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03). Предприятия, группы предприятий, их отдельные здания и сооружения (далее предприятия) с технологическими процессами, негативно воздействующими на среду обитания и здоровье человека, подразделяются на 5 классов (I, II, III, IV, V), при этом степень указанного воздействия уменьшается от I-го класса к V-му. Для каждого класса предприятий установлена соответствующая ширина санитарно-защитной зоны (СЗЗ), которая отделяет территорию промышленной площадки от жилой застройки (сели-тебная территория), ландшафтно-рекреационной зоны, зоны отдыха, курорта и

т. п. В соответствии с требованиями указанных СанПиН ширина санитарно-защитной зоны составляет: для предприятий I-го класса – 1000 м; II-го – 500 м; III-го – 300 м; IV-го – 100 м; V-го – 50 м. Например: тепловые электростанции мощностью 600 МВт и выше, использующие в качестве топлива уголь и мазут, относятся к предприятиям I-го класса, а работающие на газовом и газомазутном топливе – ко II-му классу; угольные разрезы и горно-обогачительные фабрики относятся к предприятиям I-го класса, а производства по добыче угля подземным способом – к III-му классу; производства связанного азота (аммиака, азотной кислоты, азотно-туковых удобрений) и хлора электролитическим путём относятся к предприятиям I-го класса, а производства по переработке пластмасс – к IV-му классу.

Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (нормы государственной противопожарной службы НПБ 105-03). Помещения и здания производственного и складского назначения по взрывопожарной и пожарной опасности в зависимости от количества и пожаровзрывоопасных свойств находящихся (обращающихся) в них веществ и материалов с учётом особенностей технологических процессов размещённых в них производств подразделяются на категории А, Б, В1...В4, Г и Д. Степень пожаровзрывоопасности указанных объектов при этом уменьшается от категории А к категории Д. Категории определяются по методикам, изложенным в НПБ, с учётом расчётных критериев взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий для наиболее неблагоприятных в отношении пожара и взрыва условий.

Категорирование взрывоопасности технологических блоков (общие правила взрывобезопасности для взрывоопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств ПБ 09-540-03). Технологические блоки (аппараты или группа аппаратов, которые в заданное время могут быть отключены от технологической системы без опасных изменений режима, приводящих к развитию аварии в смежной аппаратуре или системе) в зависимости от величины их относительного энергетического потенциала подразделяются на категории I, II, III. Степень взрывоопасности при этом уменьшается от категории I к категории III. Величина относительного энергетического потенциала технологического блока (показатель степени и масштабов возможных разрушений при взрыве парогазовой среды, содержащейся в блоке, с образованием ударной волны) рассчитывается по методикам, изложенным в ПБ.

Классификация помещений по опасности поражения людей электрическим током (правила устройства электроустановок ПУЭ). Все производственные помещения в зависимости от наличия условий, создающих опасность поражения людей электрическим током, подразделяются на классы: помещения без повышенной опасности (помещения, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность); помещения с повышенной опасностью (помещения, в которых имеется одно из следующих условий, создающих повышенную опасность: относительная влажность воздуха длительно более 75%; токопроводящая пыль; токопроводящий пол; температура воздуха длительно превышает +35°C; возможность одновременного прикосновения че-



ловека к имеющим соединению с землёй металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т. п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой стороны); особо опасные помещения (помещения, в которых имеется одно из следующих условий, создающих особую опасность: относительная влажность воздуха близка к 100 %; химически активная или органическая среда, разрушающая изоляцию и токоведущие части электрооборудования; наличие одновременно двух и более условий повышенной опасности).

## **4. Производственный травматизм и аварийность**

### **4.1 Общие понятия**

Травма (от греч. *trauma* – ранение, повреждение) – нарушение анатомической целостности или физиологических функций тканей и органов человека, вызванное внезапным внешним воздействием.

В производственных условиях травмы являются следствием внезапного воздействия на работника какого-либо опасного производственного фактора при выполнении им трудовых обязанностей.

Ситуация, связанная с получением работником травмы, называется несчастным случаем.

В соответствии с видом воздействия травмы подразделяют на механические (ушибы, раны, переломы и др.), тепловые (ожоги, обморожения, тепловые удары), химические (химические ожоги, острое отравление, удушье), электрические (все виды травм, обусловленные действием электрического тока), комбинированные и др.

В зависимости от тяжести последствий травмы подразделяются на лёгкие (по выздоровлению трудоспособность работника восстанавливается полностью), тяжёлые (по выздоровлению трудоспособность работника восстанавливается не полностью), смертельные.

Совокупность травм за определённый промежуток времени на одном или группе производственных объектов называется производственным травматизмом.

Авария (от итал. *avaria* – повреждение, ущерб) – разрушительное высвобождение энергозапаса промышленного предприятия, при котором сырьё, промежуточные продукты, продукция и отходы производства, установленное на промышленной площадке технологическое оборудование, вовлекаясь в аварийный процесс, создают поражающие факторы для населения, персонала, окружающей природной среды и самого предприятия.

Любой аварии на производстве обычно предшествуют один или несколько инцидентов.

Инцидент (от лат. *incidens* – случай, происшествие, недоразумение, столкновение) – отказ или повреждение технических устройств, применяемых на производственном объекте, отклонение от технологического регламента параметров протекающих процессов, нарушение положений нормативных правовых актов, а также нормативных технических документов, устанавливающих правила ведения работ на объекте.

Совокупность аварий за определённый промежуток времени на одном или группе производственных объектов называется производственной аварийностью.

#### **4.2 Основные причины производственного травматизма и аварийности**

Причины производственного травматизма и аварийности можно разделить на 4 основные группы: организационные; технические; санитарно-гигиенические; личностные. Рассмотрим каждую из групп причин в отдельности.

Организационные причины: несоответствующая условиям труда продолжительность рабочей смены; отсутствие или несоответствие трудовому ритму перерывов в работе; неудовлетворительное обучение и аттестация работников по знаниям безопасных приёмов работы и др. производственных факторов; формальное проведение инструктажей работников по вопросам производственной безопасности; отсутствие или неудовлетворительное состояние информационно-справочного материала об опасных и вредных производственных факторах на рабочих местах; отсутствие или неудовлетворительное состояние нормативной документации; отсутствие планов ликвидации аварийных ситуаций; отсутствие или нарушение эргономических требований безопасности труда и др.

Технические причины: неудовлетворительное состояние электрохозяйства; наличие открытых движущихся частей технологического оборудования; неудовлетворительное состояние защитных ограждений и экранов; отсутствие или неудовлетворительное состояние предохранительных устройств и блокировок и др.

Санитарно-гигиенические причины: наличие в воздухе рабочей зоны токсических веществ и пыли с концентрациями выше ПДК; отклонение параметров микроклимата помещений от допустимых значений; превышение нормативных параметров шума, вибрации, неионизирующих электромагнитных и ионизирующих излучений; неудовлетворительное состояние светового климата; превышение нормативных показателей тяжести и напряжённости трудового процесса; отсутствие или неудовлетворительное состояние средств индивидуальной защиты; отсутствие или неудовлетворительное состояние вентиляции помещений и др.

Личностные причины: профессиональная некомпетентность; отсутствие опыта работы на данном рабочем месте; эмоциональная неустойчивость; слабая воля; низкая способность к самоуправлению; рассеянность; невнимательность; низкое чувство ответственности; недисциплинированность; склонность к аффективным состояниям и др.

С целью установления причин производственного травматизма и аварийности каждый несчастный случай, авария и инцидент на промышленных предприятиях России обязательно расследуются. Расследование несчастных случаев на производстве проводится в соответствии с требованиями, изложенными в Трудовом кодексе РФ (ст. 227-231) и «Положении об особенностях расследова-

ния несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях». Техническое расследование причин аварий и инцидентов проводится в соответствии с требованиями, изложенными в Федеральном законе «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (№ 116–ФЗ) и «Положении о порядке технического расследования причин аварий на опасных производственных объектах» (РД 03-293-99).

#### 4.3 Показатели производственного травматизма и аварийности

Уровень и динамику производственного травматизма и аварийности на конкретных производственных объектах, в отдельных отраслях и в целом по стране целесообразно характеризовать количественными показателями, отражающими разные стороны этих явлений. К настоящему времени наиболее полно такие показатели разработаны для производственного травматизма, на примере которых мы и рассмотрим данный вопрос.

Коэффициент частоты, отражающий среднее количество несчастных случаев, приходящееся на 1000 работников; определяется по формуле

$$K_q = \frac{H}{P} 1000 \quad (3)$$

где: H – количество несчастных случаев за определённый период времени (месяц, квартал, год); P – среднесписочное число работников на объекте в данный период.

Коэффициент тяжести, отражающий среднее число дней нетрудоспособности в результате одного несчастного случая; определяется по формуле

$$K_T = \frac{\Sigma D_H}{H} \quad (4)$$

где  $\Sigma D_H$  – суммарное число дней нетрудоспособности по всем несчастным случаям (H) за данный период времени.

Коэффициент опасности производства, отражающий число дней нетрудоспособности по всем несчастным случаям, приходящееся на 1000 работников; определяется по формуле

$$K_H = K_q K_T = \frac{\Sigma D_H}{P} 1000 \quad (5)$$

Рассмотренные показатели являются основными и определяются на основании статистических материалов по производственному травматизму (отчёты предприятий по форме 7 – «травматизм», копии актов расследования несчастных случаев по форме Н-1 и др. материалы, представляемые в Федеральную инспекцию труда, Госкомстат России, органы исполнительной власти).

#### **4.4 Анализ производственного травматизма и аварийности**

С целью предупреждения (профилактики) травматизма и аварийности необходимо проводить анализ всех случаев их проявления. Основными исходными материалами для анализа являются результаты расследования причин производственных несчастных случаев, аварий и инцидентов. Для анализа производственного травматизма применяются следующие основные методы: статистический; групповой; топографический; монографический; вероятностный и др. Ниже приводится краткая характеристика сути указанных методов.

Статистический метод основан на анализе статистических материалов расследования причин производственного травматизма. В процессе анализа определяются показатели травматизма (см. п. 6.3.) и их динамика во времени. Результаты анализа представляются в виде таблиц, диаграмм и графиков. Сравнительные показатели и динамику травматизма различных производственных объектов, можно делать выводы о приоритетных направлениях профилактической работы по борьбе с этим опасным явлением.

Разновидностью статистического метода являются групповой и топографический методы.

Групповой метод основан на сортировке несчастных случаев по группам однородных признаков (времени травмирования, возрасту, квалификации и специальности пострадавших и т. п.), что позволяет выявить наиболее узкие места в организации работ, состояние условий труда на отдельных рабочих местах, состояние технологического оборудования и др. факторы.

Топографический метод предполагает систематическое нанесение условными знаками места происшествия несчастных случаев на план размещения анализируемого производственного объекта. Скопление таких знаков на определённом месте характеризует его повышенную травмоопасность с соответствующим приоритетом профилактических мер.

Монографический метод представляет собой анализ опасных и вредных производственных факторов, свойственных тому или иному (моно) производственному участку, конкретному оборудованию, технологическому процессу, технологической операции и т. п. По этому методу углублённо рассматриваются все обстоятельства несчастного случая. Такой же анализ целесообразно проводить на аналогичном производстве других предприятий. Кроме установления причин происшедших несчастных случаев, этот метод применим для выявления потенциальных опасностей как на исследуемом объекте, так и на вновь проектируемом.

#### **4.5 Основы профилактики травматизма и аварийности**

Мероприятия, способствующие предупреждению травматизма и аварийности должны быть направлены на реализацию следующих основных требований:

1. Совершенствование технических систем (безопасные технологические процессы и оборудование; применение эффективных предохранительных устройств; использование блокировочных устройств и др.).

2. Совершенствование методов организации труда (качественное обучение и аттестация работников; эффективный распорядок режимов труда и отдыха; разработка планов профилактики производственного травматизма и ликвидации аварийных ситуаций и др.).

3. Создание здоровых санитарно-гигиенических условий труда (снижение опасных и вредных производственных факторов до нормативных величин; нормализация светового климата и метеорологический условий в помещениях; эффективная вентиляция производственных помещений и др.).

4. Расширение экономических способов воздействия на травматизм и аварийность (стимулирование работы без травм и аварий; компенсация ущерба, причинённого, например, населению производственной аварией из фондов предприятия и др.).

5. Прогнозирование проявления опасностей и условий, при которых они могут воздействовать на работников.

## **5. Безопасность производственных процессов**

### **5.1 Безопасность производств на стадии проектирования**

#### **5.1.1 Разработка, согласование, утверждение и состав проектной документации производственных объектов**

Процесс разработки, согласования, утверждения, а также состав проектной документации (ПД) регламентируется «Инструкцией о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации» (СНиП 11-01-95).

Одним из основных разделов проектной документации на строительство объектов является технико-экономическое обоснование (ТЭО). На основании утвержденного технико-экономического обоснования разрабатывается рабочая документация.

Основным документом, регулирующим правовые и финансовые отношения сторон (заказчик – исполнитель) является договор (контракт), неотъемлемой частью которого является задание на проектирование, которое составляется на основании обязательного «Перечня основных данных и требований» (16 позиций), среди которых 4 позиции посвящены вопросам безопасности:

- требования к качеству, конкурентоспособности и экологическим параметрам продукции;
- требования к природоохранным мерам;
- требования к режиму безопасности и гигиены труда;
- требования по разработке инженерно-технических мероприятий гражданской обороны (ГО) и предупреждения чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Вместе с заданием на проектирование заказчик выдаёт проектной организации соответствующие исходные данные.

Проектная документация разрабатывается в соответствии с государственными нормами, правилами и стандартами с учётом региональных и отраслевых особенностей. Если в процессе проектирования указанные документы изменяются, то заказчик и исполнитель ПД обязаны своевременно вносить в рабочую документацию изменения, связанные с введением в действие новых норматив-

ных документов. Отступления от требований нормативных документов допускаются только при наличии разрешений органов, которые утвердили или ввели в действие эти документы.

Проектная документация согласовывается с теми органами государственного надзора и контроля, которым в процессе строительства, эксплуатации, реконструкции, технического перевооружения, консервации и ликвидации проектируемого объекта предстоит осуществлять надзорную деятельность. Разработанная документация подлежит государственной экспертизе.

Утверждение проектов производится в зависимости от источников финансирования следующим образом:

министерством РФ совместно с заинтересованными отраслевыми министерствами и ведомствами при финансировании из федерального бюджета;

органами государственного управления республик, краёв, областей, автономных образований, г.г. Москвы и Санкт-Петербурга при финансировании из их бюджетов;

непосредственно заказчиком при финансировании за счёт собственных финансовых ресурсов.

Проектная документация состоит из следующих разделов:

- общая пояснительная записка;
- генеральный план и транспорт;
- технологические решения;
- организация и условия труда работников;
- управление производством и предприятием;
- архитектурно-строительные решения;
- инженерное оборудование, сети и системы;
- организация строительства;
- охрана окружающей среды;
- инженерно-технические мероприятия ГО. Мероприятия по предупреждению ЧС;
- сметная документация;
- эффективность инвестиций.

## **5.2 Краткая характеристика некоторых разделов проекта**

Общая пояснительная записка. В этом разделе приводятся основания для разработки проекта и исходные данные для проектирования. Дается краткая характеристика предприятия и входящих в него производств. Характеризуются сырье, потребности в воде, тепловой и электрической энергии. Рассматриваются вопросы комплексного использования сырья и энергоресурсов, образования и переработки отходов производства, социально-экономических и экологических условий района строительства. Приводятся основные показатели по генеральному плану, инженерным сетям и коммуникациям, инженерные меры по защите территории. Даются общие сведения по охране труда работников и санитарно-эпидемиологическим мероприятиям. В этом разделе приводятся сведения о проведенных согласованиях проектных решений и подтверждение со-

ответствия проектной документации государственным нормам, стандартам, требованиям органов государственного надзора, исходным данным и т.п.

Генеральный план и транспорт. Разрабатывается ситуационный план размещения предприятия с указанием размещения существующих и проектируемых инженерных сетей и коммуникаций, селитебных территорий и границ санитарно-защитной зоны (СЗЗ) с учётом преобладающего направления ветра (розы ветров) в данной местности (чертежи и соответствующие описания их). Разрабатывается генеральный план размещения зданий, сооружений, коммуникаций, транспортных путей и т.п. на территории предприятия с учётом технологической целесообразности, санитарных и противопожарных требований, а также преобладающего направления ветра. Разрабатываются мероприятия по благоустройству и озеленению территории (чертежи и соответствующие описания их).

Технологические решения. В данном разделе приводится краткая характеристика и обоснование решений по принятой технологии производства. Разрабатываются мероприятия по механизации и автоматизации технологического процесса. Приводится состав и обоснование выбора применяемого оборудования. Приводятся сведения о применении малоотходных и безотходных процессов и производств, рекуперации тепла и сырьевых материалов. Приводятся расчётные данные о количестве и составе отходов производства. Разрабатываются инженерно-экологические решения по предотвращению загрязнения окружающей природной среды (ОПС). Проводится априорная оценка возможности аварийных ситуаций и соответствующие решения по их предупреждению. Разрабатываются принципиальные технологические схемы производств (чертежи и соответствующие их описания). Разрабатываются схемы компоновки технологического оборудования и коммуникаций (чертежи и соответствующие их описания).

Организация и условия труда работников. Данный раздел посвящён разработке организационных и инженерных решений по охране труда работников проектируемого предприятия. Разрабатываются мероприятия по следующим направлениям: организация работ по охране труда; система управления охраной труда; гигиена труда и производственная санитария; техника безопасности; электробезопасность; пожарная безопасность; компенсация возможного негативного воздействия на работников опасных и вредных производственных факторов.

Архитектурно – строительные решения. В этой части проекта приводятся сведения об инженерно – геологических, гидрогеологических и сейсмических условиях площадки строительства. Разрабатываются решения по снижению производственного шума и вибрации (за счёт применения соответствующих строительных материалов и конструкций), обеспечению естественного освещения помещений, санитарно-бытовому обслуживанию работающих. Разрабатываются мероприятия по пожаро-, взрыво- и электробезопасности (за счёт применения соответствующих строительных материалов и конструкций, а также планировочных решений). Разрабатываются планировочные решения по обеспечению принятой в технологической части компоновки оборудования (планы

и разрезы основных производственных зданий). Разрабатываются инженерно-строительные мероприятия по повышению устойчивости зданий и сооружений в условиях ЧС.

Инженерное оборудование, сети и системы. Разрабатываются инженерные решения по обеспечению производственного и санитарно-бытового водоснабжения, канализации, тепло-, газо- и электроснабжения, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (чертежи, соответствующие расчёты и описания). Принимаются решения по обеспечению электроосвещения, связи, сигнализации, радиофикации и телевидения, противопожарных устройств, молниезащите и др. (схемы, чертежи, расчёты и описания)

Охрана окружающей среды. Разрабатываются мероприятия по снижению выбросов в атмосферу и сбросов в водоёмы газообразных и жидких, а также размещению на почве твёрдофазных отходов производства. Принимаются или разрабатываются соответствующие очистные сооружения, обеспечивающие санитарно-гигиенические и экологические нормативы (обоснования, расчёты, схемы, чертежи).

## **6. Устройство предприятий и цехов**

### **6.1 Территория промышленного предприятия**

Территория предприятия должна быть расположена по отношению к ближайшему жилому массиву с подветренной стороны (согласно розе ветров в данной местности) на расстоянии равном ширине санитарно-защитной зоны. Санитарно-защитная зона принимается в соответствии с требованием СанПиН. Застройка территории должна производиться по принципу: здания с более вредными выделениями газов, паров, пыли и др. негативных факторов должны располагаться с подветренной стороны по отношению к зданиям с менее вредными выделениями. Расстояние между соседними зданиями определяются санитарными и противопожарными нормами и увеличиваются с возрастанием соответствующей опасности. Разрывы между зданиями с мощными источниками шума ( $L_A > 85$  дБА) и другими зданиями должны быть не менее 100 м (компрессорные, дробильные отделения и т.п.). Для обеспечения безопасности транспортных потоков устраиваются магистральные дороги шириной от 6 до 9 м между рядами зданий, а также подъезды к каждому зданию. В целях обеспечения пожарной безопасности количество подъездов к каждому зданию должно быть не менее 2-х или устраиваются подъезды по всей длине здания; на территории предприятия проектом предусматриваются пожарные гидранты и искусственный или естественный водоём. Для обеспечения эффективного отдыха работников на открытом воздухе в установленные перерывы в работе необходимо предусматривать оборудованные соответствующим образом зоны. Площадь, не занятая зданиями, сооружениями, дорогами и подъездами, озеленяется. Территория предприятия должна отвечать санитарным требованиям в отношении прямого солнечного облучения, естественного проветривания и отводов поверхностных и сточных вод (ровная открытая возвышенность с небольшим уклоном в одну сторону).



## **6.2 Устройство производственных зданий и помещений**

При выборе типа производственных зданий следует отдавать предпочтение прямоугольным формам, т.к. при этом упрощается освещение и вентиляция входящих в них помещений. Конструкция зданий, число этажей и их площадь обуславливаются технологическим процессом, используемым оборудованием, наличием опасных и вредных производственных факторов и категорией взрывопожарной и пожарной опасности.

Объём и площадь помещений на каждого работающего должны быть соответственно не менее  $15 \text{ м}^3$  и  $4,5 \text{ м}^2$  высота помещений должна быть не менее 3,2 м. Все площадки на высоте  $>0,6$  м от пола, лестницы, переходные мостики, проёмы, люки, канавы и т.п. ограждаются перилами высотой не менее 1,2 м со сплошной обшивкой нижней части на высоту не менее 0,2 м. Лестницы должны иметь уклон не более  $40^\circ$ . Полы помещений должны быть ровными без выступов и порогов, горизонтальными, нескользкими и отвечающими специфическим требованиям (химической стойкостью, отсутствие искрообразования и др.). Стены помещений должны быть хорошо звукоизолирующими и звукопоглощающими, но плохо сорбирующими вредные газы и пары из воздуха. Поверхность стен должна легко обеззараживаться путём мытья.

## **6.3 Устройство рабочих мест**

Рабочее место (РМ) – часть территории помещения постоянного или периодического пребывания работников в процессе трудовой деятельности.

Рабочая зона (РЗ) – пространство, ограниченное высотой 2 м от уровня пола или площадки, на которых находится рабочее место.

Рабочее место может быть постоянным и непостоянным. Постоянным считается такое рабочее место, на котором работник находится более 50 % рабочей смены или более 2 часов непрерывно. Если работа производится в разных местах рабочей зоны, то постоянным рабочим местом считается вся РЗ.

Рабочее место человека-оператора рассчитывается на работу сидя, стоя и сидя-стоя попеременно. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, средства отображения информации (СОИ), органы управления и др.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы, т.е. требованиям эргономики.

Конструкция рабочего места должна обеспечить выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля человека как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Кроме того, при конструировании рабочего места и обслуживаемого оборудования должно быть обеспечено оптимальное положение работающего в пространстве путем регулирования высоты рабочей поверхности, сиденья и пространства для ног.

## **6.4 Производственная эстетика**

Производственная эстетика (ПЭ) разрабатывает способы эмоционального и эстетического воздействия на человека в производственной обстановке.

В процессе трудовой деятельности у человека формируется определённый комплекс эмоций (чувства, переживания, ощущения), а также художественная оценка производственной среды (совершенство форм оборудования, цветовая гамма окрашенных поверхностей и т.п.). В совокупности указанные факторы могут как стимулировать повышение работоспособности и производительности труда, так и угнетать их.

Одним из основных направлений производственной эстетики является использование цвета как фактора, формирующего эстетическое отношение к труду. Это достигается рациональной окраской помещения и оборудования.

Производственная эстетика относится не только к рабочим местам и к интерьеру помещения, но и к территории предприятия и прилегающим к нему зонам города. Решить эти проблемы производственной эстетики можно с помощью архитектурно-художественных средств и технической эстетики (художественное конструирование и размещение оборудования, конструкция и размещение органов управления и т.п.).

### **6.5 Вспомогательные здания и помещения**

Каждое предприятие в своём составе должно иметь 5 групп вспомогательных зданий и помещений:

- санитарно-бытовые помещения и устройства (гардеробные, душевые и др.);
- помещения общественного питания (столовые, пункты приёма пищи и др.);
- помещения медицинского обслуживания (медпункт, медсанчасть и др.);
- помещения культурного обслуживания (клуб, спортзал и др.);
- помещения управления и общественных организаций (дирекция, отдел охраны труда, бухгалтерия, профком и др.).

В основу выбора состава и количества бытовых помещений и устройств положена санитарная характеристика производственных процессов. Все производственные процессы в зависимости от характера и степени воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов делятся на 4 санитарные группы, каждая из которых подразделяется на подгруппы, детализирующие степень воздействия ОВПФ.

I группа – производственные процессы в условиях нормативного микроклимата (оптимальный и допустимый) при отсутствии выделений пыли и вредных газов и паров.

II группа – производственные процессы при неблагоприятном микроклимате или при пылевыведениях, а также при напряжённой физической работе.

III группа – производственные процессы с резко выраженными факторами вредного воздействия токсических веществ и загрязнения рабочей одежды (соединения мышьяка, ртути, фосфора и др. в условиях превышения их ПДК).

IV группа – производственные процессы, требующие особого режима для обеспечения качества продукции (производство пищевых продуктов, стерильных материалов, изделий радиоэлектроники и др.).

Расчёт площадей санитарно-бытовых помещений и количества соответствующих устройств производится для наиболее многочисленной смены, кроме гардеробных, которые рассчитываются на списочное число работающих, т.е. на весь персонал. Расчёт производится на основании требований нормативного документа ? .

При наличии профессий разных санитарных групп расчёт санитарно-бытовых помещений ведётся по нормам каждой группы, если же одна из групп составляет 70 % и более общего количества работающих, то расчёт производится по нормам для этой группы.

Независимо от санитарной группы производственных процессов при количестве персонала более 250 человек в наиболее многочисленную смену предусматриваются столовые, менее 250 человек – буфеты с доставкой горячей пищи из столовых, менее 30 человек – комнаты для приёма пищи. Комнаты для приёма пищи, приносимой из дома, должны иметь площадь не менее 12 м<sup>2</sup>.

## **8. Безопасность производственного оборудования**

### **8.1 Классификация производственного оборудования**

По функциональному назначению производственное оборудование (ПО) подразделяется на универсальное, специализированное, специальное.

Универсальное (общезаводское) – ПО, применяемое в различных производствах. К нему относятся насосы, компрессоры, вентиляторы, газоочистное и пылеулавливающее оборудование, а также транспортные средства.

Специализированное – ПО, применяемое для проведения одного процесса различных модификаций: теплообменники, водонагревательные котлы и др.

Специальное – ПО, предназначенное для проведения только одного процесса: проходческий угледобычный комбайн, электрогенератор переменного тока, паровая турбина и др.

Вышеуказанные виды производственного оборудования относятся к основному технологическому оборудованию.

Вспомогательным производственным оборудованием принято считать ёмкости, резервуары, хранилища и т.п.

### **8.2 Требования к надёжности производственного оборудования**

С укрупнением мощностей технологических агрегатов существенно повышаются требования к их надёжности и безопасной эксплуатации. Повышение надёжности производственного оборудования имеет особое значение, т.к. его эксплуатация в условиях топливно-энергетического комплекса (ТЭК) сопряжена с обработкой токсичных, пожаро- и взрывоопасных веществ и осуществляется при воздействии вибрации, ударов, высокой температуры, агрессивной среды и других опасных факторов.

Под надёжностью понимают свойство оборудования выполнять заданные функции при сохранении эксплуатационных показателей в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки.

Надёжность обуславливается безотказностью, долговечностью и ремонтотпригодностью.

Безотказность – свойство системы непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или при выполнении определённого объёма работ в заданных условиях эксплуатации.

Отказ – событие, характеризующееся полной или частичной утратой работоспособности оборудования. Отказы делятся на приработочные, внезапные (случайные) и износные (постепенные).

Приработочные отказы являются результатом дефекта элементов оборудования и ошибок, допущенных при его сборке и монтаже, поэтому после сборки и монтажа производственного оборудования необходимо время для его проверки в работе (приработка) – десятки и сотни часов. После окончания приработки, наступает период нормальной эксплуатации.

Внезапные (случайные) отказы происходят в период длительной эксплуатации оборудования (годы).

Износные отказы характерны в период приближения срока окончания эксплуатационной службы оборудования. Для предотвращения износных отказов необходимо производить профилактическую замену элементов ПО до наступления их износа.

Основная задача безопасной эксплуатации производственного оборудования – регулирование, вплоть до полной ликвидации, приработочных и износных отказов, а также создание условий для минимального проявления и быстрого устранения внезапных отказов.

Долговечность – свойство системы сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, т.е. в течение всего периода эксплуатации при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Долговечность оборудования определяется технически и экономически целесообразными сроками его эксплуатации.

Экономически целесообразным пределом эксплуатации оборудования следует считать тот срок, когда предстоящие расходы на капитальный ремонт приближаются к стоимости нового ПО. При этом выгоднее приобрести новое оборудование, нежели отремонтировать старое, да и показатели нового оборудования в результате непрерывного технического прогресса значительно выше.

Ремонтопригодность – свойство системы приспосабливаться к предупреждению, отысканию и устранению в ней отказов и неисправностей, что достигается техническим обслуживанием и ремонтом. Производственное оборудование может быть ремонтируемым (восстанавливаемым) и неремонтируемым (невосстанавливаемым).

Ремонтируемым принято называть оборудование, работоспособность которого в случае отказа можно восстановить в данных условиях эксплуатации.

Неремонтируемым считается оборудование, работоспособность которого в случае отказа не восстанавливается вообще или в данных условиях эксплуатации.

Основные направления повышения надёжности производственного оборудования

Надёжность оборудования рассчитывают и закладывают при проектировании, обеспечивают при изготовлении и поддерживают в условиях эксплуатации.

При проектировании важное значение имеет выбор конструкционных материалов с учётом общих и специальных условий эксплуатации: давления, температуры, агрессивности среды и др. при этом необходимо упрощать кинематические схемы, уменьшать действующие в машинах динамические нагрузки, предусматривать средства защиты от перегрузок и т.п.

В процессе изготовления необходимо применять заготовки высокого качества, повышать сопротивление деталей износу, стремиться к повышению точности изготовления отдельных элементов и к тщательности их сборки.

При эксплуатации надёжность оборудования поддерживается строгим соблюдением заданных параметров режима работы, качественным текущим и профилактическим обслуживанием.

Одним из методов повышения надёжности оборудования является его резервирование – введение в систему добавочных (дублирующих) элементов, включаемых параллельно основным.

Поскольку резервирование значительно удорожает оборудование и его обслуживание, этот способ повышения надёжности применяется в том случае, когда нет более простых решений.

### **8.3 Требования безопасности, предъявляемые к основному производственному оборудованию**

Несмотря на большое разнообразие технологического оборудования по назначению, устройству и особенностям эксплуатации, к нему предъявляются общие требования безопасности, соблюдение которых обеспечивает безопасность эксплуатации ПО. Эти требования сформулированы в ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ «Оборудование производственное. Общие требования безопасности».

В соответствии с ГОСТом оборудование производственное должно удовлетворять требованиям безопасности при монтаже, эксплуатации, ремонте, транспортировании и хранении, при использовании отдельно или в составе комплексов и технологических систем.

В процессе эксплуатации производственное оборудование должно удовлетворять следующим требованиям:

- не загрязнять окружающую природную среду выбросами вредных веществ выше санитарных норм;
- должно быть пожаро- и взрывобезопасным;
- не создавать опасности в результате воздействия влажности, солнечной радиации, вибрации, экстремальных температур и давления, агрессивных веществ и др. негативных факторов.

Требования безопасности предъявляются к производственному оборудованию в течение всего срока службы, при этом его безопасность должна обеспечиваться следующими мерами:

- правильным выбором принципов действия, конструктивных схем, материалов, способов изготовления и др.;

- применением средств механизации, автоматизации и дистанционного управления;
- применением специальных средств защиты;
- выполнением эргономических требований;
- включением требований безопасности в техническую документацию на монтаж, эксплуатацию, ремонт, транспортирование и хранение.

В соответствии с требованиями ГОСТ на все основные группы оборудования производственного разрабатываются стандарты требований безопасности, включающие в себя следующие разделы:

1. Требования безопасности к основным элементам конструкции и системе управления.

Здесь отражаются требования безопасности, обусловленные особенностями назначения, устройства и работы данной группы производственного оборудования и его составных частей:

- предупреждение или снижение до нормативных величин возможного воздействия ОВПФ;
- устранение причин, способствующих возникновению ОВПФ;
- устройство органов управления;
- движущиеся, токоведущие и другие опасные части, подлежащие ограждению;
- допустимые значения шумовых и вибрационных характеристик, методы определения и средства защиты от них;
- допустимые уровни излучений и методы их контроля;
- допустимые температуры органов управления и наружных поверхностей оборудования;
- допустимые усилия на органах управления;
- наличие защитных блокировок, тормозных устройств и других средств защиты.

2. Требования к средствам защиты, входящим в конструкцию производственного оборудования.

В этом разделе стандартов отражаются требования, обусловленные особенностями конструкции, размещения, контроля работы и применения средств защиты (защитные ограждения, экраны, аспирация, блокировки, сигнализация, сигнальная окраска оборудования и его частей, предупредительные надписи и др.).

3. Требования безопасности, определяемые особенностями монтажных и ремонтных работ, транспортированием и хранением различных веществ.

Здесь отражаются требования к грузоподъемным и транспортным устройствам, местам их размещения, массе поднимаемого или транспортируемого груза, грузозахватным средствам, устройствам фиксации перемещения грузов и другие требования, обеспечивающие безопасность указанных работ.

#### **8.4 Требования к средствам защиты, входящим в конструкцию производственного оборудования, и сигнальным устройствам**

Конструкция средств защиты должна обеспечивать возможность контроля выполнения ими своего назначения до начала и (или) в процессе функционирования оборудования.

Средства защиты должны выполнять своё назначение непрерывно в процессе работы ПО или при возникновении опасной ситуации. Действие средств защиты не должно прекращаться раньше, чем закончится действие ОВПФ. Отказ одного из средств защиты или его элемента не должен приводить к прекращению нормального функционирования других систем защиты.

Производственное оборудование, в состав которого входят средства защиты, требующие их включения до начала его работы и (или) выключения после окончания работы, должно иметь устройство, обеспечивающие такую последовательность.

Конструкция и расположение средств защиты не должны ограничивать технологические возможности оборудования, обеспечивая удобство его эксплуатации и технического обслуживания.

Если конструкция средств защиты снижает технологические возможности производственного оборудования, то приоритетным является требование обеспечения защиты обслуживающего персонала.

Форма, размеры, прочность и жёсткость защитного ограждения, его расположение относительно ограждаемых частей оборудования должны исключать воздействие на персонал ограждаемых частей ПО и выбросов материала, инструмента, обрабатываемых деталей и т.п. Конструкция защитного ограждения должна также удовлетворять следующим требованиям:

исключать возможность самопроизвольного перемещения из положения, обеспечивающего защиту, допуская перемещение (в случае необходимости) только с помощью специального инструмента, а также блокировки работы оборудования, если защитное ограждение переводится в положение, не обеспечивающее его защитные функции;

обеспечивать возможность выполнения персоналом рабочих операций, включая наблюдение за состоянием ограждаемых частей, если это необходимо;

не создавать дополнительных опасных ситуаций;

не снижать производительность труда.

Сигнальные устройства, предупреждающие об опасности должны быть выполнены и расположены так, чтобы их сигналы были хорошо различимы и слышны в производственной обстановке всему персоналу, которому угрожает опасность.

Части оборудования, представляющие опасность, должны быть окрашены в сигнальные цвета и обозначены соответствующим знаком безопасности, регламентируемым стандартами.

#### **8.5 Конструкционные материалы производственного оборудования**

Специфические условия работы производственного оборудования топливно-энергетического комплекса (высокие давление и температура, агрессив-

ная среда, эрозия твёрдыми материалами, вибрация и др.) предъявляют высокие требования к выбору конструкционных материалов при его изготовлении.

Наряду с обычными требованиями высокой коррозионной стойкости в агрессивных средах (например, химический состав), одновременно предъявляются требования высокой механической прочности, жаростойкости и жаропрочности, устойчивости при знакопеременных или повторных нагрузках (циклической прочности), малой склонности к старению.

При выборе материалов для производственного оборудования, работающих под давлением при высоких температурах, необходимо учитывать, что механические свойства материалов существенно понижаются.

При статическом приложении нагрузки важными характеристиками для оценки прочности материала являются: предел текучести  $\sigma_T$ ; предел прочности  $\sigma_B$ ; модуль нормальной упругости  $E$ ; коэффициент Пуассона  $\mu$ . Эти характеристики являются основными при расчётах на прочность деталей производственного оборудования, работающего под давлением и при высоких температурах.

При динамических нагрузках кроме указанных выше характеристик необходимо учитывать также и вязкость, которая для многих углеродистых и легированных сталей при низких температурах ( $< -40$  °С) резко снижается.

Для оборудования, подверженного ударным и пульсирующим нагрузкам при низких температурах, например, следует применять металлы и сплавы с ударной вязкостью не  $< 0,2$  МДж/м<sup>2</sup>, а для деталей, имеющих концентраторы напряжений (болты, шпильки), рекомендуются материалы, у которых ударная вязкость в 2 раза выше.

При высоких температурах значительно снижаются основные показатели прочности металлов и сплавов. Кроме того, поведение металлов под нагрузкой при высоких температурах значительно отличается от такового при обычной температуре. Предел прочности  $\sigma_B$  и предел текучести  $\sigma_T$  зависят при этом от времени пребывания под нагрузкой и скорости нагружения, т.к. с ростом температуры металлы из упругого состояния переходят в упругопластическое и под нагрузкой непрерывно деформируются (явление ползучести). Температура, при которой начинается ползучесть, например у обычных углеродистых сталей, составляет  $\sim 375$  °С, для низколегированных сталей  $\sim 525$  °С, для жаропрочных  $\sim 1000$  и  $>$  °С.

Поскольку основным способом получения металлических неразъёмных соединений в ПО является сварка, хорошая свариваемость металлов является одним из основных и необходимых условий, определяющих пригодность их для безопасной эксплуатации оборудования.

Учитывая вышеизложенное, при изготовлении оборудования, отвечающего требованиям безопасной эксплуатации, к конструкционным материалам должны предъявляться следующие требования:

- достаточная коррозионная стойкость материала в агрессивной среде;
- достаточная механическая прочность при заданных давлении и температуре;



– наилучшая способность металла свариваться с обеспечением высоких механических и коррозионно-стойких свойств сварных соединений.

Для изготовления производственного оборудования ТЭК, как правило, применяются следующие стали:

– качественные, углеродистые конструкционные – обозначают их двумя цифрами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях %, например, Ст20. Если такие стали можно применять в котельных установках, работающих при высоких температурах, то к этому обозначению добавляется буква К (Ст20К).

– легированные – обозначают комплексом букв и цифр, причём первые две цифры указывают содержание углерода в сотых долях % масс (отсутствие цифр означает, что среднее содержание углерода  $\sim 0,01$ ), затем последовательно идут буквы, означающие наличие в стали конкретного легирующего элемента, а за каждой буквой одной или двумя цифрами указывается примерное содержание данного элемента в % масс (отсутствие цифр означает, что содержание элемента не  $> 1,5$ ).

Для обозначения легирующих элементов в марках стали применяются следующие буквенные обозначения: Г – марганец; С – кремний; Х – хром; Н – никель; М – молибден;

В – вольфрам; Ф – ванадий; Т – титан; Д – медь; Ю – алюминий; Б – ниобий; Р – бор; А – азот (в конце обозначения буква А не ставится).

Наличие в конце обозначения марки стали буквы А означает высококачественную сталь, а цифры Ш (через дефис) – особо высококачественную сталь.

Например, высококачественная сталь марки Х18Н10ТА (нержавеющая) означает состав (% масс): углерода – 0,01; хрома – 18; никеля – 10; титана – 1,5.

## **8.6 Снижение шума и вибрации производственного оборудования**

### **8.6.1 Снижение шума и вибрации в подшипниковых узлах**

Наиболее широкое применение в конструкциях производственного оборудования нашли подшипники качения. Уровни шума и вибрации, генерируемые при работе таких подшипников, зависят от многих факторов (размера, частоты вращения вала, типа тел вращения и др.). При выборе подшипников необходимо учитывать, что уровни шума и вибрации возрастают на 1-2 дБ с увеличением номера, определяющего типоразмер подшипника. Уровень звукового давления от работы роликовых подшипников на 1...3 дБ сильнее такового шариковых подшипников при прочих равных условиях. Уровень виброускорения в роликовых подшипниках превышает таковой у шариковых на 4-6 дБ. Если класс точности изготовления подшипников увеличивается, то уровни шума и вибрации уменьшаются.

Увеличение частоты вращения вала подшипников ведёт к увеличению уровня звукового давления на величину  $\Delta L$ , дБ, определяемую по формуле:

$$\Delta L = 23.3 \lg(n_2/n_1), \quad (11)$$

где  $n_1$ ,  $n_2$  – соответственно начальная и конечная частоты вращения вала,  $\text{с}^{-1}$ .

Значительное влияние на генерацию шума и вибрации оказывает тип и качество смазки.

Шум и вибрация в подшипниковых узлах значительно снижаются при применении специальных вкладышей с высоким коэффициентом затухания колебаний (металловолокнистые, резиновые, пластмассовые). Это происходит благодаря компенсации несовершенства геометрии посадочных мест и виброизоляции корпуса оборудования от подшипника. Суммарный эффект при этом достигается ~ 12...15 дБ.

Значительное влияние на генерируемые уровни шума и вибрации оказывают условия монтажных работ, так различные осевые сдвиги и перекосы установки подшипников в оборудование могут увеличить уровни звукового давления и виброскорости на 13-16 дБ.

Для снижения уровней шума и вибрации в ПО с опорными узлами на основе подшипников качения рекомендуются следующие меры:

- выбирать подшипники минимально необходимых размеров;
- применять однорядные шарикоподшипники;
- применять самоустанавливающиеся опоры;
- применять упругие вкладыши из вибродемпфирующих материалов;
- обеспечивать соосность посадочных мест на валу и в корпусе подшипникового узла;
- обеспечить минимальный радиальный зазор между подшипником и корпусом узла;
- обеспечить параметры шероховатости посадочных мест в соответствии с классом точности выбранного подшипника;
- заполнять камеры подшипниковых узлов смазочным материалом (на 50 %).

### **8.6.2 Снижение уровней шума и вибрации в зубчатых передачах и редукторах**

Шум и вибрация в таких системах возникают как в результате деформации сопрягаемых зубьев под действием передаваемой мощности, так и вследствие динамических процессов, обусловленных дефектами, допущенными при изготовлении и монтаже зубчатых передач. На величину излучаемых шума и вибрации здесь влияют частота вращения валов и передаваемая мощность. Так, например, при двукратном увеличении этих параметров уровень звукового давления возрастает на 5-7 дБ. Снижение уровня генерируемого шума в этом случае возможно за счёт применения: двухступенчатых передач той же мощности; косозубых передач; уменьшения диаметра шестерен и др. Эти меры могут дать снижение уровня звукового давления на 3-6 дБ.

Большое значение для генерации шума имеет материал зубчатых колёс и его термообработка. Например, замена стали на чугун снижает уровни звукового давления на 3...5 дБ; закалка и другие виды термообработки, наоборот, ведут к увеличению уровня звукового давления на 4-6 дБ, т.к. при этом возрастают деформации зубчатых колёс. На величину генерируемого шума также влия-

ет наличие смазочного материала (отсутствие его или наличие могут изменять величину уровня звукового давления в диапазоне  $\pm 10 \dots 15$  дБ).

Ориентировочно уровень звукового давления  $L$ , дБ, генерируемый силовой зубчатой передачей можно определить по формуле:

$$L = L_0 + 20 \lg u, (12)$$

где  $L_0$  – поправка на уровень звукового давления, зависящая от качества изготовления зубчатых колёс, дБ (40...55 дБ);

$u$  – окружная скорость вращения зубчатых колёс, м/с.

Шум в редукторах складывается из шума, возникшего в результате колебаний корпусов под действием вибрации, генерируемой при работе зубчатых передач, и шума, производимого воздухом, проникающим через неплотности в корпусе. Для снижения шума редукторов кроме выше приведенных рекомендаций целесообразно покрывать их корпуса звукопоглощающими материалами, а весь редуктор накрывать звукоизолирующим кожухом.

### **8.6.3 Снижение шума и вибрации, вызванных неуравновешенностью масс вращающихся деталей**

Одной из причин возникновения вибрации и шума при работе производственного оборудования является неуравновешенность масс вращающихся деталей. При этом, в зависимости от взаимного расположения осей инерции и вращения, различают статическую и динамическую неуравновешенность.

Статическая неуравновешенность вызвана разностью масс конструктивных элементов, находящихся на диаметрально противоположных сторонах детали, а также кривизной вала, несоосностью поверхности детали с поверхностью шеек вала. При этом суммарная ось инерции и ось вращения параллельны.

Динамическая неуравновешенность возникает при пересечении суммарной оси инерции с осью вращения не в центре масс детали, т.е. ось инерции и ось вращения не параллельны друг другу.

Частота вибрации, вызванной неуравновешенностью масс вращающихся деталей, равна частоте их вращения.

Снижение уровней вибрации и сопровождающего её шума при этом достигается балансировкой вращающихся деталей.

Причиной вибрации (и соответственно шума) может быть также нарушение соосности валов оборудования и привода (например, электродвигателя). Снижение уровней вибрации и шума в этом случае достигается соответствующей центровкой валов.

### **8.6.4 Снижение шума газодинамических процессов**

Основными причинами генерирования шума в газовых потоках являются вихревые процессы (турбулентность), колебания среды под действием рабочих органов оборудования, пульсация давления, а также колебания, вызванные неоднородностью газового пространства по его плотности. Снижение уровня звукового давления непосредственно в производственном оборудовании достигается

ется увеличением зазора между деталями, находящимися в газовой струе, и улучшением газодинамических характеристик проточной части оборудования.

Значительное снижение шума достигается установкой специальных глушителей на всасывающих и выхлопных линиях компрессоров, вентиляторов и др. Глушители представляют собой цилиндрическое устройство с наполнением из стеклянного или базальтового волокна со средней объёмной плотностью  $\sim 20 \text{ кг/м}^3$ . Снижение уровня звукового давления при этом достигает 70 дБ на средних частотах ( $\sim 2000 \text{ Гц}$ ) и 15-30 дБ на низких и высоких частотах. Принцип действия глушителя шума основан на явлении звукопоглощения.

### **8.6.5 Снижение вибрации производственного оборудования путём вибропоглощения и виброизоляции**

**Вибропоглощение.** Принцип вибропоглощения заключается в уменьшении амплитуды колебаний аппарата (машины) или отдельных его частей за счёт облицовки вибрирующих поверхностей жёсткими и мягкими демпфирующими покрытиями. При этом энергия колебательного процесса переходит во внутреннюю энергию облицовки в результате трения между её отдельными частями (доменами), которые имеют различную собственную частоту колебаний.

В качестве жёстких покрытий используются пластмассы с динамическим модулем упругости 100...1000 МПа, которые наиболее эффективны на низких и средних частотах (1... 1000 Гц).

Мягкие покрытия (резина, мягкие пластмассы, мастики и т. п. материалы) с динамическим модулем упругости  $\sim 10 \text{ МПа}$  более эффективны на высоких частотах ( $> 1000 \text{ Гц}$ ).

Толщина вибропоглощающего слоя в обоих случаях составляет 2-3 толщины стенки защищаемого оборудования.

**Виброизоляция.** Принцип виброизоляции заключается в создании упругой связи между источником колебаний (машины и аппараты) и поддерживающей его конструкцией (опора, основание и др.) путём размещения между ними амортизаторов. В качестве амортизаторов используются стальные пружины или упругие прокладки из резины и других подобных материалов.

Эффективность виброизоляции характеризуется коэффициентом передачи действующей силы виброколебаний на основание (опору), определяемым по формуле

$$K = [(f/f_{oz})^2 - 1]^{-1} \quad (13)$$

где:  $f$  – частота колебаний системы (аппарат–опорная плита–виброизолятор) под действием возмущающей силы, Гц;

$f_{oz}$  – собственная частота колебаний системы, Гц.

Из данного выражения следует:

1. При  $f < f_{oz}$  система имеет такое упругое сопротивление, что сила виброколебаний полностью передаётся основанию;

2. При  $f = f_{oz}$  возникает явление резонанса, при этом амплитуда колебаний резко возрастает;

3. При  $f \geq \sqrt{2}f_{oz}$  система оказывает инерционное сопротивление, и эффективность виброизоляторов возрастает с увеличением частоты колебаний.

Таким образом условием надёжной работы виброизоляторов является обеспечение соотношения:

$$f_{oz} = \frac{f}{\sqrt{2}} \quad (14)$$

## **9. Безопасность эксплуатации систем, работающих под давлением**

### **9.1 Сосуды, работающие под давлением**

Под сосудом понимается геометрически замкнутая ёмкость, предназначенная для ведения химических, тепловых и других технологических процессов, а также для хранения и транспортировки газообразных, жидких и других веществ. Границей сосуда являются входные и выходные штуцера для подключения различных коммуникаций и устройств.

В зависимости от условий эксплуатации сосуды могут быть передвижными (для временного использования в различных местах или во время их перемещения) и стационарными (постоянно установленные в одном определённом месте).

Рабочее давление в сосуде может быть как избыточное (по отношению к атмосферному) внутреннее, так и избыточное наружное, возникающее при нормальном протекании рабочего процесса.

Чаще всего используются сосуды следующих видов:

баллон – сосуд, имеющий одну или две горловины для установки вентиля, фланцев или штуцеров, предназначенный для транспортировки, хранения и использования сжатых, сжиженных или растворённых под давлением газов;

бочка – сосуд цилиндрической или другой формы, который можно перекатывать с одного места на другое и ставить на торцы без дополнительных опор, предназначенный для транспортировки и хранения веществ, указанных выше;

цистерна – передвижной сосуд, постоянно установленный на раме ж/д вагона, на шасси автомобиля (прицепа) или других средствах передвижения, предназначенный для транспортировки и хранения веществ, указанных выше;

резервуар – стационарный сосуд, предназначенный для хранения веществ, указанных выше;

Конструкция сосуда должна обеспечить надёжность и безопасность эксплуатации в течение расчётного срока службы и предусматривать возможность проведения технического освидетельствования, очистки, промывки, полного опорожнения, продувки газом или паром, ремонта, эксплуатационного контроля состояния металла и соединений. Сосуд должен иметь необходимое количество люков и смотровых лючков для осмотра, очистки, ремонта, монтажа и демонтажа разборных внутренних устройств.

Сосуд должен быть изготовлен цельнокованным или сварным способом. Отверстия в стенках сосуда должны быть вне сварных соединений.

Материалы, применяемые для изготовления сосудов должны обеспечивать их надёжную работу в течение расчётного срока службы с учётом заданных условий эксплуатации (по величине давления, температуры, составу и др.).

В качестве материала для сосудов, работающих под давлением, используется сталь (углеродистая и легированная), цветные металлы и их сплавы. Неметаллические материалы могут применяться только с разрешения органов «Федеральной службы по технологическому, экологическому и атомному надзору РФ» (Ростехнадзор, РТН) на основании заключения специализированной организации.

Все сварные соединения сосудов, работающих под давлением, должны быть подвержены неразрушающему контролю на наличие в них дефектов.

### **9.1.1 Опасности, возникающие при эксплуатации сосудов, работающих под давлением**

Основная опасность при эксплуатации сосудов заключается в возможности их разрушения при внезапном адиабатическом расширении газов и паров (физический взрыв). При физическом взрыве потенциальная энергия сжатой среды в течение малого промежутка времени реализуется в кинетическую энергию осколков разрушенного сосуда и ударную волну.

Особенно опасны взрывы сосудов, содержащих горючие вещества, так как при этом возникает химический взрыв, являющийся причиной пожара.

При взрывах сосудов развиваются большие мощности, что и является причиной сильных разрушений. Так, например, при разрыве сосуда  $V = 1 \text{ м}^3$  со сжатым до  $P = 1,2 \text{ МПа}$  воздухом с длительностью физического взрыва  $0,1$  с развивается мощность, равная  $28 \text{ МВт}$ .

Наиболее частыми причинами аварий сосудов, работающих под давлением, являются:

- несоответствие конструкции максимально допустимым давлению и температуре;
- превышение давления сверх предельного для данного сосуда;
- потеря механической прочности в результате внутренних дефектов, коррозии, местных перегревов и др.;
- несоблюдение установленного режима работы;
- низкая квалификация обслуживающего персонала;
- отсутствие технического надзора.

Так как наиболее часто на производствах топливно-энергетического комплекса используются баллоны для транспортирования, хранения и использования сжатых, сжиженных и растворённых газов, рассмотрим подробнее опасности, возникающие при их эксплуатации.

Взрывы баллонов возможны при повреждении корпуса в случае падения или удара по баллону, особенно при температуре  $< -30 \text{ }^\circ\text{C}$ , т. к. при этом повышается хрупкость стали. Взрыв может произойти и при повышении температуры из-за роста давления среды в баллоне.

Причиной взрыва может быть также переполнение баллона сжиженными газами из-за резкого повышения давления при росте температуры, что объясня-

ется следующим образом. При повышении температуры баллона, полностью заполненного сжиженным газом, величина возросшего при этом давления рассчитывается по формуле

$$p = \Delta t \cdot \alpha / \beta \quad (15)$$

где:  $\Delta t$  – диапазон повышения температуры содержимого баллона, град.;

$\alpha$  – коэффициент объёмного теплового расширения газа, содержащегося в баллоне;

$\beta$  – коэффициент объёмного теплового сжатия сжиженного газа, содержащегося в баллоне;

Для большинства газов, используемых в промышленности, величина  $\alpha$  больше  $\beta$  на порядок, что при повышении  $\Delta t$  на 10 градусов даёт прирост давления на 100 атм.

Взрывы баллонов, содержащих сжатый кислород возможны при попадании масел и других жировых веществ во внутреннюю полость вентиля или баллона за счёт применения, например, необезжиренных уплотняющих прокладок. В кислородной среде масла и жиры окисляются до пероксидов, которые разлагаются взрывным способом, кроме того масла и жиры в струе кислорода способны самовоспламенятся, что также приводит к взрыву баллонов.

Баллоны с водородом представляют опасность при загрязнении водорода, содержащегося в них, кислородом в количестве  $> 1$  % об., т. к. при этом образуется взрывоопасная смесь, воспламеняющаяся в взрывной форме при наличии соответствующего импульса.

Баллоны с ацетиленом представляют опасность из-за возможности этого вещества разлагаться со взрывом в отсутствие кислорода при давлении  $> 0,2$  МПа. Из-за этого обстоятельства баллоны с ацетиленом заполнены активированным углём, который пропитан ацетоном, что позволяет повысить давление газа в баллоне до 1,6 МПа.

Аварии баллонов происходят также по причине отсутствия сведений о веществе, содержащемся в них при полном расходовании его, а также отсутствия опознавательной окраски поверхности баллона и соответствующих надписей, в результате чего внутрь баллона может быть закачан или воздух или горючее вещество, что приведёт к образованию взрывоопасной смеси и взрыву при наличии соответствующего импульса воспламенения.

Поскольку в баллонах могут содержаться и токсические вещества, при их разгерметизации существует также опасность отравления персонала токсическими веществами.

### **9.1.2 Основные меры безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением**

Основные способы и средства безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением регламентируются нормативным документом «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» (ПБ 03-576–03), которые распространяют своё действие на:

сосуды, работающие под давлением воды с температурой выше 115 °С или других нетоксичных, невзрывопожароопасных жидкостей при температуре, превышающей температуру кипения при давлении 0,07 МПа;

сосуды, работающие под давлением пара, газа или токсичных взрывопожароопасных жидкостей свыше 0,07 МПа;

баллоны, предназначенные для транспортировки и хранения сжатых, сжиженных и растворённых газов под давлением свыше 0,07 МПа;

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

цистерны и сосуды для транспортировки и хранения сжатых, сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел, в которых давление выше 0,07 МПа создаётся периодически для их опорожнения;

барокамеры.

Для управления работой и обеспечения безопасной эксплуатации сосуда в зависимости от назначения в соответствии с требованиями ПБ 03-576–03 должны быть оснащены:

запорной или запорно-регулирующей арматурой;

приборами для измерения давления;

приборами для измерения температуры;

предохранительными устройствами;

указателями уровня жидкости.

Запорная и запорно-регулирующая арматура должна устанавливаться на штуцерах, присоединённых непосредственно к сосуду или на трубопроводах, подводящих и отводящих из него рабочую среду. На маховике запорной арматуры должно быть указано направление его вращения при открывании или закрывании прохода для содержимого сосуда с соответствующей надписью. Сосуды для горючих веществ и токсических веществ 1 или 2 класса опасности по ГОСТ 12.1.007-76, испарителей с огневым или газовым обогревом должны иметь обратный клапан на линии между запорной арматурой сосуда и насосом (компрессором), автоматически закрывающимся давлением из сосуда, например, при отказе компримирующего устройства.

На каждом сосуде или его самостоятельной полости, имеющей другое давление, устанавливаются манометры прямого действия. Манометр устанавливается на штуцере сосуда или трубопроводе между сосудом и запорной арматурой. Между манометром и сосудом устанавливается трехходовой кран для периодической поверки прибора контрольным манометром. Манометры защищаются от воздействия агрессивной среды сосуда буферными жидкостями в сифонной трубке (например, маслом). Поверка манометра проводится не реже одного раза в год специализированными организациями (с последующим опломбированием), а не реже одного раза в шесть месяцев – владельцем сосуда с записью в соответствующий журнал.

Каждый сосуд (полость комбинированного сосуда) снабжается предохранительными устройствами от повышения давления выше допустимой величины. Такими устройствами являются:



пружинные предохранительные клапаны;  
рычажно-грузовые клапаны;  
импульсные предохранительные устройства (ИПУ), состоящие из главного предохранительного клапана (ГПК) и управляющего импульсного клапана (ИПК) прямого действия;

предохранительные устройства с разрушающимися мембранами (мембранные предохранительные устройства – МПУ);

другие устройства, применение которых согласовано с Ростехнадзором.

Установка рычажно-грузовых клапанов на передвижных сосудах не допускается из-за нарушения работы их механизма за счёт инерционных эффектов, возникающих при неравномерном движении.

Отбор газов из сосудов на технологические и другие нужды производится через редуцирующие устройства, снижающие исходное давление до необходимой величины.

Для группы сосудов, работающих при одном и том же давлении, допускается установка одного редуцирующего устройства с манометром, предохранительным клапаном на общем, подводящем трубопроводе до первого ответвления к одному из сосудов. В этом случае установки предохранительного устройства на самих сосудах необязательна, если в них исключена возможность повышения давления.

Количество предохранительных клапанов, их размеры и пропускная способность должны быть выбраны по расчёту так, чтобы в сосуде не создавалось давление, превышающее расчётное более, чем на 0,05 МПа для сосудов с давлением до 0,3 МПа; на 15% – для сосудов с давлением от 0,3 до 6 МПа и на 10% – для сосудов с давлением > 6 МПа.

Сбрасываемые при срабатывании предохранительных устройств токсичные, взрыво- и пожароопасные технологические среды направляются в закрытые системы для дальнейшей утилизации.

Мембранные предохранительные устройства устанавливаются в следующих случаях:

– вместо рычажно-грузовых и пружинных предохранительных клапанов, когда последние в рабочих условиях не могут быть применимы вследствие их инерционности;

– перед предохранительными клапанами в случаях, когда они не могут работать надёжно, например, из-за коррозии, примерзания и др. причин или при возможных утечках через клапаны токсичных, горючих и др. опасных веществ;

– параллельно с предохранительными клапанами для увеличения пропускной способности системы сброса избыточного давления.

В сосудах, имеющих границу раздела фаз различных сред, устанавливаются указатели их уровня.

### **9.1.3 Установка, регистрация, техническое освидетельствование и разрешение на эксплуатацию сосудов, работающих под давлением**

Установка сосудов. Устанавливаться сосуды должны на открытых площадках, где нет скопления людей или в отдельно стоящих зданиях. При невозможности обеспечения этих условий допускается установка сосудов:

- в помещениях, примыкающих к производственному зданию при разделении их капитальной стеной;
- заглублением в грунт при условии обеспечения доступа к арматуре и защиты стенок сосуда от почвенной и электрохимической коррозии.

Не допускается установка сосудов, работающих под давлением в жилых, общественных и бытовых зданиях, а также в примыкающих к ним помещениях.

Регистрация сосудов. Сосуды, на которые распространяются Правила ПБ 03-576–03, до пуска в работу регистрируются в органах Ростехнадзора. Регистрации не подлежат следующие сосуды:

сосуды, работающие при давлении  $> 0,07$  МПа с рабочей средой, состоящей из взрывоопасных, пожароопасных или токсических веществ первого или второго класса опасности, у которых произведение давления в МПа (кг/см) на вместимость в м<sup>3</sup> (л) не превышает 0,05 (500), а также сосуды с иной рабочей средой, у которых произведение давления на ёмкость  $\leq 1,0$  (10000);

- резервуары воздушных электрических выключателей;
- бочки для перевозки сжиженных газов, баллоны ёмкостью до 100 л включительно, установленные стационарно, а также перемещающиеся в процессе эксплуатации;
- сосуды, для хранения или транспортировки сжиженных газов, жидкостей и сыпучих веществ, находящихся под давлением периодически при их опорожнении;
- сосуды со сжатыми и сжиженными газами, предназначенные для обеспечения топливом двигателей транспортных средств, на которых они установлены;
- сосуды, установленные в подземных горных выработках.

Регистрация сосудов производится на основании письменного заявления владельца сосуда с предоставлением следующих документов:

- паспорта, установленной формы;
- удостоверения о качестве монтажа;
- схемы включения сосуда в технологическую линию, утвержденной руководителем организации, с указанием источника давления и величины его, температуры, рабочей среды, арматуры, контрольно-измерительных приборов (КИП), средств автоматического управления, предохранительных и блокирующих устройств.

паспорта предохранительного клапана с расчётом его пропускной способности.

Удостоверение о качестве монтажа предоставляется организацией его производившей и подписывается руководителями обеих сторон (монтажной организацией и организацией владельцем) с соответствующими печатями. В удостоверении должны быть приведены следующие данные:

наименования обеих организаций (монтажной и владельца);

- наименование организации изготовителя;
- заводской номер сосуда;
- сведения о материалах, примененных монтажной организацией, дополнительно указанных в паспорте сосуда;
- сведения о сварке, включающие вид сварки, тип и марку электродов, о термообработке и её режиме;
- фамилия, имя, отчество сварщиков, термистов и номера их квалификационных удостоверений;
- результаты испытаний контрольных стыков и их неразрушающего контроля;
- заключение о соответствии выполненных монтажных работ сосудов Правилам ПБ 03-576-03, проекту, техническим условиям, руководству по эксплуатации и пригодности к эксплуатации при указанных в паспорте параметрах.

Орган Ростехнадзора обязан в течение 5-ти дней рассмотреть представленную документацию. Если документация соответствует требованиям Правил ПБ 03-576-03, орган РТН в паспорте сосуда ставит штамп о регистрации, пломбирует документы и возвращает их владельцу сосуда. Отказ о регистрации сообщается владельцу сосуда в письменном виде с указанием причин отказа и ссылкой на соответствующие пункты Правил ПБ 03-576-03.

Если сосуд переустанавливается на новое место или вносятся изменения в схему его включения в технологическую линию, или сосуд передаётся другому владельцу, то до пуска в эксплуатацию сосуд должен быть перерегистрирован в органах Ростехнадзора.

Для снятия с учёта зарегистрированного сосуда его владелец предоставляет в орган РТН заявление с указанием соответствующих причин и паспорт сосуда.

Для регистрации сосудов, не имеющих технической документации изготовителя, паспорт сосуда может быть составлен специализированной организацией, имеющей лицензию Ростехнадзора на проведение экспертизы промышленной безопасности технических устройств.

Техническое освидетельствование. Сосуды, на которые распространяется действие Правил ПБ 03-576-03, подвергаются техническому освидетельствованию (ТО) после монтажа, до пуска в работу, периодически в процессе эксплуатации и в необходимых случаях – внеочередному освидетельствованию.

Объём, методы и периодичность технического освидетельствования сосудов (за исключением баллонов) определяются изготовителем и указываются в руководстве по эксплуатации. Если таких сведений нет, то техническое освидетельствование проводится в соответствии с требованиями ПБ 03-576-03.

Техническое освидетельствование включает в себя:

наружный и внутренний осмотры с целью проверки соответствия установки и оборудования сосудов требованиям Правил ПБ 03-576-03 и другой нормативной документации, а также обнаружения визуально определяемых повреждений (трещины, вздутия и т.п.);

гидравлическое испытание, осуществляемое с целью проверки прочности элементов сосудов и плотности соединений (проводится с установленной арматурой).

Перед техническим освидетельствованием сосуд останавливается, охлаждается (отогревается), освобождается от рабочей среды, отключается заглушками от всех коммуникаций. Металлические сосуды очищаются до металла.

Если в сосуде находились токсические вещества 1 или 2 класса опасности, перед внутренним осмотром проводится их нейтрализация и дегазация. Футеровка, изоляция и другие виды защиты сосуда от коррозии должны быть частично или полностью удалены, если имеются признаки их разрушения. Сосуды также отключаются от электрической сети.

В целом периодичность технического освидетельствования определяется условиями эксплуатации (например, передвижной или стационарный сосуд, постоянное избыточное давление или периодическое и др.), параметрами рабочей среды (сжатый или сжиженный газ, агрессивность по отношению к материалу сосуда и др.), свойствами материала, из которого он изготовлен (скорость коррозии по толщине материала в мм/г, металл или неметалл и др.)

Например, периодичность ТО для баллонов, не подлежащих регистрации в органах Ростехнадзора, составляет 5 лет, если скорость коррозии материала сосуда  $\leq 0,1$  мм/г и 2 года, если скорость коррозии  $> 0,1$  мм/г; если баллоны установлены стационарно, в том числе и на передвижных средствах, и в них хранятся некорродирующие газы (воздух, азот, аргон, гелий, обезвоженный углекислый газ и т.п.), то техническое освидетельствование проводится не реже 1 раза в 10 лет.

Внеочередное техническое освидетельствование сосудов, находящихся в эксплуатации, проводится в следующих случаях:

если сосуд не эксплуатировался больше 1 года;

если сосуд был демонтирован и установлен на новом месте;

если произведены ремонт или реконструкция сосуда;

перед наложением защитного покрытия на стенки сосуда;

после аварии сосуда или его элементов, работающих под давлением;

по требованию инспектора Ростехнадзора или ответственного лица по надзору за осуществлением производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

Техническое освидетельствование сосудов, не регистрируемых в органах РТН, проводится лицом, ответственным за осуществление производственного контроля по соблюдению требований промышленной безопасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

Первичное, периодическое и внеочередное техническое освидетельствование сосудов, зарегистрированных в органах РТН, проводится специалистом организации, имеющей лицензию Ростехнадзора на проведение экспертизы промышленной безопасности технических устройств опасных производственных объектов.

На сосудах, признанных по результатам ТО годными к дальнейшей эксплуатации наносятся при выдаче разрешения на эксплуатацию следующие сведения (на специальной табличке краской):

- регистрационный номер;
- разрешённое давление;
- число, месяц, год следующих наружного и внешнего осмотров и гидравлического испытания.

Если при техническом освидетельствовании обнаружены дефекты, снижающие прочность сосуда, то эксплуатация его может быть разрешена при пониженных параметрах (давление и температура), при подтверждении этой возможности соответствующими расчётами. Если при техническом освидетельствовании установлено, что сосуд имеет дефекты, создающие опасные условия эксплуатации, то его эксплуатация запрещается.

Органам Ростехнадзора в исключительных случаях предоставляется право на продление до 3-х месяцев срока очередного технического освидетельствования, по обоснованному письменному ходатайству владельца сосуда.

Разрешение на ввод сосуда в эксплуатацию. После регистрации сосуда инспектором РТН выдаётся разрешение на ввод его в эксплуатацию на основании результатов технического освидетельствования и проверки организации обслуживания и надзора, при которой контролируется:

- соответствие установки сосуда требованиям правил безопасности;
- правильность включения сосуда в технологическую схему;
- наличие аттестованного рабочего персонала и специалистов;
- наличие должностных инструкций для лиц, ответственных за осуществление производственного контроля по соблюдению требований промышленной безопасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением, лиц, ответственных за исправное состояние и безопасную эксплуатацию конкретного сосуда;
- наличие инструкции по режиму работы и безопасному обслуживанию, сменных журналов другой документации, предусмотренной Правилами ПБ 03-576-03.

Разрешение на ввод в эксплуатацию сосуда, не подлежащего регистрации в органах РТН, выдаётся лицом, назначенным приказом по организации (предприятию) для осуществления производственного контроля по соблюдению требований промышленной безопасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением, на основании документации изготовителя после технического освидетельствования и проверки организации обслуживания.

Разрешение на ввод в эксплуатацию сосуда записывается в его паспорте. Сосуд может быть включён в работу только после реализации рассмотренных выше требований.

#### **9.1.4 Надзор, содержание, обслуживание и ремонт сосудов**

Организация надзора. Владелец сосуда обязан обеспечить исправное состояние и безопасные условия его работы. Для этого на предприятии проводятся следующие организационные работы:

1. назначается приказом лицо, ответственное за исправное состояние и безопасную работу сосуда из числа специалистов, прошедших проверку знаний Правил ПБ 03-576–03, а также лиц, ответственных за осуществление производственного контроля по соблюдению требований промышленной безопасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением, число которых зависит от количества сосудов, условий их эксплуатации и др. факторов;

2. назначается необходимое количество обслуживающего персонала, обученного и имеющего удостоверения на право работы с сосудами, работающими под давлением;

3. обеспечивается проведение технического освидетельствования и диагностики сосуда в установленные сроки;

4. определяется периодичность и порядок проверки знаний Правил ПБ 03-576–03 руководящими работниками и специалистами;

5. организуется периодическая проверка знаний персоналом инструкций по безопасному обслуживанию сосудов;

6. специалисты обеспечиваются Правилами ПБ 03-576-03 и руководящими указаниями по безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, а обслуживающий персонал – соответствующими инструкциями;

7. разрабатываются и утверждаются инструкции для ответственного за исправное состояние и безопасную эксплуатацию сосуда и ответственного за осуществление производственного контроля по соблюдению требований промышленной безопасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

Содержание и обслуживание сосудов. К обслуживанию сосудов допускаются лица обученные, аттестованные и имеющие соответствующие удостоверения. Подготовка и проверка знаний персонала, обслуживающего сосуда, проводятся в учебных заведениях, а также на курсах, специально создаваемых на предприятии. Лицам, успешно сдавшим экзамен, выдаются удостоверения с указанием наименования и параметров рабочей среды сосуда, к обслуживанию которых они допускаются.

Аттестация персонала, обслуживающего сосуда с быстроразъемными крышками (реакторы), а также сосудов с токсическими веществами 1-4 классов опасности, проводится комиссией с участием инспектора Ростехнадзора, в остальных случаях его участие необязательно.

Периодическая проверка знаний персонала проводится не реже 1 раза в год.

Внеочередная проверка знаний персонала проводится в следующих случаях:

- при переходе на работу в другую организацию;
- при внесении изменений в инструкцию по режиму работы и безопасному обслуживанию сосуда;
- по требованию инспектора РТН.

При перерыве в работе по специальности > 1 года персонал после проверки знаний перед допуском к работе проходит стажировку для восстановления практических навыков.

Результаты проверки знаний персонала оформляются протоколом с отметкой в удостоверении.

Допуск персонала к самостоятельной работе оформляется приказом по предприятию или распоряжением по цеху.

Предприятием разрабатывается и утверждается инструкция по режиму работы и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Инструкция выдаётся персоналу под расписку и находится на рабочем месте.

Схемы включения сосудов в технологический процесс вывешиваются на рабочих местах.

Аварийная остановка работы сосудов, работающих под давлением. Сосуды, работающие под давлением, немедленно останавливаются в следующих случаях:

- давление в сосуде поднялось выше разрешённой величины и не снижается при принятии соответствующих мер персоналом;
- выявлены неисправности предохранительных устройств от повышения давления;
- обнаружены неплотности, выпучины и т.п. нарушения нормального состояния сосуда;
- неисправен рабочий манометр и невозможно определить величину давления в сосуде по другим приборам;
- снижен уровень жидкости ниже допустимой величины в сосуде с огневым обогревом;
- вышли из строя все указатели уровня жидкости;
- неисправны дополнительные блокировочные устройства;
- возник пожар, угрожающий нормальному состоянию сосуда;

Кроме этого аварийная остановка сосуда производится в случаях, указанных в инструкции по его безопасной эксплуатации, в которой также регламентируется порядок остановки.

Факт и причины аварийной остановки сосуда фиксируется в сменном журнале.

Ремонт сосудов. Для поддержания сосуда в исправном состоянии владелец его обязан своевременно в соответствии с утверждённым графиком проводить ремонт. Ремонт с применением сварки проводится по технологии изготовителя, конструкторской или ремонтной организацией, разработанной до начала работ. Результаты этой работы заносятся в паспорт сосуда.

До начала ремонтных работ сбрасывается (до атмосферного) давление, отсоединяются коммуникации с соответствующими заглушками, сосуд опорожняется.

При работе внутри сосуда для освещения его пространства применяются светильники, питающиеся переменным электрическим током с напряжением не больше 12 В, а если рабочая среда взрывоопасная, то и во взрывобезопасном исполнении. Если в сосуде рабочая среда – токсическое или взрывоопасное вещество, то после его удаления сосуд продувается инертным газом. Ремонтные работы внутри сосуда выполняются по наряду-допуску.

## 9.2 Безопасность эксплуатации компрессорных установок

### 9.2.1 Устройство и основные характеристики компрессорных установок

Компрессор представляет собой машину для повышения давления и перемещения газа. Компрессоры относятся к классу воздухо- и газодувных машин также как газодувки и вентиляторы.

В отличие от вентиляторов и газодувок в компрессоре газ в процессе сжатия охлаждается, а величина отношения давления нагнетания к давлению всасывания превышает 3,5.

По принципу сжатия компрессоры делятся на объёмные и динамические.

В объёмном компрессоре сжатие происходит в результате периодического уменьшения объёма, занимаемого газом. По виду рабочего органа объёмные компрессоры делятся на поршневые, мембранные и роторные.

В динамическом компрессоре сжатие происходит в результате непрерывного создания ускорений в потоке газа. По принципу действия динамические компрессоры делятся на турбинные (турбокомпрессоры) и струйные.

В зависимости от величины рабочего давления все компрессоры делятся на:

- вакуумные – начальное давление ниже атмосферного;
- низкого давления – конечное давление  $\leq 1$  МПа;
- среднего давления – конечное давление 1-10 МПа;
- высокого давления – конечное давление 10-100 МПа;
- сверхвысокого давления – конечное давление  $> 100$  МПа.

Конечное давление может создаваться одной ступенью или последовательно несколькими ступенями сжатия. Под ступенью компрессора понимается совокупность элементов, обеспечивающих повышение давления и перемещение газа в определённых направлениях и интервале давлений. Ступень или группу ступеней компрессора, после которых газ направляется на охлаждение или потребителю, называется секцией компрессора.

Величиной рабочего давления, создаваемого компрессором обусловлены характеристики прочности ступени, конструкция клапанов, конструкционные материалы.

Компрессоры могут быть стационарными и передвижными, а в зависимости от компримируемой среды – воздушными, газовыми и холодильными.

В компрессорную установку наряду с компрессором входят:

- электропривод (как правило);
- межступенчатая и концевая теплообменная аппаратура;
- влагомаслоотделители;
- трубопроводы обвязки ступеней;
- средства автоматического контроля и регулирования параметров сжатия;
- средства защиты.

Поршневые компрессоры. Поршневые компрессоры являются машинами объёмного действия, в которых изменение объёма осуществляется поршнем,



совершающим прямолинейное возвратно-поступательное движения в цилиндре.

Поршневые компрессоры могут быть одно-, двух- и многоцилиндровыми, а по расположению осей цилиндров в пространстве горизонтальными, вертикальными и угловыми (V-образные, W-образные, прямоугольные).

Горизонтальные поршневые компрессоры в зависимости от расположения цилиндров по отношению к оси коленчатого вала могут быть односторонними и оппозитными.

Поршневой компрессор состоит из следующих основных групп деталей: цилиндровой; механизма движений; вспомогательного оборудования.

В цилиндровую группу входят узлы цилиндра, поршня и уплотнения.

Группа деталей механизма движения включает в себя картер, коренной вал, крейцкопфы и шатуны.

Группа деталей вспомогательного оборудования состоит из узла смазки, фильтров, холодильников, влагомаслоотделителей, ресиверов, системы регулирования и защиты.

Вертикальные поршневые компрессоры занимают меньшую площадь, чем горизонтальные, а фундамент, воспринимающий вертикальные нагрузки, имеет меньшую массу.

Угловые поршневые компрессоры получили наибольшее распространение, благодаря лучшей компактности и меньшей массе по сравнению с предыдущими компрессорами.

Поршневые компрессоры наиболее часто применяются для получения сжатого воздуха.

Мембранные компрессоры. Мембранные компрессоры являются машинами объёмного действия, в которых изменение объёма достигается мембраной, совершающей колебательные движения. Мембрана полностью изолирует сжимаемый газ от окружающего пространства, предотвращая попадание масла и воды в компримируемую среду. Мембранные компрессоры применяются там, где требуется получение сжатого газа высокой чистоты (например, при компримировании  $O_2$ ,  $F_2$ ,  $Cl_2$  и др. газов).

Недостатками мембранных компрессоров являются: малая частота вращения вала; большие габариты и масса; малая долговечность мембран.

Роторные компрессоры. Роторные компрессоры также являются машинами объёмного действия. Изменение объёма в них осуществляется ротором, совершающим вращательное движение.

В зависимости от конструкций рабочей камеры роторные компрессоры подразделяются на пластинчатые, жидкостно-кольцевые, винтовые, шестерёнчатые и роторно-поршневые.

Рабочая камера в пластинчатом компрессоре, например, образуется корпусом и эксцентрично расположенным по отношению к нему ротором, в котором имеются подвижные или гибкие пластины.

Турбокомпрессоры. В компрессорах этого типа ускорение газового потока происходит в результате его взаимодействия с вращающейся решёткой лопаток.

По направлению потока в меридиональной плоскости колеса турбокомпрессоры делятся на радиальные, осевые, диагональные и вихревые.

Если в радиальном компрессоре поток газа направлен от центра к периферии, его называют центробежным; если от периферии к центру – центростремительным.

В радиальных центробежных компрессорах давление газа создаётся действием центробежных сил, возникающих во вращающемся газовом потоке. По сравнению с поршневыми компрессорами центробежные турбокомпрессоры имеют следующие преимущества:

- газ не загрязняется смазочным маслом, т. к. оно подаётся только в подшипники;
- благодаря большей частоте вращения вала достигается большая производительность;
- практическое отсутствие вибрации позволяет сооружать облегченный фундамент;
- из-за равномерной подачи газа отпадает необходимость в ресиверах.

К недостаткам центробежных компрессоров можно отнести ухудшение технико-экономических показателей при увеличении степени сжатия, а также меньшая по сравнению с поршневыми компрессорами величина достигаемого давления газа (до 35 МПа).

Для достижения большей производительности турбокомпрессора по сжимаемому газу ( $> 25 \text{ м}^3/\text{с}$ ) применяются осевые компрессоры, принцип действия которых заключается в превращении кинетической энергии движущегося газа в энергию давления на лопатках ротора и статора.

Осевые компрессоры имеют большой коэффициент полезного действия (КПД), меньшие массу и габариты по сравнению с радиальными компрессорами.

*Струйные компрессоры.* В струйных компрессорах ускорение газового потока происходит в результате смешения потоков разных удельных энергий. Сжатие пассивного газа, подаваемого под низким давлением, происходит за счёт кинетической энергии активного газа, подаваемого под высоким давлением. Таким образом, запас энергии активного газа используется для сжатия пассивного газа, в результате получается поток, расход которого больше, а давление меньше, чем у активного газа.

Экономичность струйного сжатия газов значительно ниже, нежели механического.

При сопоставлении технико-экономических показателей воздушных компрессоров различных типов одинаковой производительности следует, что поршневые компрессоры более экономичны, чем машины других типов, но уступают им по металлоёмкости, габаритам и надёжности.

Компрессоры двух основных типов – поршневые и турбинные – не конкурируют, а дополняют друг друга. Однако применение турбокомпрессоров предпочтительнее при производительности  $15 \text{ м}^3/\text{с}$  и выше.

### 9.2.2 Опасности, возникающие при работе компрессорных установок

Основными источниками опасностей при эксплуатации компрессорных установок являются:

- повышенное (по сравнению с атмосферным) давление газа;
- разрежение (пониженное по сравнению с атмосферным давлением газа) на всасывающей линии (всасе);
- повышение температуры сжигаемого газа;
- возвратно-поступательное и вращательное движение рабочих органов;
- возможность ожигания отдельных компонентов сжимаемых газовых смесей;
- наличие в объёме сжатия горючих и токсичных веществ.

Высокое давление газа, создаваемое компрессором, способствует нарушению прочности материалов, из которых изготовлены детали ступеней. В результате нарушения прочности деталей возможно появление вздутий, трещин и т.п., что неизбежно приводит к физическому взрыву. Повышение давления газа происходит практически адиабатически, что ведет к нагреванию сжимаемого газа и машины до высокой температуры (400 °С и >).

На всасывающей линии компрессорных установок давление газа стремится быть ниже атмосферного (разрежение), что при разгерметизации трубопроводов может привести к попаданию кислорода воздуха в компримируемый горючий газ, или горючих газов в компримируемый воздух. Данное обстоятельство способствует образованию взрывоопасной смеси в цилиндрах и полостях компрессоров, что при наличии высокой температуры приведёт к химическому взрыву.

Высокая температура сжимаемого газа кроме вышеуказанного явления приводит к уменьшению вязкости смазочного масла, что инициирует его распыление и усиление термического разложения. При этом выделяются водород, предельные и непредельные лёгкие углеводороды, в т.ч. ацетилен, а это способствует образованию взрывоопасных смесей, если компримируется воздух. Смазочное масло, разлагаясь при высокой температуре, способствует образованию так называемого нагара на стенках цилиндров, клапанных устройств и нагнетательных трубопроводов, представляющего собой твёрдые продукты разложения (углерод, смолы, кокс, и др.). Нагар ведет к увеличению трения между движущимися деталями, местным перегревам, заклиниванию поршней в цилиндрах поршневых компрессоров.

Возвратно-поступательное и вращательное движение рабочих органов компрессорных установок из-за неуравновешенности движущихся масс являются главной причиной генерирования вибрации. При этом вибрация представляет опасность как для самой компрессорной установки, так и для обслуживающего персонала. Для компрессорной установки вибрация опасна за счёт того, что уменьшает прочность материала и соединений деталей друг с другом во всех узлах машины. Для обслуживающего персонала вибрация опасна тем, что вызывает повышенное отложение солей в суставах, сужение кровеносных сосудов и, как следствие, повышение кровяного давления и др. опасные для челове-

ка явления. Вибрация является также главной причиной генерирования шума с высокими уровнями звука (80 дБА и >), который приводит к нарушению нормального функционирования практически всех систем организма человека (тугоухость, снижение остроты зрения, гипертония, неврозы и др.).

При компримировании легкосжижаемых газов ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и др.) возможно образование капель сжиженного газа, которые инициируют гидравлические удары, что вызывает эрозию и разрушение поршня и головки поршневого компрессора.

При компримировании горючих газов, кроме указанных выше опасностей, при разгерметизации ступеней компрессора и нагнетательных трубопроводов возможно образование взрывоопасных газоздушных смесей в объеме помещения, где размещается машина, что приводит к взрыву и разрушению не только компрессорной установки, но и помещения (здания).

При компримировании токсических веществ вышеуказанные неисправности в работе компрессорной установки могут привести к массовым отравлениям обслуживающего персонала и населения, т.к. концентрации этих веществ в воздухе могут превышать соответствующие ПДК.

При внезапной остановке компрессорной установки, например, при отключении электроэнергии, возможно поступление указанных выше веществ из ёмкостей, аппаратов и т.п. обратно в машину, а из неё в помещение, вызывая рассмотренные выше явления.

### **9.2.3 Основные способы и средства безопасной эксплуатации компрессорных установок**

Безопасная эксплуатация компрессорных установок регламентируется следующими нормативными документами: «Правила устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов» (ПБ 03-581-03); «Правила устройства и безопасной эксплуатации компрессорных установок с поршневыми компрессорами, работающими на взрывоопасных и вредных газах» (ПБ 03-582-03).

Для предотвращения аварий, связанных с превышением рабочего давления, на всех ступенях сжатия устанавливаются предохранительные клапаны. В тех случаях, когда предохранительный клапан не может работать надежно (например, низкая пропускная способность) перед предохранительным клапаном устанавливается разрывная мембрана. Те и другие предохранительные устройства устанавливаются до запорной арматуры и до обратного клапана.

Для обеспечения надежной смазки (особенно поршневых компрессорных установок) предусматривается подача масла под давлением специальными циркуляционными системами с циклической фильтрацией его в фильтрах. Все линии подачи масла в системе смазки цилиндров и сальников снабжаются обратными клапанами. На каждой ступени компримирования газа установлены манометры для контроля давления масла. Для смазки цилиндров и сальников газовых компрессорных установок применяются масла с температурой вспышки паров не менее, чем на  $20^{\circ}\text{C}$  выше температуры нагнетаемого газа. Как прави-

ло, температура вспышки паров компрессорных смазочных масел  $> 200$  °С, а температура самовоспламенения не менее  $400$  °С.

Для смазки кислородных компрессорных установок смазочные масла не применяются, а смазка таких машин осуществляется водно-глицериновой эмульсией (глицериновое мыло, 10 % раствор глицерина в воде).

Для смазки хлорных компрессорных установок применяется концентрированная серная кислота, которая в отличие от других веществ не подвергается хлорированию.

Многоступенчатые компрессорные установки имеют систему охлаждения сжимаемого газа после каждой ступени в специальных холодильниках-сепараторах, что предотвращает повышение температуры и газа и машины, а также попадание в цилиндры сниженных газовых компонентов.

Для сглаживания пульсаций давления сжатого газа между поршневым компрессором и магистралью устанавливаются буферные ёмкости и обратный клапан (между ёмкостью и компрессором). При этом буферные емкости (ресиверы) устанавливаются на открытой и ограждённой площадке и снабжены арматурой для спуска воды и масла, манометрами, предохранительными клапанами, лазами и люками.

В целях предотвращения образования взрывоопасных газовых смесей в цилиндрах и полостях компрессорных установок давление на всасе поддерживается выше атмосферного, а система энергоснабжения машины заблокирована с состоянием линии всаса таким образом, что происходит отключение энергопитания электропривода при снижении давления на всасе ниже атмосферного или при наличии кислорода в поступающем газе.

Снижение генерируемой компрессорными установками вибрации достигается путём установки их на массивные фундаменты, а между ними – виброизоляторы.

На случай нарушения герметичности компрессорной установки предусматривается рабочая и аварийная вентиляция, включающаяся автоматически при превышении ПДК или НКРП в воздухе рабочей зоны.

Для контроля загазованности по ПДК и НКРП в производственных помещениях (рабочей зоне открытых наружных установок) предусматриваются средства автоматического газового анализа с сигнализацией о приближении концентраций опасных веществ к критическим значениям.

Для обеспечения безаварийной работы компрессорные установки снабжаются необходимыми контрольно-измерительными приборами (термометры, манометры, расходомеры и др.), а также звуковой и световой сигнализацией о нарушении эксплуатационных параметров.

Для обслуживающего персонала в помещении компрессорной устраивается звукоизолированная кабина, обеспечивающая необходимый обзор окружающего пространства. Уровень звука в кабине не должен превышать 80 дБА. Кабина должна быть оборудована средствами связи с технологически сопряженными с машиной помещениями. В кабине, как правило, размещаются щиты управления работой компрессорных установок.

Компрессорные установки размещаются в отдельно стоящих зданиях с подветренной стороны по отношению к другим зданиям предприятия. При этом в сторону других зданий должна быть ориентирована глухая стена компрессорной.

В целях предупреждения разрушения здания компрессорной при возможном взрыве крыши выполняется легкобрасываемой, а остекление – ленточным. При этом должно соблюдаться условие: суммарная площадь окон, дверей и легкобрасываемых панелей покрытий должна составлять не менее  $0,05 \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^3$  объема помещения компрессорной.

К обслуживанию компрессорных установок допускаются машинисты и аппаратчики, прошедшие специальную подготовку, аттестованные и имеющие соответствующие удостоверения на право эксплуатации этих опасных машин.

## **10. Безопасность эксплуатации грузоподъемных машин**

### **10.1 Общие сведения о грузоподъемных машинах**

Грузоподъемные машины – машины циклического действия, предназначенные для подъема и перемещения грузов на небольшие расстояния в пределах определённой площади промышленного предприятия.

По целевому применению грузоподъемные машины (ГПМ) делятся на машины общего и специального назначения.

Грузоподъемные машины общего назначения являются универсальными и предназначены для выполнения многообразных подъемно-транспортных операций.

Грузоподъемные машины специального назначения предназначены для выполнения подъемно-транспортных работ при осуществлении конкретных технологических операций и процессов.

По конструктивному исполнению грузоподъемные машины классифицируются на:

- подъемные механизмы;
- подъемники;
- грузоподъемные краны;
- погрузчики;
- манипуляторы.

Подъемные механизмы (домкраты, тали, лебёдки) – предназначены для подъема грузов небольшой массы (до 10 т) на небольшую высоту (домкраты и тали), а также перемещения грузов на небольшие расстояния (лебёдки). Силовой привод у этих машин может быть ручным, пневматическим, гидравлическим и электрическим. Подъемные механизмы применяются, как правило, при производстве строительно-монтажных работ.

Подъемники – используются для подъема груза и людей в специальных грузонесущих устройствах, движущихся по жестким вертикальным (наклонным) направляющим или рельсовому пути. По способу передачи силового воздействия от привода к грузонесущим устройствам различают канатные, цепные, реечные, винтовые и плунжерные подъемники. Подъемники имеют, как правило, электрический привод, реже – гидравлический.

По назначению подъемники подразделяются на:

- лифты – подъемники непрерывного действия с вертикальным движением кабины или платформы по жёстким направляющим, установленным в ограждённой со всех сторон шахте;

- фуникулеры – подъемники для перевозки грузов или пассажиров в вагонах, движущихся по наклонному рельсовому пути с канатной тягой;

- скиповые подъемники – передвижные или стационарные установки для подъёма сыпучих грузов в скипах (специальных ковшах) по наклонным или вертикальным направляющим. Находят применение в шахтах, рудниках, карьерах и др.;

- строительные подъемники – перемещающиеся по вертикальным направляющим платформы (кабины) с грузом (людьми) для доставки их на этажи строящихся зданий или сооружений.

Грузоподъемные краны. Грузоподъемные краны (ГК) являются наиболее распространенным средством механизации погрузочно-разгрузочных работ на промышленных предприятиях. ГК классифицируются:

- по конструктивному исполнению (мостового типа, стрелового типа, самоходные и др.);

- по конструкции захватного устройства (крюковые, грейферные (для сыпучих материалов), магнитные и др.);

- по виду перемещения (стационарные и передвижные);

- по конструкции ходового устройства (рельсовые, гусеничные, канатные, шагающие, плавучие);

- по виду привода механизмов (ручные, электрические, гидравлические, пневматические и др.);

- по степени поворота стрелы (полноповоротные, неполноповоротные, неповоротные);

- по способу опирания (опорные и подвесные).

Погрузчики. Используются преимущественно для погрузки, разгрузки и транспортирования штучных и насыпных грузов. Погрузчики могут быть периодического действия (штучные и насыпные грузы) и непрерывного действия (для насыпных грузов). Наиболее распространены погрузчики, смонтированные на автомобильном шасси. При работах внутри помещений применяются электропогрузчики.

Роботы и манипуляторы. Робот – автоматическая машина, выполняющая двигательные и управляющие функции, заменяющие аналогичные функции человека при перемещении грузов. Грузоподъемность роботов может достигать несколько тонн.

Манипуляторы – машины, используемые для механизации складских работ, при монтаже оборудования, для операций по установке тяжёлых деталей на металлообрабатывающие станки и в др. случаях.

## **10.2 Основные опасности, возникающие при эксплуатации грузоподъемных машин**

При эксплуатации грузоподъемных машин могут возникать следующие опасности:

обрыв груза и его падение с высоты при неудовлетворительном состоянии грузозахватных устройств, при нарушении целостности тросов и канатов;

падение поднятого груза и самой ГПМ (например, грузоподъемного крана) при потере устойчивости системы (за счёт ветрового напора, несбалансированности масс, схода с рельсового пути, превышения нормативной грузоподъемности, при перерывах в подаче электроэнергии).

Все грузоподъемные машины относятся к опасным производственным объектам.

## **10.3 Обеспечение безопасной эксплуатации грузоподъемных машин**

Для предотвращения доступа людей в опасную зону работы ГПМ устраиваются защитные ограждения. Ограждаются также все движущиеся доступные для прикосновения людьми органы и системы ГПМ (тросы и др.).

Для предотвращения падения груза при отказе приводных устройств (например, электродвигателей) применяются тормозные механизмы (стопорные, спусковые и др.). Тормозные устройства используются также для предотвращения неконтролируемого перемещения ГПМ, например, по подкрановому рельсовому пути.

Для остановки неконтролируемого движения и их органов в крайних точках (по высоте, длине и др.) применяются концевые выключатели, отключающие энергоисточник при приближении ГПМ к опасной точке.

Широко применяются ограничители грузоподъемности, автоматически отключающие механизм подъема груза, масса которого более предельной на 10 %.

Кроме перечисленных применяются и другие специальные устройства, обеспечивающие безопасную эксплуатацию грузоподъемных машин.

Наряду с предохранительными устройствами применяются также приборы безопасности, сигнализирующие персоналу о наличии или возникновении соответствующей опасности: указатели грузоподъемности, сигнализаторы опасного электрического напряжения вблизи ГПМ, анемометры, предупреждающие об опасной скорости ветра и др.

Все грузоподъемные машины подведомственны органам Ростехнадзора, также как и сосуды, работающие под давлением.

Стационарно установленные на предприятиях ГПМ подлежат регистрации, текущему надзору и техническому освидетельствованию.

Безопасная эксплуатация и техническое освидетельствование грузоподъемных машин регламентируются следующими нормативными документами:

– ПБ 10-382-00 «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов»;

– ПБ 10-518-02 «Правила устройства и безопасной эксплуатации строительных подъемников»;



- ПБ 10-6-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации подъемников»;
- ПБ 10-558-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов»;
- ПОТ РМ 00-98 «Правила по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов» и др.

В соответствии с указанными документами приводится полное или частичное техническое освидетельствование ГПМ.

Полное техническое освидетельствование – внешний осмотр, статическое и динамическое испытания ГПМ под нагрузкой.

Частичное техническое освидетельствование – только внешний осмотр ГПМ.

Полному техническому освидетельствованию подвергаются все ГПМ перед вводом в работу (первичное), а также периодически не реже 1 раза в 3 года.

Частичному техническому освидетельствованию ГПМ подвергаются каждые 12 месяцев.

Отдельно технически освидетельствуются грузозахватные приспособления.

Требования к персоналу, обслуживающему грузоподъемные машины: специальное обучение и аттестация;

наличие удостоверения на право эксплуатации ГПМ.

## **11. Безопасность эксплуатации котельных установок**

### **11.1 Общие сведения о котельных установках**

Котельная установка – комплекс устройств для получения водяного пара под давлением (или горячей воды). Котельная установка (КУ) состоит из следующих основных систем:

- котлоагрегата;
- газо- и воздухопроводов;
- трубопроводов пара и воды;
- арматуры (отключающие, регулирующие, соединительные и т.п. устройства);
- тягодутьевых устройств;
- сооружений водоподготовки и др.

Мощные котельные установки занимают помещения объемом в сотни тысяч м<sup>3</sup> и вырабатывают до 4 тысяч т пара в сутки.

Основным сооружением любой котельной установки является парогенератор – аппарат для производства водяного пара.

Парогенератор, в котором пар получают за счёт тепла сжигаемого органического топлива, называется паровым котлом, а при использовании электрической энергии – электрокотлом.

Паровой котел – устройство, имеющее топку для сжигания углеводородного топлива, предназначенное для получения пара с давлением выше атмосферного.

Современный паровой котел представляет собой агрегат, конструктивно объединяющий в себе комплекс устройств для получения пара под давлением или горячей воды за счёт сжигания топлива. Главной частью такого котлоагрегата является топочная камера с газоходами, в которых размещены поверхности нагрева, воспринимающие тепло продуктов сгорания топлива (пароперегреватель, водяной экономайзер, воздухоподогреватель). Элементы котлоагрегата опираются на каркас и защищены от потерь тепла обмуровкой и теплоизоляцией.

В топочной камере происходит частичное сгорание топлива и частичное охлаждение продуктов сгорания, за счёт нагрева труб, покрывающих стены топочной камеры (топочные экраны), по которым циркулирует вода или пар. На выходе из топки газы имеют температуру  $\sim 1000$  °С и на пути их движения устанавливаются пароперегреватели (трубчатые змеевики). После пароперегревателей температура газов составляет  $700 \dots 600$  °С и далее тепло от них отбирается в водяном экономайзере и воздухоподогревателе. Температура газов, после рассмотренных устройств снижается до  $170 \dots 130$  °С. Дальнейшее снижение температуры отходящих газов путём полезного использования их тепла препятствует конденсации паров воды и серной кислоты на рабочих поверхностях, приводящих к осаждению на них золы и коррозии.

Охлаждённые газы через систему золоулавливания и сероочистки выбрасываются из дымовой трубы в атмосферу. Твёрдые продукты сгорания топлива периодически или непрерывно удаляются из котлоагрегата и направляются в золошламонакопители.

Котлоагрегат, например, для энергоблока мощностью 300 МВт представляет собой постройка высотой  $> 50$  м и в плане занимает площадь  $\sim 1000$  м<sup>2</sup>. На сооружение такого агрегата, расходуется  $\sim 4500$  т металла, из которых  $\sim 33$  % приходится на трубные системы, работающие под давлением  $> 2,5$  МПа.

В качестве топлива в котлоагрегатах используются: природный газ; мазут; каменный уголь; горючие сланцы; торф.

## **11.2 Основные опасности, возникающие при эксплуатации котельных установок**

Котельные установки относятся к опасным производственным объектам т.к. при их эксплуатации возможна реализация следующих потенциальных опасностей (основных):

неконтролируемые взрывы газоздушных и аэрозольных горючих систем;

физические взрывы систем, работающих под давлением;

разрушение трубопроводов с паром и горячей водой за счёт температурных градиентов, обусловленных отложением солей жёсткости (накипи) из нагреваемой воды на нагретых поверхностях;

генерирование вибрации и шума за счёт работы дробильных, размольных и транспортных агрегатов, а также тягодутьевых устройств;

опасность термических ожогов при контакте работающих с нагретыми поверхностями и паром;

загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы газообразными, аэрозольными, жидкими и твердыми отходами;

загрязнение окружающей природной среды неиспользованной теплотой отходящих газов, охлаждающей воды и твердофазных отходов.

### **11.3 Основные способы обеспечения безопасной эксплуатации котельных установок**

С целью безопасной эксплуатации котельных установок применяется следующая арматура безопасности:

манометры, для контроля давления среды (воды, пара и др.);

предохранительные устройства для сброса избыточного давления рабочей среды (разрывные мембраны, предохранительные клапаны, и др.);

парозапорные вентили для отключения КУ от паровой магистрали;

водозапорные вентили (задвижки) для впуска воды в КУ и регулирование её количества;

обратный питательный клапан, предотвращающий пропуск воды из КУ обратно в питательную магистраль при аварии на питательном трубопроводе;

воздушные клапаны для удаления из КУ воздуха и др. газов.

Вся арматура должна иметь сертификаты (паспорта), где отражаются параметры эксплуатации, схемы включения в технологическую систему и др. сведения.

Соединения трубопроводов котельных установок выполняются фланцевыми или сварными.

Котельные установки оборудуются также необходимой гарнитурой безопасности:

заслонки и шиберы для регулирования тяги и дутья;

лазы в обмуровке для осмотра топочной камеры, газоходов и др. поверхностей нагрева и футеровки;

предохранительные взрывные клапаны для защиты обмуровки и каркаса КУ от разрушений при взрывах горючей смеси в топке и газоходах;

затворы на шлаковых и золовых бункерах для удаления шлака и золы из топки, газоходов и др. мест.

В целях предупреждения взрывов автоматически контролируется температура топочных газов, пара и воды, причём системы контроля блокируются с питательными системами (по топливу и воде), которые отключаются при превышении критических величин температур.

Для обеспечения безопасности процесса розжига КУ предусматриваются автоматические системы контроля и регулирования подачи горючего на запальник и в топку.

Особое значение для безопасной эксплуатации КУ являются, умягчение питательной воды с целью предупреждения образования накипи на нагретых поверхностях. При умягчении (обессоливании) воды из неё удаляют соли жесткости ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ;  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ;  $\text{CaSO}_4$ ;  $\text{MgSO}_4$ ;  $\text{MgCl}_2$ ) обеспечивающие карбонатную и некарбонатную жёсткость воды.

Умягчение питательной воды производится при помощи ионообменных смол (катиониты и аниониты), а также реагентными методами (обработка кислотами с выпадением солей жёсткости в осадок).

Проектирование, эксплуатация, содержание и т.п. котельных установок подведомственны органам Ростехнадзора (котлонадзор).

Безопасная эксплуатация котельных установок регламентируется рядом нормативных документов:

ПБ 10-574--03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов»;

ПБ 10-575-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации электрических котлов и электродкотельных»;

ПБ 10-573-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды»;

ПБ 03-576-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» и др.

## **12. Безопасность эксплуатации газового хозяйства предприятия**

### **12.1 Назначение и общая характеристика газового хозяйства**

Газовое хозяйство предприятия предназначено для обеспечения топливом котельных установок в целях отопления помещений и получения электроэнергии на тепловых электростанциях.

В качестве топлива могут использоваться природные газы газовых и нефтяных месторождений и сжиженные углеводородные газы (СУГ).

Газопроводы систем газоснабжения в зависимости от давления транспортируемого газа подразделяются на:

- газопроводы высокого давления 1-ой категории (0,6-1,2 МПа для природного газа; 0,6-1,6 МПа для СУГ);
- газопроводы высокого давления 2-ой категории (0,3-0,6 МПа);
- газопроводы среднего давления (0,005-0,3 МПа);
- газопроводы низкого давления ( $\leq 0,005$  МПа).

Газопроводы на территории промышленного предприятия прокладываются, как правило, надземно. Подземная прокладка газопроводов должна быть обоснована с учётом коррозионной активности грунта, наличия блуждающих токов и др. факторов. Ввод газопроводов в здание должен производиться непосредственно в помещение, где находятся агрегаты, потребляющие газ, или ли в смежное с ним помещение при условии соединения этих пространств открытым проёмом. Вводы не должны проходить через фундаменты и под ними, через подвалы, вентиляционные камеры, трансформаторные подстанции, складские помещения, помещения, имеющие категории А и Б по пожаровзрывоопасности.

В системах газоснабжения для снижения давления газа устраиваются газорегуляторные пункты (установки) (ГРП, ГРУ). На газопроводах перед вводом в здание и газорегуляторным пунктом (ГРП) устанавливаются отключающие устройства (задвижки, вентили и т.п.). Газорегуляторные пункты оснащаются средствами автоматического контроля и регулирования расхода, температуры,

давления и др. параметров, обеспечения бесперебойного газоснабжения производственных объектов.

### **12.2 Опасности, возникающие при эксплуатации газового хозяйства**

Обращающиеся в системе газового хозяйства предприятия вещества являются токсичными и пожаровзрывоопасными. Природный газ представляет собой смесь различных веществ (метан, диоксид углерода, азот, сероводород и др.), сжиженные углеводородные газы чаще всего представлены пропаном. В природном газе всех месторождений России превалирует метан (~ 90 % об.). Функциональное токсическое действие на организм человека основных компонентов природного и сжиженного углеводородного газов заключается в угнетении функций центральной нервной системы.

Особая опасность природного и сжиженного углеводородного газов заключается в их горючих свойствах, т.к. их смеси с воздухом легко взрываются при наличии импульса воспламенения. Взрывы таких смесей в помещениях могут создавать избыточное давление воздуха значительно более 5 кПа, что приводит к разрушениям оборудования, зданий, а также человеческим жертвам.

При эксплуатации газового хозяйства возможны также и физические взрывы за счёт повышенного давления транспортируемых по газопроводам веществ.

### **12.3 Основные способы безопасной эксплуатации газового хозяйства предприятий**

Поскольку описанные выше опасные вещества содержатся в трубопроводах, оборудовании, приборах и т. п. газового хозяйства, необходимо обеспечить их герметизацию. Наиболее предпочтительным способом герметизации в этом случае являются неразъёмные соединения элементов трубопроводов и оборудования путём сварки. При использовании разъёмных соединений предпочтение следует отдавать фланцевым соединениям. Для защиты оборудования газового хозяйства, расположенного на открытом воздухе или под землёй, от коррозии применяются специальные покрытия (краски, мастики и т.п.).

На случай аварийной ситуации в газовом хозяйстве, например, разгерметизация газового отопительного прибора, на питательных газопроводах устанавливаются быстродействующие отсечные клапаны, отключающие поток топлива за время не превышающее 3 с. Отсечные клапаны устанавливаются после запорного устройства (на входе газопровода в систему) перед газораспределительным пунктом и на отводах газопровода к потребителям после ГРП.

Для предотвращения физических взрывов, инициируемых высоким давлением газа, в газораспределительном пункте устанавливается 2 и более предохранительных сбросных клапана (ПСК). Сбросные трубопроводы от ПСК выводятся наружу на высоту не менее 2 м от конька крыши здания и не менее 5 м от поверхности земли.

На газопроводах перед каждым потребителем последовательно устанавливаются 2 запорных устройства, а между ними – продувочный трубопровод (свеча безопасности).

В целях предупреждения проявления импульсов воспламенения всё электрооборудование газорегуляторных устройств, газораспределительных пунктов, средств автоматического контроля и регулирования параметров изготавливается во взрывобезопасном исполнении.

### **13. Электробезопасность**

Электричество широко применяется во всех сферах деятельности человека (промышленной, сельскохозяйственной, бытовой, медицинской и др.). Оказывая человечеству неоценимую помощь в его прогрессивном развитии, электричество в определённых ситуациях является опасным для человека фактором. Поэтому в практической жизни человека большое внимание уделяется вопросам электробезопасности.

Электробезопасность – система организационных, инженерно-технических, правовых и др. мероприятий, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля, статического и атмосферного электричества.

#### **13.1 Действие электрического тока на организм человека**

Включаясь в электрическую цепь постоянного или переменного тока, человек подвергается как местному, так и общему его действию.

Местное действие электрического тока приводит к поражению чаще всего кожного покрова, а иногда мышечных тканей, сухожилий и костей. Поскольку указанные поражения происходят за короткий промежуток времени, результат такого действия называется электротравмой.

Различают следующие виды электротравм: электрические ожоги; электрические знаки; электрометаллизация кожного покрова; электроофтальмия; механические повреждения.

Электрический ожог – самая распространённая электротравма (~ 60...65 % пострадавших). Ожоги бывают двух видов: токовый (или контактный) и дуговой.

Токовый ожог обусловлен прохождением тока через тело человека в результате контакта с токоведущей частью электрооборудования и является следствием преобразования электрической энергии в тепловую. Поскольку кожный покров человека обладает во много раз большим сопротивлением, чем другие ткани тела, то в ней выделяется большая часть теплоты. Различают четыре степени ожогов: I – покраснение кожи; II – образование пузырей, наполненных лимфой; III – омертвление всей толщи кожного покрова; IV – обугливание тканей. Тяжесть поражения человека обуславливается как степенью ожога, так и площадью обожжённой поверхности тела. Токовые ожоги возникают при действующих напряжениях 1...2 кВ и чаще всего являются ожогами I и II степени; иногда бывают и более тяжёлые случаи.

Дуговой ожог возникает при более высоких действующих напряжениях (> 2 кВ), когда между токоведущей частью электрооборудования и телом человека образуется электрическая дуга (температура дуги выше 3500 °С). Дуговые ожоги, как правило, тяжёлые – III или IV степени.

Электрические знаки – чётко очерченные пятна серого или бледно-жёлтого цвета на поверхности кожного покрова человека, подвергнувшейся воздействию тока. Электрические знаки бывают в виде царапин, ран, порезов, ушибов, кровоизлияний в кожный покров, мозолистых образований, бородавок. Иногда форма знака соответствует форме токоведущей части, к которой прикоснулся пострадавший, а также может напоминать фигуру молнии. Поражённый участок кожи затвердевает подобно мозоли и впоследствии отмирает. В большинстве случаев электрические знаки безболезненны и их лечение заканчивается благополучно: с течением времени верхний слой кожи сходит и пораженное место приобретает первоначальный цвет, эластичность и чувствительность. Электрические знаки возникают довольно часто, примерно у каждого пятого пострадавшего от действия электрического тока.

Электрометаллизация кожного покрова – проникновение в его верхние слои (на глубину в доли мм) мельчайших частичек металла, расплавившегося под действием электрической дуги. Это может произойти при коротких замыканиях, отключении рубильников под нагрузкой и в др. случаях. В месте поражения кожный покров становится шероховатым и жёстким, пострадавший в месте поражения испытывает напряжение кожного покрова от присутствия в нём инородного тела и боль от ожога за счёт теплоты занесённого в кожу металла. С течением времени поражённый участок отторгается и приобретает нормальный вид, болезненность исчезает (электрометаллизация кожи наблюдается у 10 % пострадавших).

Электроофтальмия – воспаление наружных оболочек глаз, возникающее в результате воздействия мощного потока ультрафиолетовых лучей, которые энергично поглощаются клетками организма и вызывают в них химические изменения. Такое облучение возможно при наличии электрической дуги, например, возникшей при коротком замыкании, которая является мощным источником в т.ч. ультрафиолетового и инфракрасного электромагнитных излучений.

Механические повреждения – возникают в результате резких произвольных судорожных сокращений мышц под действием тока, проходящего через тело человека. В результате могут произойти разрывы кожного покрова, кровеносных сосудов нервных волокон, а также вывихи суставов и переломы костей. К этому виду травм следует также отнести ушибы, переломы, вызванные падением человека с высоты, ударами о предметы в результате произвольных движений или потери сознания при воздействии электрического тока. Механические повреждения являются зачастую серьёзными травмами, требующими длительного лечения.

Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает не него также общее, имеющее сложный характер. Общее действие имеет 3 основных направления: тепловое, электролитическое и биологическое. Поскольку результат общего действия электрического тока (вплоть до смертельного исхода) проявляется за короткий промежуток времени (доли с), его называют электрическим ударом.

Тепловое действие выражается в нагревании отдельных участков тела и всего организма до температур выше соответствующего значения «физиологи-

ческого нуля», т.е. постоянной температуры, обусловленной процессами терморегуляции человека. Нарушение процессов терморегуляции организма негативно отражается на обмене веществ, состоянии центральной нервной системы и др. жизненно важных систем и органов человека.

Электролитическое действие выражается в появлении в организме человека несвойственных ему химических веществ за счёт электрохимических реакций, протекающих в водных растворах веществ, содержащихся в желудочно-кишечном тракте, в кровеносной, лимфатической и др. системах (соли, щёлочи, кислоты и др. вещества). При этом непосредственно в тканях организма часто образуются токсические вещества и радикалы (NaOH, Cl<sub>2</sub> и др.), т.е. происходит интоксикация организма. Рассмотренные процессы возможны потому, что в организме человека, состоящем на 70-80 % из воды, большинство растворённых в ней веществ находятся в диссоциированном состоянии, т.е. в виде положительно и отрицательно заряженных ионов. Последние под действием разности потенциалов (напряжения) электрического (электромагнитного) поля направленно перемещаются в организме человека, вызывая описанные выше явления.

Биологическое действие проявляется в том, что под действием электрического, магнитного и электромагнитного полей, обусловленных протеканием через человека электрического тока, происходит искажение характера и структуры биополя человека, которое имеет электромагнитную природу. В результате описанного явления управляющие функции биополя искажаются и отдельными органами и системами может «управлять» внешнее электромагнитное поле, обусловленное протеканием электрического тока через человека за счёт внешней электрической цепи. Биологическое действие электрического тока проявляется в виде раздражения и возбуждения живых тканей организма, что сопровождается произвольными судорожными сокращениями мышц, в том числе мышц грудной клетки и сердечной мышцы. Результатом описанных процессов могут быть паралич мышц грудной клетки с остановкой дыхания и фибрилляция (вплоть до полной остановки) сердца. Наиболее частым явлением в производственных условиях является произвольное удерживание пострадавшим руками проводника с переменным электрическим током промышленной частоты, если, например, величина тока протекающего через человека превышает 10 мА. При этом человек самостоятельно отделиться от этого проводника не может.

В зависимости от исхода общего действия электрического тока на человека электроудары условно делятся на IV группы (степени):

I – судорожное сокращение мышц без потери сознания;

II – судорожное сокращение мышц, потеря сознания, но сохранение дыхания и работы сердца;

III – потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе);

IV – клиническая смерть, т.е. отсутствие дыхания и кровообращения.

Причинами смерти в результате поражения электрическим током могут быть: прекращение работы сердца, прекращения дыхания и электрический шок.



Прекращение работы сердца, как следствие воздействия электрического тока на мышцу сердца, наиболее опасны. Это воздействие может быть прямым, когда ток протекает через область сердца, или рефлекторным, когда ток проходит через центральную нервную систему. В обоих случаях может произойти остановка сердца или наступить его фибрилляция (беспорядочное сокращение мышечных волокон сердца – фибрилл), что приводит к прекращению кровообращения.

Прекращение дыхания может быть вызвано прямым или рефлекторным воздействием электрического тока на мышцы грудной клетки, участвующим в процессе дыхания. При длительном воздействии тока наступает, так называемая асфиксия (удушье) – болезненное состояние в результате недостатка кислорода и избытка  $\text{CO}_2$  в организме. При асфиксии последовательно утрачивается сознание, чувствительность, рефлексы, затем прекращается дыхание и в конечном итоге останавливается сердце – наступает клиническая смерть.

Электрический шок – тяжёлая своеобразная нервно-рефлекторная реакция организма на сильное раздражение электрическим током, сопровождающаяся глубокими расстройствами кровообращения, дыхания, обмена веществ. Шоковое состояние длится от нескольких десятков минут до суток. После этого может наступить полное выздоровление как результат своевременного медицинского вмешательства, или гибель организма из-за полного угасания его жизненно важных функций.

Клиническая смерть – переходный период от жизни к смерти (летальный исход), наступающий с момента прекращения деятельности сердца и лёгких.

У человека, находящегося в состоянии клинической смерти, отсутствуют все признаки жизни: он не дышит, его сердце не работает, болевые раздражения не вызывают никаких реакций, зрачки глаз расширены и не реагируют на свет. Однако в этот период жизнь в организме не прекращается, ибо ткани его умирают не сразу и не сразу прекращаются функции различных органов. При этом почти во всех тканях организма протекают обменные процессы, хотя и на очень низком уровне, но достаточные для поддержания минимальной жизнедеятельности. Это обстоятельство может быть использовано для возвращения человека к жизни, если воздействовать на более стойкие жизненные функции.

При клинической смерти первыми начинают погибать очень чувствительные к кислородному голоданию клетки коры головного мозга, с деятельностью которых связаны сознание и мышление. Поэтому на длительность клинической смерти большое влияние оказывает временной интервал «момент прекращения сердечной деятельности и дыхания – начало гибели клеток коры головного мозга», который в большинстве случаев составляет 4...5 мин, а при гибели здорового человека от случайной причины (например, от воздействия электрического тока) – 7...8 мин. Если клиническая смерть наступила от тяжёлой и продолжительной болезни, когда организм исчерпал значительную часть сил, клиническая смерть может длиться всего несколько секунд.

Биологическая смерть (летальный исход) – необратимое явление, характеризующееся прекращением биологических процессов в клетках и тканях ор-

ганизма и распадом белковых структур; она наступает по истечении периода клинической смерти.

### **13.1.1 Факторы, определяющие опасность поражения электрическим током**

Характер и последствия воздействия на человека электрического тока зависят от следующих факторов:

- электрического сопротивления тела человека;
- величины действующего на человека напряжения и силы тока;
- продолжительности воздействия электрического тока;
- рода и частоты электрического тока;
- пути тока через человека;
- условия внешней среды и факторы трудового процесса.

Электрическое сопротивление тела человека. Тело человека является проводником электрического тока, неоднородным по электрическому сопротивлению. Наибольшее сопротивление электрическому току оказывает кожный покров, поэтому сопротивление тела человека определяется главным образом состоянием кожного покрова.

Кожный покров состоит из двух основных слоёв: наружного – эпидермиса и внутреннего – дермы. Эпидермис также имеет слоистую структуру, в которой самый верхний слой называется роговым. Роговой слой в сухом и незагрязнённом состоянии можно рассматривать как диэлектрик – его удельное электрическое сопротивление достигает  $10^5 \dots 10^6$  Ом·м, т.е. в тысячи раз превышает сопротивление других слоев кожного покрова и внутренних тканей организма. Сопротивление внутреннего слоя кожного покрова (дермы) незначительно; оно во много раз меньше сопротивления рогового слоя. Сопротивление тела человека при сухом, чистом и неповреждённом кожном покрове колеблется от 3 до 100 кОм и более, а сопротивление внутренних органов составляет всего 300...500 Ом.

В качестве расчётной величины при действии переменного тока промышленной частоты (50 Гц) применяют активное сопротивление тела человека равное 1000 Ом. В действительных условиях сопротивление тела человека не является постоянной величиной. Оно зависит от ряда факторов, в том числе: от состояния кожного покрова и окружающей среды; параметров электрической цепи.

Повреждение рогового слоя кожного покрова (порезы, царапины, ссадины и т.п.) снижают сопротивление тела до 500...700 Ом, что увеличивает опасность поражения электрическим током. Такое же влияние оказывают: увлажнение кожного покрова (например, потом); загрязнение вредными веществами (например, пыль, окалина и т.п. вещества).

На сопротивление тела человека оказывает влияние площадь контакта с источником тока, чем она больше, тем меньше сопротивление. До десятков и даже единиц Ом может уменьшаться сопротивление кожного покрова в местах расположения акупунктурных точек на теле человека.

Величина тока и напряжения. Основным фактором, обуславливающим исход поражения электрическим током, является сила тока, проходящего через тело человека. Напряжение, приложенное к телу человека, также влияет на исход поражения, но лишь постольку, поскольку оно определяет величину тока, проходящего через человека.

В практике электротравматизма принято выделять следующие пороги действия электрического тока:

- пороговый электрический ток – величина тока, вызывающая в организме человека едва ощутимые раздражения (небольшое повышение температуры в зоне контакта источником электроэнергии, неумное дрожание пальцев рук, повышенное потоотделение и т.п. факторы). Эти ощущения вызывает сила тока: 0,6-1,5 мА (для переменного тока частотой 50 Гц); 5-7 мА (для постоянного тока);

- неотпускающий ток, – величина электрического тока, вызывающая непреодолимые судорожные сокращения мышц рук, в которых зажат проводник. Величина неотпускающего тока при времени действия 1-3 с составляет 10-15 мА для переменного и 50-60 мА для постоянного токов. При такой силе тока человек уже не может самостоятельно разжать руки, в которых зажаты токоведущие части электрооборудования;

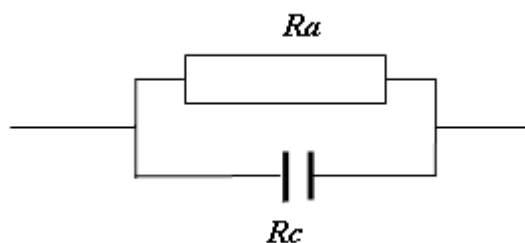
- фибрилляционный (смертельный) ток – величина электрического тока, вызывающая фибрилляцию сердца (разновременное и разрозненное сокращение отдельных волокон сердечной мышцы, неспособное поддерживать её самостоятельную работу). При длительности действия 1-3 с по пути рука-рука, рука-ноги величина этого тока составляет ~ 100 мА для переменного и ~ 500 мА для постоянного тока. В то же время сила тока величиной 5 А и более фибрилляцию сердечной мышцы не вызывает – происходит мгновенная остановка сердца и паралич мышц грудной клетки.

Сила пороговых токов считается длительно безопасной величиной для человека.

Безопасных напряжений среди тех величин, которые используются в практической деятельности человека, не существует, поскольку сила тока при любом малом из указанных напряжений может превысить силу пороговых токов при аномально малых сопротивлениях тела человека. Например, контакт полюсов гальванического элемента ( $U = 1,5 \text{ В}$ ) с акупунктурными точками человека ( $R \sim 10 \text{ Ом}$ ) может вызвать протекание постоянного электрического тока между ними силой 1,5 А, что даже при кратковременном действии превышает смертельную величину в 3 раза.

Продолжительность воздействия электрического тока. С повышением времени протекания тока через человека повышается вероятность прохождения его через сердце в момент наиболее уязвимой для всего кардиоцикла фазы Т (окончание сокращения желудочков и перехода их в расслабленное состояние ~ 0,2 с). Кроме того, с увеличением времени протекания электрического тока через человека усугубляются все негативные явления, как местного, так и общего действия.

Род тока и частота переменного электрического тока. Постоянный ток примерно в 4...5 раз безопаснее переменного промышленной частоты (50 Гц). Объяснить этот факт можно сложной структурой сопротивления тела человека. Сопротивление человеческого тела включает в себя активную (омическую) и ёмкостную составляющие, причём последняя возникает при включении человека в электрическую цепь (Рис. 1).



*Рис. 1. Упрощённая электрическая схема замещения сопротивления тела человека*

$R_a$  – активная (омическая) составляющая;  $R_c$  – ёмкостная составляющая

Наличие ёмкостной составляющей обусловлено тем, что между электродом, касающимся тела человека (корпус электрооборудования, провода электросети и т.п.), и землёй (пол, площадка для обслуживания оборудования и т.п.), на которой стоит человек, расположен роговой слой кожного покрова – практически диэлектрик, что образует конденсаторную систему (электрическую ёмкость). Если через человека протекает постоянный ток, то он воздействует только на активную составляющую общего сопротивления ( $R_a$ ), так как электрическая ёмкость для постоянного тока является разрывом цепи. Переменный ток протекает и через активную и через ёмкостную составляющие общего сопротивления человека ( $R_a$  и  $R_c$ ), что, при прочих равных условиях, приводит к большему отрицательному воздействию на организм.

С повышением частоты переменного тока (относительно 50 Гц) его общее негативное действие снижается, сравниваясь на частоте  $\sim 1000$  Гц с действием постоянного тока. На частоте  $\sim 50$  Гц и выше переменный ток общего действия на человека практически не оказывает. Это явление можно объяснить тем, что наибольшая плотность зарядов (ионов, электронов) в плоскости поперечного сечения проводника при протекании переменного тока высокой частоты наблюдается на периферии этого сечения; если в качестве проводника рассматривать человека, то на периферии поперечного сечения туловища и конечностей мы увидим кожный покров, обладающий сопротивлением, близким к таковому у диэлектриков. Местное действие переменного тока высокой частоты при этом сохраняется.

Это положение справедливо лишь до напряжений 250...300 В. При более высоких напряжениях постоянный ток более опасен, чем переменный с частотой 50 Гц.

Путь тока через тело человека играет существенную роль в исходе поражения, т.к. электрический ток может пройти через жизненно важные органы: сердце, лёгкие, головной мозг и др. Влияние пути тока на исход поражения оп-

ределяется также величиной сопротивления кожного покрова человека на различных участках его тела.

Количество возможных путей тока через тело человека, называемых петлями тока, достаточно много. Чаще всего встречаются ток протекает по петлям: рука-рука; рука-ноги; нога-нога; голова-руки; голова-ноги. Наиболее опасными являются петли: голова-руки и голова-ноги, но они возникают относительно редко.

Условия внешней среды и факторы трудового процесса оказывают существенное влияние на величину сопротивления кожного покрова и в целом тела человека. Так, например, повышенная температура ( $\sim 30^{\circ}\text{C}$  и выше) и относительная влажность воздуха ( $\sim 70\%$  и выше) способствуют повышенному потоотделению, а, следовательно, резко уменьшению активного сопротивления тела человека. Интенсивная физическая работа приводит к аналогичному результату.

### **13.2 Анализ условий поражения человека электрическим током в трехфазных сетях переменного тока**

Поражение человека электрическим током возможно лишь при замыкании электрической цепи через его тело, т.е. при прикосновении не менее чем к двум точкам электрической цепи, между которыми существует разность потенциалов (напряжение).

Напряжение между двумя точками цепи тока, к которым одновременно прикасается человек, называется напряжением прикосновения.

Опасность такого прикосновения определяется силой тока, проходящего через тело человека, которая зависит от следующих факторов:

- схемы замыкания цепи тока через тело человека;
- напряжения электрической сети;
- схемы сети, режима работы её нейтрали (заземлена или изолирована);
- сопротивления изоляции токоведущих частей относительно земли;
- величины ёмкости токоведущих частей относительно земли.

#### **13.2.1 Характеристика основных систем «электроустановка – трёхфазная электрическая сеть переменного тока», использующихся в производственных условиях**

Электроустановка – совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования её в другие виды энергии.

Наибольшее распространение на производстве получили системы, в которых в качестве источника энергопитания используются трёхфазные электрические сети переменного тока (далее электросети) с изолированной и заземлённой нейтралью. В соответствии с требованиями, изложенными в «Правилах

устройства электроустановок» (ПУЭ), для таких систем напряжением до 1 кВ приняты следующие обозначения:

система IT – система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены (рис. 2а);

система TN – система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников (рис. 2б,в,г);

система TN-C – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении (рис. 2б);

система TN-S – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении (рис. 2в);

система TN-C-S – система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания (рис. 2г);

система TT – система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника (рис. 2д).

Первая буква условного обозначения системы характеризует состояние нейтрали источника питания относительно земли:

T – заземленная нейтраль;

I – изолированная нейтраль.

Вторая буква условного обозначения системы характеризует состояние открытых проводящих частей относительно земли:

– T – открытые проводящие части заземлены, независимо от отношения к земле нейтрали источника питания или какой-либо точки питающей сети;


– N – открытые проводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания.


Последующие (только после N) буквы характеризуют совмещение в одном проводнике или разделение функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:


– S – нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE) проводники разделены;

– C – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (PEN-проводник).

Условные обозначения на схемах (рис. 2):

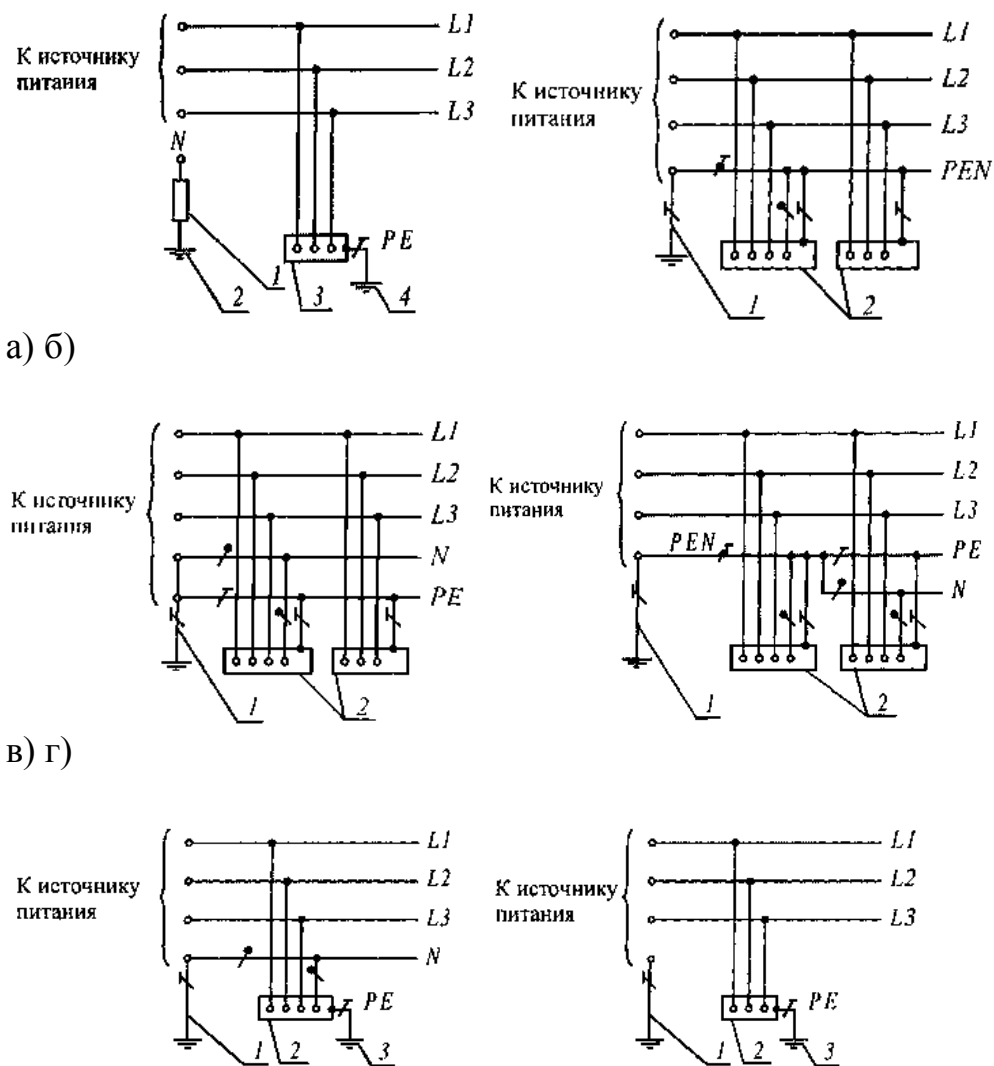
– N -  – нулевой рабочий (нейтральный) проводник;

– PE -  – защитный проводник (заземляющий проводник, нулевой защитный проводник, защитный проводник системы уравнивания потенциалов);

– PEN -  – совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводники.

Глухозаземлённая нейтраль источника энергопитания – нейтраль трансформатора или генератора, присоединённая непосредственно к заземляющему устройству.

Изолированная нейтраль источника энергопитания – нейтраль трансформатора или генератора, неприсоединённая к заземляющему устройству или присоединённая к нему через большое сопротивление приборов сигнализации, измерения, защиты и других аналогичных им устройств.



а) б)

в) г)

д)

Рис. 2. Трёхфазные электрические системы переменного тока с изолированной и заземлённой нейтралью энергоисточника напряжением до 1 кВ

а) – система IT; б) – система TN-C; в) – система TN-S; г) – система TN-C-S; д) – варианты системы TT.

1 – заземлитель нейтрали энергоисточника; 1а – сопротивление заземления нейтрали источника питания (если имеется, например, через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление); 2 – открытые проводящие части электроустановки; 3 – заземлитель открытых проводящих частей электроустановки

### 13.2.2 Основные схемы включения человека в электрическую цепь

Трёхфазная трёхпроводная электрическая сеть переменного тока с изолированной нейтралью (в системе IT).

Двухфазное прикосновение к токоведущим частям (рис. 3).

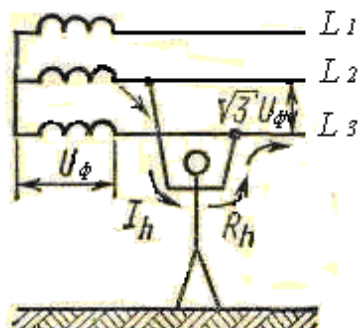


Рис. 3. Двухфазное (двухполюсное) прикосновение к токоведущим частям в системе IT

$U_\phi$  – фазное напряжение;  $I_h$  – сила тока, протекающего через человека;

$R_h$  – сопротивление человека;  $L_1, L_2, L_3$  – фазные проводники.

Сила тока ( $I_h$ , А), протекающего через человека, определяется по формуле

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h} = \frac{\sqrt{3}U_\phi}{R_h}, \quad (16)$$

где  $U_\phi$  – фазное напряжение, В;

$U_\phi$  – фазное напряжение, В;

$R_h$  – сопротивление человека, Ом.

Например, в электросети с линейным напряжением 380 В ( $U_\phi = 220$  В) при сопротивлении тела человека 1000 Ом сила тока, протекающего через человека, составляет:

$$I_h = \sqrt{3} \cdot 220 / 1000 = 1,73 \cdot 220 / 1000 = 0,38 \text{ А}$$

Эта сила тока смертельно опасна для человека.

При двухфазном прикосновении ток, проходящий через человека, практически не зависит от режима работы нейтрали. Опасность прикосновения не уменьшится и в том случае, если человек будет надёжно изолирован от земли.

Однофазное прикосновение (рис.4.) происходит во много раз чаще, чем двухфазное, но оно менее опасно, поскольку напряжение, под которым оказывается человек, не превышает фазного, т.е. меньше линейного в 1,73 раза и, кроме того, ток, протекающий через человека, возвращается к источнику (электросети) через изоляцию проводов, которая в исправном состоянии обладает большим сопротивлением.



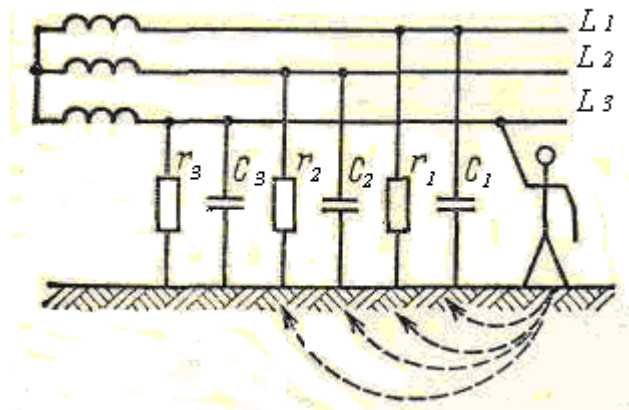


Рис.4. Однофазное (однополюсное) прикосновение к токоведущим частям в системе IT

$r_1, r_2, r_3$  – сопротивление изоляции проводов электросети;  $c_1, c_2, c_3$  – ёмкость проводов электросети

Сила тока ( $I_h$ , А), протекающего через человека, для этого случая определяется по формуле

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_n + Z/3}, \quad (17)$$

где  $R_n$  – переходное сопротивление, Ом (сопротивление пола, на котором стоит человек и обуви);  $Z$  – сопротивление изоляции фазного провода относительно земли, Ом (активная и емкостная составляющие).

В наиболее неблагоприятной ситуации, когда человек имеет токопроводящую обувь и стоит на токопроводящем полу ( $R_n \sim 0$ ), сила тока, протекающего через тело, определяется по формуле

если  $U_\phi = 220$  В,  $R_h = 1$  кОм,  $Z = 90$  кОм, то  $I_h = 220 / (1000 + (90000 / 3)) = 0,007$  А (7 мА).

Трёхфазная четырёхпроводная электрическая сеть переменного тока с заземлённой нейтралью (в системе TN).

Однофазное прикосновение к токоведущим частям.

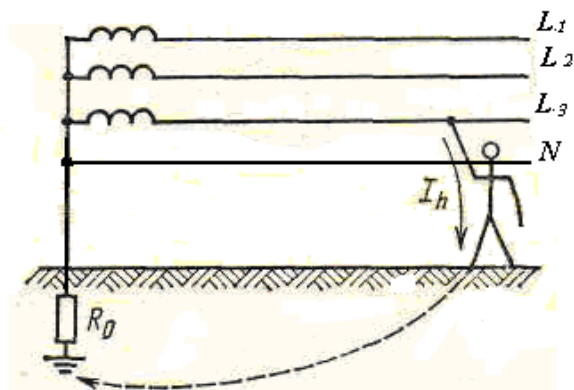


Рис.5. Однофазное (однополюсное) прикосновение к токоведущим частям в системе TN

$R_0$  – сопротивление заземления нейтрали электросети

В четырёхпроводной электрической сети переменного тока с глухозаземлённой нейтралью (система TN) ток, проходящий через человека, возвращается к источнику (электросети) не через изоляцию проводов, как в предыдущем случае, а через сопротивление заземления нейтрали ( $R_0$ ) источника тока (рис. 5). Сила тока, проходящего через тело человека, определяется при этом по формуле:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_n + R_0}, \quad (19)$$

где  $R_0$  – сопротивление заземления нейтрали источника тока, Ом.

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединена нейтраль источника тока, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В. Это сопротивление должно быть обеспечено с учётом использования естественных заземлителей, а также заземлителей повторных заземлений PEN- или PE-проводника воздушных линий электропередач (ВЛ) напряжением до 1 кВ. Сопротивление заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали источника тока, должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при тех же линейных напряжениях 660, 380 и 220 В.

Пример. В наиболее неблагоприятной ситуации, рассмотренной выше, при  $U_\phi = 220$  В,  $R_h = 1000$  Ом,  $R_n \sim 0$  Ом  $R_0 = 30$  Ом сила тока, протекающего через тело человека, составит:

$I_h = 220 / (1000 + 30) = 0,214$  А (214 мА), что смертельно опасно для человека.

Если обувь не токопроводящая (например, резиновые галоши с сопротивлением 45 кОм) и человек стоит на не токопроводящем полу (например, деревянный пол с сопротивлением 100 кОм), т.е.  $R_n = 145$  кОм, то сила тока, протекающего через тело человека, составит:

$I_h = 220 / (1000 + 60 + 145000) = 0,0015$  А (1,5 мА), что опасности для человека не представляет.

Таким образом, при прочих равных условиях прикосновение человека к одному фазному проводу электросети с изолированной нейтралью менее опасно, чем в электросети с заземлённой нейтралью.

Рассмотренные выше схемы включения человека в электрическую цепь трёхфазного переменного тока справедливы для нормальных (безаварийных) условий работы электрических сетей.

В аварийном режиме работы трёхфазной электрической сети переменного тока один из фазных проводов, например, электросети с заземлённой нейтралью (в системе TN) может быть замкнут на землю (при срабатывании системы защитного заземления, падении фазного провода на землю и т.п.) через сопротивление  $R_{зм}$  (рис. 6).

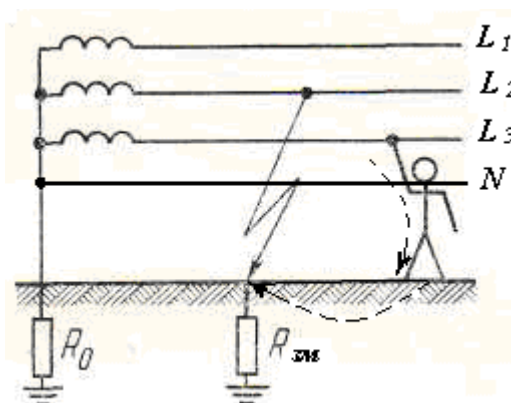


Рис. 6. Однофазное (однополюсное) прикосновение к токоведущим частям в аварийном режиме работы электросети.

$R_{зм}$  – сопротивление замыкания фазного провода ( $L_2$ ) на землю

Сила тока, проходящего через тело человека, касающегося в этой ситуации одного из исправных фазных проводов ( $L_1$ ,  $L_3$ ), определяется из уравнения

$$I_h = \frac{U_\phi (R_{зм} + \sqrt{3}R_0)}{R_{зм} \cdot R_0 + R_h (R_{зм} + R_0)}, \quad (20)$$

где  $R_{зм}$  – сопротивление замыкания фазного провода на землю, Ом.

Если при этом  $R_{зм} \sim 0$  или намного меньше  $R_0$  и  $R_h$ , то им можно пренебречь, тогда сила тока, проходящего через тело человека, будет определяться по формуле

$$I_h = \frac{\sqrt{3}U_\phi}{R_h}, \quad (21)$$

т. е. человек будет включаться в электрическую цепь двухфазно, причём вторая фаза подключается к нему через ноги и на величину  $I_h$  будет оказывать существенное влияние переходное сопротивление  $R_{пт}$ .

При напряжениях до 1000 В в производственных условиях широкое распространение получили обе рассмотренные выше схемы трехфазных электри-

ческих сетей переменного тока: трёхпроводная с изолированной нейтралью (система IT) и четырёхпроводная с заземлённой нейтралью (система TN).

Электрическую сеть с изолированной нейтралью целесообразно применять в тех случаях, когда имеется возможность поддерживать высокий уровень сопротивления изоляции фазных проводов и незначительную ёмкость последних относительно земли. Такими являются электрические сети малоразветвлённые, не подверженные воздействию агрессивной среды и находящиеся под постоянным надзором квалифицированного персонала. Так, например, в угольных шахтах используются только электросети с изолированной нейтралью.

Электрическую сеть с заземлённой нейтралью следует применять там, где невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов (например, из-за высокой влажности или агрессивной среды), когда нельзя быстро отыскать или устранить повреждение изоляции, либо когда ёмкостные токи электросети вследствие значительной её разветвлённости достигают больших значений, опасных для человека.

При напряжении выше 1000 В по технологическим причинам электрические сети напряжением до 35 кВ включительно имеют изолированную нейтраль, свыше 35 кВ – заземлённую. Поскольку такие электросети имеют большую ёмкость проводов относительно земли, для человека одинаково опасным является прикосновение к их фазным проводам независимо от режима работы нейтрали энергоисточника. Поэтому режим работы нейтрали электросети напряжением выше 1000 В по условиям безопасности не выбирается.

### **13.3 Явления при стекании электрического тока в землю. Напряжение шага**

Стекание электрического тока в землю происходит только через проводник, находящийся в непосредственном контакте с землёй. Такой контакт может быть случайным или преднамеренным. В последнем случае проводник, находящийся в контакте с землей, называется заземлителем или электродом.

Для упрощения дальнейших рассуждений считаем, что земля во всём своём объёме однородна, т.е. в любой точке обладает одинаковым удельным электрическим сопротивлением ( $\rho$ , Ом · м). В этом случае ток будет растекаться во все стороны одинаково по радиусам полушария (рис. 7).

В объёме земли, где проходит ток, возникает так называемое «поле растекания тока», имеющее полусферическую конфигурацию. Теоретически оно простирается до бесконечности. Однако в реальных условиях уже на расстоянии 20-ти м от точки замыкания сечение слоя земли, по которому проходит ток, оказывается настолько большим, что плотность тока здесь практически равна нулю. На поверхности земли при этом возникает неравномерное электрическое (для постоянного тока) или электромагнитное (для переменного тока) круговое поле с максимумом потенциала ( $\phi$ , В) в точке замыкания на землю.

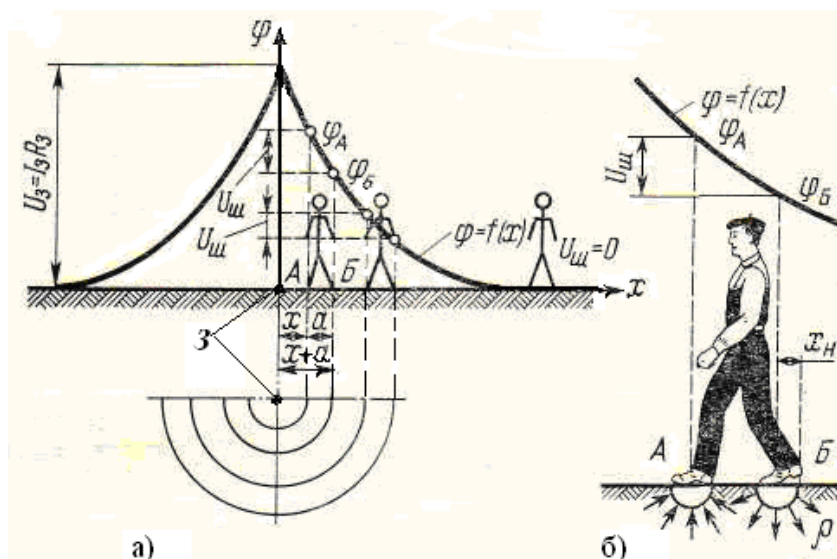


Рис. 7. Схема образования напряжения шага а) – общая схема; б) – растекание тока с опорной поверхности ног человека. А, Б – опорные точки ног человека; З – точка замыкания на землю;  $U_з$  – напряжение замыкания;  $U_ш$  – напряжение шага;  $a$  – ширина шага;  $\varphi$  – электрический потенциал;  $x$  – радиальное расстояние от точки замыкания на землю

Если в этой ситуации человек будет радиально шагать к точке замыкания на землю по её поверхности, то его ноги при каждом шаге будут оказываться под всё большей разностью потенциалов (см. рис. 7а).

Напряжением шага называется напряжение между двумя точками на поверхности земли, расположенными на расстоянии 1 м одна от другой (принимается равным длине шага человека), обусловленное растеканием тока замыкания на землю.

Основной путь тока при этом пролегает через ноги и тазобедренную часть тела, где расположены гонады – одна из важнейших составляющих половой системы человека. Указанное обстоятельство, кроме рассмотренных выше негативных факторов воздействия на человека электрического тока, нарушает нормальное состояние репродуктивной функции организма. Действие электрического тока в этой ситуации может усугубиться тем, что из-за судорожных сокращений мышц ног, возможно падение человека, после чего цепь тока замыкается на его теле через другие жизненно важные органы (мозг, сердце, лёгкие и др.). Кроме того, рост человека, который больше ширины шага, обуславливает большую разность потенциалов (напряжение, приложенное к телу).

### 13.4 Классификация помещений по опасности поражения электрическим током

Состояние окружающей среды, а также окружающая обстановка могут усиливать или ослаблять опасность поражения электрическим током. Так, сырость, токопроводящая пыль, едкие пары и газы разрушающе действуют на изоляцию электроустановок, резко снижая её сопротивление и создавая угрозу перехода напряжения на корпуса, станины, кожухи и другие нетоковедущие

проводящие части электрооборудования, к которым может прикасаться человек.

Вместе с тем, в этих же условиях, как и при высокой температуре окружающего воздуха, понижается сопротивление тела человека, что ещё больше увеличивает опасность поражения его электрическим током.

По действующим «Правилам устройства электроустановок» (ПУЭ) все помещения делятся по степени опасности поражения людей электрическим током на три класса: без повышенной опасности; повышенной опасности; особо опасные.

К помещениям без повышенной опасности относятся сухие, беспыльные помещения с нормальной температурой воздуха, с изолирующими (например, с сухими деревянными) полами, в которых отсутствуют заземлённые предметы или их очень мало.

На производстве к таким помещениям могут относиться лишь только некоторые вспомогательные помещения (помещения культурного обслуживания, управления и общественных организаций и др.).

К помещениям повышенной опасности относятся:

- сырые, в которых относительная влажность воздуха превышает 75 %;
- жаркие, в которых под воздействием тепловых излучений температура воздуха превышает постоянно или периодически (более 1 сут.) 35°C;
- пыльные, с токопроводящей пылью, в которых по условиям производства выделяется токопроводящая технологическая пыль в таком количестве, что она может оседать на провода, проникать внутрь машин, аппаратов;
- с токопроводящими полами (металлическими, земляными, железобетонными, кирпичными и др.);
- в которых возможно одновременное прикосновение человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам с одной стороны и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

Помещениями повышенной опасности являются практически все вспомогательные и некоторые производственные.

К особо опасным помещениям относятся:

- особо сырые с относительной влажностью воздуха близкой к 100 %;
- с химически активной или органической средой, разрушающей изоляцию и токоведущие части электрооборудования (агрессивные газы, пары; отложение плесени и др.);
- имеющие два или более признаков, свойственных помещениям с повышенной опасностью.

Территория открытых электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравнивается к особо опасным помещениям.

Особо опасными являются: бóльшая часть производственных помещений; подземные выработки; рабочая зона с открытой подстилающей поверхностью.

### **13.5 Основные меры защиты от поражения человека электрическим током**

Поражение производственного персонала электрическим током возможно как при прямом прикосновении – электрический контакт людей с токоведущими частями электрооборудования, находящимися под напряжением, так и при косвенном прикосновении – электрический контакт людей с открытыми проводящими частями электрооборудования, оказавшимися под напряжением при повреждении изоляции.

Для предупреждения поражения электрическим током в нормальном режиме работы Электросети должны быть применяются по отдельности или в сочетании следующие меры защиты от прямого прикосновения:

- основная изоляция токоведущих частей;
- ограждения и оболочки;
- установка барьеров;
- размещение токоведущих частей вне зоны досягаемости;
- применение сверхнизкого (малого) напряжения (СНН).

Для дополнительной защиты от прямого прикосновения в электроустановках напряжением до 1 кВ применяются также устройства защитного отключения (УЗО).

Защита от прямого прикосновения не требуется, если электрооборудование находится в зоне системы уравнивания потенциалов (см. ниже), 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.

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

- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- выравнивание потенциалов;
- двойная или усиленная изоляция;
- сверхнизкое (малое) напряжение;
- защитное электрическое разделение цепей;
- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

Защиту при косвенном прикосновении следует выполнять во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного и 120 В постоянного тока.

В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных электроустановках защита при косвенном прикосновении производится при более низких напряжениях: 25 В переменного и 60 В постоянного тока – в помещениях с повышенной опасностью; 12 В переменного и 30 В постоянного тока – в особо опасных помещениях и в наружных электроустановках.

Далее рассмотрим принципы указанных способов защиты.

Защита от прямого прикосновения.

Основная изоляция токоведущих частей:

Основная изоляция токоведущих частей должна иметь сопротивление, обеспечивающее утечки тока через неё, не превышающие безопасных величин (1 мА для переменного тока промышленной частоты). Для изоляции используются материалы, обладающие также механической прочностью, устойчивостью к воздействию агрессивных сред, повышенных температур и др. производственных факторов. Широкое распространение на практике получили изоляционные материалы на основе каучука, пластических масс, керамики, стекловолокна и др. Лакокрасочные покрытия не являются изоляцией, защищающей от поражения электрическим током. Изоляция электроустановок перед вводом их в эксплуатацию подвергается испытанию в соответствии с требованиями ПУЭ. Например, для электроустановок напряжением до 1 кВ сопротивление изоляции должно быть не  $< 0,5$  МОм при испытании напряжением 1 кВ.

Ограждения и оболочки:

Ограждения и оболочки в электроустановках напряжением до 1 кВ представляют собой сплошные или сетчатые устройства, предотвращающие несанкционированный доступ к открытым токоведущим частям электроустановок. Вход за ограждение или вскрытие оболочки должны быть возможны только при помощи специального ключа или инструмента либо после снятия напряжения с токоведущих частей.

Установка барьеров:

Барьеры предназначены для защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям в электроустановках напряжением до 1 кВ или приближения к ним на опасное расстояние в электроустановках напряжением выше 1 кВ, но не исключают преднамеренного прикосновения и приближения к токоведущим частям при обходе барьера. Для удаления барьеров не требуется применения ключа или инструмента, однако они должны быть закреплены так, чтобы их нельзя было снять непреднамеренно. Барьеры должны быть изготовлены из изолирующего материала.

Размещение токоведущих частей вне зоны досягаемости:

Эта мера применяется для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям в электроустановках напряжением до 1 кВ или приближения к ним на опасное расстояние в электроустановках напряжением выше 1 кВ при невозможности сооружения ограждений, оболочек и барьеров. При этом расстояние между доступными одновременно прикосновению проводящими частями в электроустановках напряжением до 1 кВ должно быть не менее 2,5 м. Внутри зоны досягаемости не должно быть частей, имеющих разные потенциалы и доступных одновременно прикосновению.

Установка барьеров и размещение токоведущих частей вне зоны досягаемости допускаются только в помещениях, доступных квалифицированному персоналу.

Сверхнизкое (малое) напряжение (СНН):

СНН применяется для защиты от поражения электрическим током при прямом и/или косвенном прикосновениях в электроустановках напряжением до 1 кВ в сочетании с защитным электрическим разделением цепей или в сочета-



нии с автоматическим отключением питания (см. ниже). Суть этой меры защиты заключается в обеспечении наименьшей вероятности поражения человека электрическим током за счёт применения малой величины напряжения питания электроустановок.

При этом величина такого напряжения составляет: не  $> 25\text{В}$  переменного и не  $> 60\text{ В}$  постоянного тока – в помещениях с повышенной опасностью; не  $> 12\text{В}$  переменного и не  $> 30\text{ В}$  постоянного тока – в особо опасных помещениях и в наружных электроустановках.

Защита от косвенного прикосновения

Защитное заземление:

Защитное заземление представляет собой преднамеренное электрическое соединение с землёй нетоковедущих проводящих (электропроводных) частей электрооборудования, которые в результате нарушения изоляции могут оказаться под напряжением. Такой частью электрооборудования, как правило, является его металлический корпус.

Принцип защитного действия защитного заземления можно объяснить следующим образом: при параллельном включении в электрическую цепь «аварийный корпус – заземление» сопротивлений заземляющего устройства и человека ток по ним по закону Кирхгоффа для разветвлённых электрических цепей распределяется обратно пропорционально величинам сопротивлений, оставаясь практически неизменным в сумме.

Подбор величины сопротивления заземляющего устройства, при которой сила тока, протекающего через человека, будет равна или меньше безопасных значений обеспечит его защиту от поражения. Наибольшая величина сопротивления заземляющего устройства, при которой обеспечивается указанное выше условие, называется допустимым сопротивлением защитного заземления.

Защитное заземление эффективно только в том случае, когда ток замыкания на землю не увеличивается с уменьшением сопротивления заземляющего устройства. Поэтому защитное заземление применяется в качестве основной меры защиты в электросетях с изолированной нейтралью, т.к. только в них при глухом замыкании на землю любого из фазных проводов ток замыкания не зависит от сопротивления заземления.

Конструктивно заземляющее устройство состоит из заземлителей, размещённых в грунте (земле), заземляющего проводника и заземляющей шины (последние расположены вне грунта и служат для подключения заземлителей к электрооборудованию).

Варианты конструкций, схемы размещения в грунте, материалы для изготовления конструктивных элементов, способы расчёта и др. сведения о заземляющих устройствах рассматриваются на лабораторных и практических занятиях.

Согласно требованиям ПУЭ сопротивление заземляющего устройства, используемого для защитного заземления открытых проводящих частей в системе ИТ напряжением до  $1\text{ кВ}$ , должно соответствовать условию:

$$R_{3y} \leq U_{\text{пр}} / I_{\text{зм}}, \quad (22)$$

где  $R_{3y}$  – сопротивление заземляющего устройства, Ом;

$U_{пр}$  – напряжение прикосновения, значение которого принимается равным 50 В;

$I_{зм}$  – полный ток замыкания на землю, А.

Как правило, не требуется принимать значение сопротивления заземляющего устройства менее 4 Ом. Допускается принимать сопротивление заземляющего устройства до 10 Ом, если соблюдено приведенное выше условие, а мощность источника тока не превышает 100 кВ·А.

Защитному заземлению подлежат металлические нетоковедущие части оборудования, которые из-за неисправности изоляции могут оказаться под напряжением и к которым возможно прикосновение людей.

Автоматическое отключение питания: Автоматическое отключение питания применяется для быстрого отключения энергоисточника от аварийного электрооборудования. При этом время отключения не должно превышать нормированные значения (табл. 1,2), т.к. в противном случае человек, касающийся в этот момент электроустановки, получит опасную дозу электрической энергии. При выполнении автоматического отключения питания в электроустановках напряжением до 1 кВ открытые проводящие части присоединяются к глухозаземлённой нейтрали источника питания, если применена система TN, и заземлены, если применены системы IT или TT.

В электроустановках, в которых в качестве защитной меры применено автоматическое отключение питания, должно быть выполнено уравнивание потенциалов (см. ниже).

Для автоматического отключения питания могут быть применены защитно-коммутационные аппараты и устройства защитного отключения (УЗО).

Таблица 1

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы TN

Номинальное фазное напряжение $U_{ф}$ , В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
Более 380	0,1

Таблица 2

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы IT

Номинальное линейное напряжение $U_{л}$ , В	Время отключения, с
220	0,8
380	0,4
660	0,2
Более 660	0,1

Уравнивание потенциалов: Система уравнивания потенциалов предназначена для ликвидации разности потенциалов между любыми точками открытых проводящих частей электроустановок, здания, инженерных коммуникаций и т.п.

Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках до 1 кВ должна соединять между собой следующие проводящие части:

нулевой защитный РЕ- или PEN-проводник питающей линии в системе TN;

заземляющий проводник, присоединённый к заземляющему устройству электроустановки, в системах IT и TT;

заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);

металлические трубы коммуникаций, входящих в здание (горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т.п.);

металлические части каркаса здания;

металлические части централизованных систем вентиляции и кондиционирования;

заземляющее устройство системы молниезащиты;

заземляющий проводник функционального (рабочего) заземления, если такое имеется и отсутствуют ограничения на присоединение сети рабочего заземления к заземляющему устройству защитного заземления;

металлические оболочки телекоммуникационных кабелей.

Проводящие части, входящие в здание извне, должны быть соединены как можно ближе к точке их ввода в здание.

Для соединения с основной системой уравнивания потенциалов все указанные части должны быть присоединены к главной заземляющей шине при помощи проводников системы уравнивания потенциалов.

Система дополнительного уравнивания потенциалов должна соединять между собой все одновременно доступные прикосновению открытые проводящие части стационарного электрооборудования и сторонние проводящие части, включая доступные прикосновению металлические части строительных конструкций здания, а также нулевые защитные проводники в системе TN и защитные заземляющие проводники в системах IT и TT, включая защитные проводники штепсельных розеток.

Для уравнивания потенциалов могут быть использованы специально предусмотренные проводники либо открытые и сторонние проводящие части, если они удовлетворяют требованиям к защитным проводникам в отношении проводимости и непрерывности электрической цепи.

Выравнивание потенциалов: Система выравнивания потенциалов предназначена для снижения разности потенциалов (шагового напряжения) на поверхности земли или пола при помощи защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности и присоединенных к заземляющему устройству, или путём применения специальных проводящих покрытий земли.

Двойная или усиленная изоляция: Защита при помощи двойной или усиленной изоляции может быть обеспечена применением электрооборудования класса II (табл. 3) или заключением электрооборудования, имеющего только основную изоляцию токоведущих частей, в изолирующую оболочку.

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

Защитное электрическое разделение цепей: Защитное электрическое разделение цепей предназначено для уменьшения опасности однофазного прикосновения в разветвлённых электросетях большой протяжённости, имеющих большую электрическую ёмкость и малое сопротивление изоляции проводов относительно земли.

Защитное электрическое разделение цепей источника тока и электроприёмника осуществляется при помощи разделительного трансформатора и применяется, как правило, для одной питающей цепи, которая при этом имеет малую электрическую ёмкость, большое сопротивление изоляции проводов относительно земли, а, следовательно, меньшую опасность при однофазном прикосновении.

Таблица 3

Классификация по способу защиты человека от поражения электрическим током и условия применения электрооборудования в электроустановках напряжением до 1 кВ

Класс по ГОСТ 12.2.007.0 Р МЭК536	Маркировка	Назначение защиты	Условия применения электрооборудования в электроустановке
Класс 0	-	При косвенном прикосновении	1. Применение в непроводящих помещениях. 2. Питание от вторичной обмотки разделительного трансформатора только одного электроприёмника
Класс I	Защитный зажим, знак  или буквы PE, или желто-зелёные полосы	При косвенном прикосновении	Присоединение заземляющего зажима электрооборудования к защитному проводнику электроустановки
Класс II	Знак 	При косвенном прикосновении	Независимо от мер защиты, принятых в электроустановке
Класс III	Знак 	От прямого и косвенного прикосновений	Питание от безопасного разделительного трансформатора

*Изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки:* Изолирующие (непроводящие) помещения, зоны и площадки применяются в электроустановках напряжением до 1 кВ, когда требования к автоматическому отключению питания не могут быть выполнены, а применение других защитных мер невозможно либо нецелесообразно.

Сопrotивление относительно земли изолирующего пола и стен таких помещений, зон и площадок в любой точке должно быть не менее:

50 кОм при номинальном напряжении электроустановки до 500 В включительно;

100 кОм при номинальном напряжении электроустановки более 500 В;

Если сопротивление в какой-либо точке меньше указанных величин, такие помещения, зоны, площадки не должны рассматриваться в качестве меры защиты от поражения электрическим током.

Для изолирующих (непроводящих) помещений, зон, площадок допускается использование электрооборудования класса 0 (табл.3) при соблюдении одного из следующих условий:

открытые проводящие части удалены одна от другой и от сторонних проводящих частей не менее чем на 2 м.

открытые проводящие части отделены от сторонних проводящих частей барьерами из изоляционного материала;

сторонние проводящие части покрыты изоляцией, выдерживающей испытательное напряжение не менее 2 кВ в течение 1 мин.

Пол и стены таких помещений не должны подвергаться воздействию влаги.

Кроме рассмотренных основных способов защиты персонала от поражения электрическим током используются: защитное зануление; блокировка; предупредительная сигнализация; электрoзащитные средства (изолирующие штанги, диэлектрические коврики и др.).

## **13.6 Защита от статического и атмосферного электричества**

### **13.6.1 Защита от статического электричества**

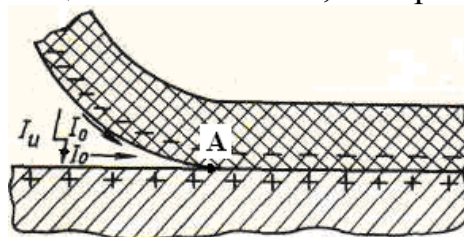
#### **13.6.1.1 Возникновение заряда статического электричества**

В производственных условиях широко используются и получают вещества, обладающие диэлектрическими свойствами, что способствует возникновению зарядов статического электричества (СЭ). Электрические разряды в таких системах часто являются причиной взрывов и пожаров. Кроме того, статическое электричество является причиной снижения точности показаний электрических приборов и надёжности работы средств автоматики. Определённое негативное воздействие статическое электричество оказывает на человека, приводя, например, к рефлекторным телодвижениям при кратковременном (доли секунды) протекании электрического тока во время электрических разрядов. Это обстоятельство может вызвать травмирование персонала, например, при падении с высоты или попадании в опасную зону машин и механизмов.

По современным представлениям статическое электричество возникает в результате сложных процессов, связанных с перераспределением электронов и

ионов при соприкосновении двух поверхностей неоднородных жидких или твёрдых веществ. При этом на поверхности соприкосновения образуется двойной электрический слой, состоящий из расположенных определённым образом электрических зарядов противоположных знаков.

Двойной электрический слой образуется в месте контакта поверхностей. При разделении материалов происходит механический разрыв зарядов двойного слоя, создаётся разность потенциалов ( $U$ , В) и заряды начинают перемещаться в точку начала разделения поверхностей веществ А (рис. 8). При достаточно большой величине  $U$  в зазоре разрыва поверхностей возникает газовый разряд. При перемещении зарядов по разделяемым поверхностям и газовому промежутку возникает соответственно ток омического сопротивления ( $I_o$ , А) и ток газового разряда (ионизации) ( $I_u$ , А). Если время разделения поверхностей будет меньше времени перемещения зарядов в точку А, то поверхности после разделения будут иметь остаточные электрические заряды, что и создаёт разность потенциалов, а вместе с нею и электростатическое поле. Такое явление называется электризацией. Электризация твёрдых тел на производстве возможна, например, при движении ремённых передач, транспортёрных лент, запылённых газов в трубопроводах, пневмотранспорте сыпучих материалов, дроблении, перемешивании и в др. ситуациях. Электризации подвержены также жидкости с низкой электропроводностью, например, нефтепродукты, движущиеся по трубопроводам или перемешивающиеся в ёмкостях, аппаратах.



*Рис. 8. Схема электризации твёрдых материалов при разделении  
 $I_o$  – ток, обусловленный омической проводимостью разделяемых поверхностей;  
 $I_u$  – ток ионизации в зазоре между разделяемыми поверхностями; А –  
 точка начала разделения поверхностей*

Явление возникновения электрических зарядов при взаимном трении двух диэлектриков, полупроводников или металлов с различными физико-химическими свойствами называется трибоэлектризацией (от греч. tribos – трение).

В производственных условиях электризация зависит от многих факторов и, прежде всего, от физико-химических свойств перерабатываемых (перемещаемых) материалов и характера технологического процесса.

Так, например, степень электризации зависит от величины удельного электрического сопротивления материала ( $\rho$ , Ом·м). При  $\rho \leq 1 \cdot 10^6$  Ом·м электризация практически не происходит. Вещества, имеющие  $\rho \leq 1 \cdot 10^8$  Ом·м электризуются хорошо (полистирол, стекло, жидкие углеводороды, синтетические волокна, прорезиненные ткани и др.).

На степень электризации влияет также относительная влажность воздуха и его температура, скорость движения жидкости и материала, степень дробления твёрдого материала и жидкости и др. факторы.

### 13.6.1.2 Опасность разрядов статического электричества в производственных условиях

Разряд статического электричества происходит тогда, когда напряжённость электростатического поля над поверхностью диэлектрика или проводника достигает критической (пробивной) величины, которая для воздуха составляет около 30 кВ/см.

Безопасной считается такая степень электризации поверхности веществ, при которой максимальные значения поверхностной плотности заряда не превосходят предельно допустимой величины для данной среды. За предельно допустимую величину поверхностной плотности заряда принято такое её значение, при котором максимально возможная энергия разряда ( $W$ , Дж) не превышает 0,25 минимальной энергии воспламенения (зажигания) горючих смесей различных веществ с воздухом.

Энергия разряда при этом определяется по формуле:

$$W = 0,5CU^2 = 0,5QU \quad (23)$$

где  $W$  – энергия разряда (искры), Дж;

$C$  – электрическая ёмкость разрядной цепи, Ф;

$U$  – разность потенциалов между электродами, В;

$Q$  – величина заряда, Кл.

Минимальная энергия зажигания некоторых веществ в смеси с воздухом составляет ( $W$ , мДж): водород – 0,019; ацетилен – 0,19; метан – 0,28; монооксид углерода – 8,0; уголь (пыль) – 40; алюминий (порошок) – 50.

Разность потенциалов ( $U$ , В) относительно земли при электризации диэлектриков может достигать: при выпуске из баллона ацетилена, увлажнённого ацетоном – 900; при выпуске  $CO_2$  из баллона – 8000 (по резиновому шлангу – 10000); при завихрении угольной пыли – 10000; при движении резиновой ленты транспортёра – 45000; при движении кожаного приводного ремня – 80000.

Заряды статического электричества могут накапливаться и на людях. Электризация тела человека происходит при ношении одежды из синтетических тканей, работе с наэлектризованными предметами и в др. случаях. Накопление зарядов на теле человека возможно и тогда, когда он изолирован от земли и заземлённых предметов диэлектрическими обувью, полами, перчатками.

Количество накопившихся на людях зарядов статического электричества может быть достаточным для искрового разряда при контакте с заземлённым предметом, например, с железобетонной колонной здания. При этом энергия разряда ( $W_{\text{ч}}$ , мДж) определяется формулой:

$$W_{\text{ч}} = 33,34 \cdot 10^{-9} [\lg(H-130)k] U^2 \quad (24)$$

где  $H$  – рост человека, см;

$k$  – коэффициент, характеризующий материал покрытия пола.

В производственных условиях  $W_{\text{ч}}$  составляет около  $\sim 50$  мДж, что достаточно для зажигания газоздушных смесей, а также некоторых аэрозолей.

### **13.6.1.3 Основные способы и средства защиты от разрядов статического электричества**

Главными направлениями в предупреждении проявления опасных и вредных факторов статического электричества являются предупреждение возникновения и накопления зарядов, а также создание условий их рассеивания.

К основным инженерным мерам защиты от СЭ относятся:

заземление оборудования и коммуникаций, выполненных из электропроводных материалов;

уменьшение электрического сопротивления перерабатываемых веществ;

снижение интенсивности возникновения зарядов СЭ;

нейтрализация зарядов СЭ;

отвод зарядов СЭ, накапливающихся на людях.

Заземление оборудования и коммуникаций:

Заземление – наиболее простая и часто применяемая на практике мера защиты от статического электричества. Каждую систему аппаратов и трубопроводов, где возможно появление зарядов СЭ, следует заземлять не менее, чем в двух местах. Особое внимание при этом уделяется дробилкам, смесителям, компрессорам, насосам, фильтрам, пневмосушилкам, транспортёрам, сливно-наливным устройствам и др. оборудованию, в котором быстро возникают опасные потенциалы статического электричества.

Резиновые шланги с металлическими наконечниками, предназначенные для налива (слива), например, нефтепродуктов, заземляются медной проволокой (диаметром около 3 мм), обвитой по шлангу снаружи (шаг 100 мм) с припайкой одного её конца к металлическому трубопроводу, а другого – к наконечнику шланга.

Предельно допустимое сопротивление заземляющего устройства при этом составляет 100 Ом.

Неметаллическое оборудование считается электрически заземлённым, если сопротивление любой его точки относительно заземляющего устройства не превышает 100 МОм.

Уменьшение электрического сопротивления перерабатываемых веществ:

Если заземлением оборудования не удаётся предотвратить накопление зарядов статического электричества, то принимаются меры по уменьшению поверхностных и объёмных электрических сопротивлений обрабатываемых материалов. Это достигается повышением относительной влажности, химической обработкой поверхности, применением антистатических веществ, нанесением электропроводных плёнок. Эффективный отвод зарядов СЭ обеспечивается при относительной влажности воздуха 65...70 %, т.к. при этом на поверхности материала и оборудования образуется электропроводная плёнка воды.

Для уменьшения электрического сопротивления твёрдых диэлектриков и диэлектрических жидкостей в них вводятся антистатические присадки, увели-



чивающие объёмную проводимость этих материалов (графит, сажа, мелкодисперсный металл).

Если оборудование выполнено из диэлектрического материала, то оно покрывается проводящими электрический ток веществами и заземляется (например, металлизация пластмасс, окраска электропроводными эмалями и др.).

Снижение интенсивности возникновения зарядов СЭ:

Достигается этот результат подбором скорости движения веществ, исключением разбрызгивания жидкостей и дробления твёрдых материалов, отводом зарядов СЭ, очисткой газов и жидкостей от взвешенных примесей и др.

Безопасные скорости транспортировки жидких и пылевидных веществ зависят от их удельного объёмного электрического сопротивления ( $\rho_v$ , МОм·м). Так, например, для жидкостей с  $\rho_v < 0,1$  МОм·м допустимая скорость транспортировки  $\leq 10$  м/с, а при с  $\rho_v < 1000$  МОм·м –  $\leq 5$  м/с.

При наполнении жидкостями ёмкостей необходимо исключать их разбрызгивание, распыление и бурное перемешивание, подавая струю под слой жидкости вдоль наиболее длинной стенки со скоростью  $0,5 \dots 0,7$  м/с. Во время наполнения или опорожнения ёмкостей отбор горючих жидкостей из них производить нельзя, т.к. возможный искровой разряд СЭ может воспламенить пробу.

Нейтрализация зарядов СЭ:

Если вышеуказанными способами цель не достигается, то для защиты от СЭ применяется нейтрализация зарядов ионизацией воздуха в местах их возникновения и накопления. Ионизаторы воздуха в зависимости от принципа действия делятся на индукционные, радиоизотопные и комбинированные.

Индукционные ионизаторы работают по принципу создания коронного (тихого) разряда в воздухе за счёт создания электрического поля высокой напряжённости вблизи заряженного статическим электричеством тела. Образующиеся при этом ионы нейтрализуют накопленные заряды. Индукционные ионизаторы просты и дешёвы и поэтому наиболее распространены на практике.

Радиоизотопные нейтрализаторы представляют собой радиоактивные вещества – источники ионизирующих излучений ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), причём, целесообразно использовать  $\alpha$  и  $\beta$  лучи, обладающие наибольшей ионизирующей способностью. На практике применяются такие радиоактивные вещества, как:  $^{239}\text{Pu}$  (Плутоний);  $^{147}\text{Pm}$  (Прометий);  $^3\text{H}$  (Тритий). Радиоизотопные нейтрализаторы сами по себе опасны для человека из-за наличия ионизирующего излучения, поэтому находят ограниченное применение.

При сильной электризации оборудования применяются комбинированные ионизаторы – сочетание радиоизотопных и индукционных ионизаторов.

Отвод зарядов СЭ, накапливающихся на людях:

Основными способами отвода зарядов СЭ являются:

устройство электропроводящих полов или заземлённых зон, помостов и рабочих площадок;

заземление ручек дверей, поручней лестниц, рукояток приборов, машин и аппаратов;

обеспечение персонала токопроводящей обувью и антистатической спец-одеждой. Кроме того, на предприятиях, где возможно появление СЭ, целесообразно не носить одежду из синтетических материалов (найлона, перлона, и др.) и шёлка, а также колец и браслетов, на которых аккумулируются заряды СЭ.

Покрытие пола и обувь считаются электропроводящими, если удельное сопротивление между электродом, установленным на полу (внутри обуви) и землёй не превышает 100 кОм·м (бетон, кирпич, метлахская плитка и др. материалы).

К непроводящим покрытиям относятся: асфальт; настил из обычной резины; линолеум.

## **13.6.2 Защита от атмосферного электричества**

### **13.6.2.1 Возникновение зарядов статического электричества в атмосфере**

Электрические заряды, формирующие грозовые разряды возникают в облачном воздухе атмосферы. Электричество безоблачной атмосферы (атмосферы «хорошей» погоды) является фоном для электрических процессов в облаках.

Электрическое поле «хорошей» погоды направлено сверху вниз, т.е. земля заряжена отрицательно, а атмосфера – положительно. Это направление поля считается нормальным, а вертикальный градиент электрического потенциала (далее – потенциала) – положительным. У поверхности земли градиент потенциала составляет в среднем  $\sim 130$  В/м.

Электричество «хорошей» погоды обусловлено наличием в атмосфере так называемых лёгких аэроионов, которые появляются за счёт ионизации воздуха при распаде радиоактивных веществ как в земле (почве), так и в атмосфере. Кроме того, ионизация воздуха происходит под действием космических лучей, однако в тропосфере этот процесс малоинтенсивен.

За счёт наличия градиента потенциала в атмосфере «хорошей» погоды в воздухе протекают токи диффузии, конвекции и проводимости, величина которых в совокупности составляет  $\sim 3 \cdot 10^{-12}$  А/м<sup>2</sup>.

С появлением в атмосфере различного рода аэрозолей напряжённость электрического поля (градиент потенциала) несколько возрастает, однако существенно величина электрических токов при этом не увеличивается.

С развитием в тропосфере мощных конвективных потоков воздуха в летнее время появляются кучевые облака разных типов, которые представляют собой аэрозольные системы. Скорость конвективных потоков при этом может достигать 50 м/с. Наряду с конвективными в таких облаках развиваются и мощные турбулентные потоки воздуха. Мощность кучевых облаков по высоте достигает 5...7 км, а диаметр их – 10-ти км и более. Часть кучевого облака располагается над нулевой изотермой атмосферы, что способствует образованию твёрдофазной воды (снежинки, крупа, градины). Кучевое облако при этом трансформируется в кучево-дождевое, в котором аэрозольные частицы воды на высоте ниже нулевой изотермы укрупнены до диаметра  $\sim 1$  мм за счёт слияния более мелких – диаметром  $\sim 50$  мкм.

В кучево-дождевом облаке за счёт мощных воздушных потоков идёт сильная трибоэлектризация частиц, составляющих дисперсную фазу облачного аэрозоля. При этом могут создаваться флуктуации как положительных, так и отрицательных зарядов, имеющих в поперечнике километровые размеры. Напряжённость электрического поля между соседними флуктуациями и землёй при разноимённых зарядах достигает  $9 \cdot 10^5$  В/м и более, что способствует возникновению газового электрического разряда – молнии.

Развитие разряда, например, из облака, на землю начинается с образования стримера (от англ. stream – течь, проноситься), который с большей скоростью (до  $10^6$  м/с) начинает движение в воздухе к заряду противоположного знака. Стример ещё не молния, а лишь её лидер, обеспечивающий за счёт фотоионизации воздуха извилистый и ветвящийся токопроводный канал в атмосфере. По каналу лидера развивается с поверхности земли главный возвратный удар молнии, который и переносит основной электрический заряд кучево-дождевого облака.

Скорость распространения главного удара достигает  $10^8$  м/с, а сила электрического тока составляет при этом  $\sim 2 \cdot 10^5$  А. Спустя сотые доли секунды описанный процесс повторяется многократно. В среднем молния состоит из трёх главных ударов (разрядов).

После описанных процессов начинается восстановление прежнего значения напряжённости электрического поля, которое происходит  $\sim 7$  с и ситуация повторяется. Заканчиваются грозовые разряды тогда, когда снижается мощность конвективных потоков воздуха за счёт охлаждения поверхности земли осадками, или когда расходуется накопленный заряд атмосферного электричества.

### **13.6.2.2 Опасность разрядов атмосферного электричества**

При грозовом разряде в течение короткого промежутка времени ( $\sim 100$  мкс) при величине электрического тока молнии  $\sim 2 \cdot 10^5$  А в разрядном канале развивается температура до  $30000$  °С. За счёт этого быстро расширяется нагретый воздух и возникает взрывная волна (гром), способная производить локальные разрушения объектов при прямых ударах в них молнии.

Высокая температура молнии является мощным импульсом воспламенения всех горючих веществ, что приводит к взрывам и пожарам на производстве, а также в быту и в природных условиях (например, масштабные лесные пожары).

Прямые удары молнии (ПУМ) могут вызвать человеческие жертвы. Опасными факторами также являются вторичные проявления молнии в виде электростатической и электромагнитной индукции.

Электростатическая индукция проявляется тем, что на изолированных от земли металлических предметах наводятся опасные электрические потенциалы, в результате чего возможно искрение между отдельными проводящими элементами конструкций и оборудования, что может вызвать взрывы и пожары.

В результате электромагнитной индукции, обусловленной быстрым изменением силы тока молнии, в металлических незамкнутых контурах наводится

ЭДС, что приводит к опасности искрообразования между ними в местах сближения этих контуров.

Во время ударов молнии в различные объекты, находящиеся вдали от производственных зданий и сооружений, возможно проникновение (занос) электрических потенциалов в них по внешним металлическим сооружениям и коммуникациям – эстакадам, монорельсам и канатам подвесных дорог, трубопроводам, оболочкам электрических кабелей и др.

Кроме указанных опасностей грозовые разряды снижают безопасность полётов авиации, вызывают нарушение работы линий электропередачи и связи, генерируют интенсивные радиопомехи и др.

### **13.6.2.2 Защита производственных зданий и сооружений от молнии (молниезащита)**

Молниезащитой называется комплекс защитных устройств, предназначенных для обеспечения безопасности людей, сохранности материалов, оборудования, сооружений и зданий от возможных загораний и разрушений, вызванных воздействием молнии.

При разработке средств молниезащиты все защищаемые объекты подразделяются на две группы:

обычные объекты (жилые и административные здания и сооружения, высотой не > 60 м, предназначенные для промышленного и сельскохозяйственного производства, и торговли);

специальные объекты, представляющие опасность для непосредственного окружения, а также для социальной и физической окружающей среды, в которых при ударе молнии могут произойти вредные биологические, химические и радиоактивные выбросы. К специальным объектам относятся также строения высотой > 60 м, игровые площадки, строящиеся объекты.

По уровню защиты от ПУМ обычные объекты подразделяются на четыре класса:

I – надёжность защиты 0,98;

II – надёжность защиты 0,95;

III – надёжность защиты 0,90;

IV – надёжность защиты 0,80;

Надёжность молниезащиты определяется по формуле:

$$N = 1 - P, \quad (25)$$

где P – предельно допустимая вероятность удара молнии в объект, защищаемый молниеотводами – устанавливается в зависимости от значимости объекта и тяжести возможных последствий.

Для специальных объектов надёжность защиты от ПУМ устанавливается в пределах от 0,9 до 0,999 в зависимости от значимости объекта и тяжести возможных последствий при прямых ударах молнии.

Защита от прямых ударов молнии:

Комплекс средств от прямых ударов молнии включает в себя устройства защиты от ПУМ (внешняя молниезащита) и устройства защиты от вторичных воздействий молнии (внутренняя молниезащита).

Внешняя молниезащитная система (МЗС) может быть изолированной от защищаемого сооружения (отдельно стоящие стержневые или тросовые молниеотводы, а также соседние сооружения, выполняющие функции естественных молниеотводов), а также установленной непосредственно на нём и даже быть его частью.

Внутренняя МЗС предназначена для ограничения электромагнитных воздействий тока молнии и предотвращения искрения внутри объекта. Токи молнии, попадающие в молниеприёмники, отводятся в заземлитель через систему токопроводов (спусков) и растекаются в земле.

Внешняя МЗС состоит из молниеприёмников, токоотводов и заземлителей. В качестве искусственных молниеприёмников могут использоваться стержни, натянутые провода (тросы), металлические сетки. В качестве естественных молниеприёмников могут быть использованы следующие конструктивные элементы зданий и сооружений: металлическая кровля; металлические конструкции крыши (ферма и др.); металлические элементы украшений; водосточные трубы и т.п. при условии, что толщина их стенки не  $< 4$  мм.

Токоотводы для снижения вероятности опасного искрения располагаются так, чтобы между точкой поражения и землёй ток растекается по нескольким путям, которые должны иметь минимальную длину. Следующие конструктивные элементы зданий могут считаться естественными токоотводами: металлические конструкции; металлический каркас здания; соединённая между собой стальная арматурная сетка и др. элементы при условии, что соединения между разными элементами их надёжны и долговечны.

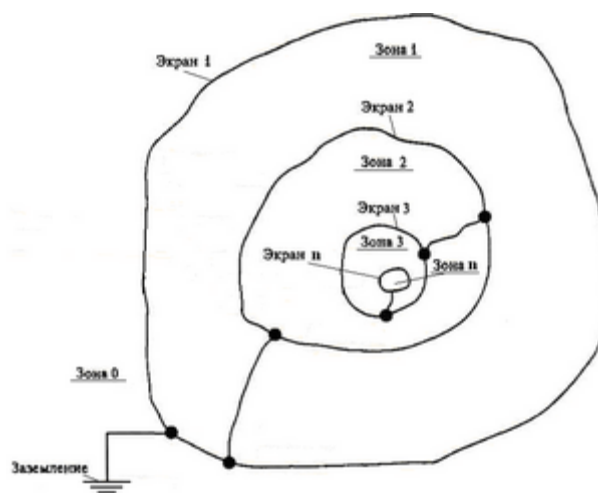
Заземлители во всех случаях, за исключением отдельно стоящего молниеотвода, совмещаются с заземлителями электроустановок и средств связи. В качестве заземлителей используются вертикальные электроды, электроды, уложенные на дне котлована, заземлённые металлические сетки. При использовании в качестве естественных заземлителей арматуры конструкций из напряжённого железобетона необходимо помнить, что ток может ослабить её (за счёт нагрева) и вызвать тем самым разрушение конструкции. Сопротивление заземлителя при этом должно быть не более 100 Ом.

Защита от вторичных воздействий молнии электрических и электронных систем: При разработке способов защиты в этом случае определяются защитные зоны вокруг защищаемого объекта (рис. 9).

Зоны характеризуются существенным изменением электромагнитных параметров на их границах. В общем случае, чем выше номер зоны, тем меньше значение параметров электромагнитных полей, токов и напряжений в её пространстве.

Зона 0 – пространство, где каждый объект подвержен прямому удару молнии с протеканием полного тока молнии. Здесь электромагнитное поле имеет максимальное значение.

Зона 1 – пространство, где объекты не подвержены ПУМ, и ток во всех проводящих элементах внутри здания меньше, чем в зоне 0; в этой зоне электромагнитное поле может быть ослаблено экранированием.



*Рис. 9. Зоны защиты от вторичных воздействий молнии.*

Другие зоны устанавливаются, если требуется дальнейшее уменьшение тока, напряжения и электромагнитного поля.

На границах зон осуществляется экранирование и соединение всех пересекающих границу зон металлических элементов и коммуникаций между собой.

Защитное экранирование является основным способом уменьшения электромагнитных помех работе радиоэлектронных и др. подобных устройств. В качестве экрана широко используются металлические конструкции строительных сооружений (стальная арматура стен, полов, детали крыши, решётки и т.п.). Все названные элементы объекта защиты электрически объединяются и соединяются с МЗС.

Соединения металлических элементов необходимы для уменьшения разности потенциалов между ними внутри защищаемого объекта. Осуществляются соединения с помощью специальных проводников и зажимов.

Соединения на границе зон производятся через каждые 5 м. Минимальное поперечное сечение медных или стальных оцинкованных проводников, используемых для соединений –  $50 \text{ мм}^2$ .