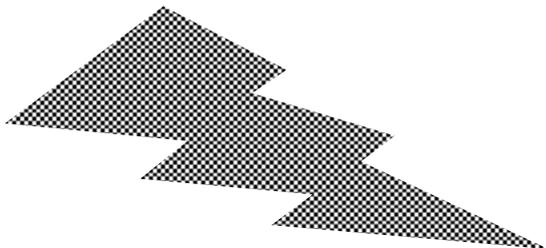


**Л.С. ТАРОВА, Е.А. СЕРГЕЕВА, В.М. ДМИТРИЕВ,
А.В. БОЯРШИНОВ, В.Б. МИХАЙЛОВ, А.Б. МОЗЖУХИН**

**БЕЗОПАСНОСТЬ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
И ЗАЩИТА
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Часть I



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

УДК 613.079.2
ББК У9(2)248я73
Б39

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент
С.А. Нагорнов

Кандидат технических наук, доцент
Е.В. Хабарова

Е.А. Сергеева, В.М. Дмитриев,
А.В. Бояршинов, В.Б. Михайлов; А.Б. Мозжухин. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. Ч. 1.
64 с.

Учебное пособие содержит систематизированный материал по безопасности жизнедеятельности (БЖД) человека при взаимодействии с окружающей средой. В пособии изложены теоретические основы БЖД; подробно описаны производственные опасности, микроклимат, характеристики вредных веществ; даны рекомендации по расчету параметров защитных мероприятий; приведена информация по безопасной эксплуатации электроустановок, сосудов под давлением и пожарной профилактике на производстве.

Учебное пособие предназначено для студентов дневного и заочного отделений всех специальностей.

УДК 613.079.2
ББК У9(2)248я73

ISBN 5-8265-0295-9

© Л.С. Тарова, Е.А. Сергеева,
В.М. Дмитриев, А.В. Бояршинов,
В.Б. Михайлов, А.Б. Мозжухин,
2004

© Тамбовский государственный
технический университет
(ТГТУ), 2004

Министерство образования и науки Российской Федерации
Тамбовский государственный технический университет

Л.С. Тарова, Е.А. Сергеева, В.М. Дмитриев,
А.В. Бояршинов, В.Б. Михайлов, А.Б. Мозжухин

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Часть I

*Утверждено Ученым советом университета в качестве учебного
пособия*

Тамбов
Издательство ТГТУ
2004

Учебное издание

Тарова Людмила Сергеевна
Сергеева Елена Анатольевна
Дмитриев Вячеслав Михайлович
Бояршинов Анатолий Владимирович
Михайлов Валерий Борисович
Мозжухин Андрей Борисович

**БЕЗОПАСНОСТЬ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Учебное пособие

Редактор З.Г. Чернова
Компьютерное макетирование М.А. Филатовой

Подписано к печати 31.05.2004
Формат 60 × 84/16. Гарнитура Times. Бумага офсетная. Печать офсетная
Объем: 3,72 усл. печ. л.; 3,9 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз. С. 336^М

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение безопасности жизнедеятельности (БЖД) представляет собой серьезную проблему современности. Статистика свидетельствует, что миллионы людей становятся инвалидами, больными и погибают от опасностей природного, техногенного, антропогенного, экологического и социального характера. Общество несет большие человеческие потери и огромные убытки от стихийных бедствий, аварий и катастроф. БЖД – это обязательная общепрофессиональная дисциплина, объединяющая тематику наиболее безопасного взаимодействия человека с природной, производственной и бытовой средой обитания, а также вопросы защиты от негативных факторов чрезвычайных ситуаций.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БЖД

Жизнедеятельность – специфическая форма активного отношения к окружающему миру, направленная на его изменение и преобразование, в основе которой лежат биологические процессы.

Человек в процессе деятельности взаимодействует с окружающей средой, оказывая на нее воздействие и испытывая обратное действие среды, которое может быть для него как полезным, так и вредным.

Особую опасность для человека представляют чрезвычайные ситуации, которые происходят в результате катастрофических явлений во всех сферах окружающей среды. Человек в процессе деятельности постоянно находится во взаимодействии с окружающей средой (см. рис. 1.1).

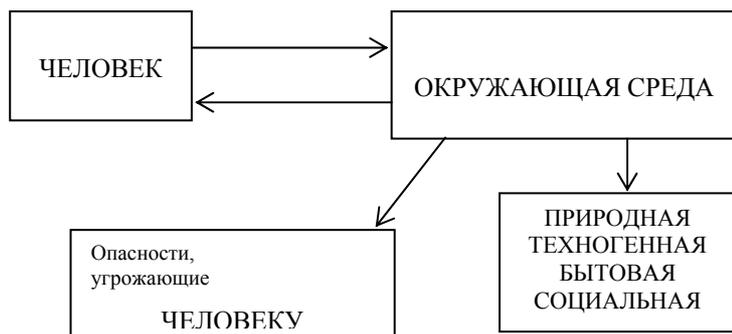


Рис. 1.1 Модель процесса деятельности человека

Факторы и ситуации, оказывающие отрицательное влияние на человека: природные факторы; природные чрезвычайные ситуации в атмосфере, литосфере, гидросфере; техногенные аварии и катастрофы; ухудшенные факторы жизнедеятельности вследствие воздействия человека на природу; социальные, межнациональные, военные, религиозные конфликты; внутренняя среда человека; особые психические состояния.

БЖД – это система знаний, изучающая опасности, угрожающие человеку, их влияние на его здоровье и разрабатывающая методы и средства обеспечения безопасности.

Цели БЖД – уменьшение вероятности проявления опасностей или уменьшение риска, прогнозирование чрезвычайных ситуаций, обеспечение готовности к возможным стихийным бедствиям, авариям и катастрофам, организация ликвидации их последствий. БЖД позволяет выработать идеологию безопасности, формировать безопасное мышление и поведение.

В центре внимания БЖД – **человек** как самоцель развития общества, его здоровье и работоспособность.

1.1 Опасности. Аксиомы БЖД

Опасность – центральное понятие БЖД, под которым понимаются явления, процессы, объекты, способные в определенных условиях вызывать нежелательные последствия, т.е. наносить ущерб здоровью человека или угрожать его жизни.

По происхождению опасности делят на природные, техногенные, антропогенные, экологические, биологические, социальные.

По характеру воздействия на человека опасности делят на механические, физические, химические, биологические, психофизиологические.

Примеры опасностей: алкоголь, аномальная температура воздуха, влажность воздуха, подвижность воздуха, барометрическое давление, освещение, ионизация воздуха, вакуум, взрыв, взрывчатые вещества, вибрация, вода, вращающиеся части машин, высота, газы, гербициды, глубина, гиподинамия, гололед, горячие поверхности, дождь, дым, движущиеся предметы, едкие вещества, заболевания, инфразвук, инфракрасное излучение, искры, качка, кинетическая энергия, лазерное излучение, магнитные поля, микроорганизмы, медикаменты, молнии, монотонность, наводнение, неровные поверхности, неправильные действия персонала, огнеопасные вещества, огонь, оружие, острые предметы, отравление, охлажденные поверхности, падение, пар, пестициды, пожар, психологическая несовместимость, пыль, радиация, резонанс, скользкая поверхность, снегопад, статическое электричество, тайфун, туман, ударная волна, ультразвук, ультрафиолетовое излучение, ураган, утомление, шум, электромагнитное поле и другие.

Опасности угрожают не только лично человеку, но и обществу и государству. Профилактика опасностей – это актуальная гуманитарная и социально-экономическая проблема.

Всем опасностям присущи четыре общие характеристики: вероятностный характер (случайность); потенциальность (скрытость); перманентность (постоянство, непрерывность); тотальность (всеобщность).

В зависимости от вызываемых последствий опасности условно делят на вредные и опасные факторы.

Вредные факторы могут привести к ухудшению самочувствия, повышенной утомляемости, снижению работоспособности или к развитию заболевания (шум, вибрация, электромагнитные излучения и др.).

Опасные факторы могут привести к травме или резкому ухудшению здоровья (механические опасности, взрыв, яды и др.)

Некоторые факторы в зависимости от уровня воздействия проходят трансформацию от полезного к вредному и наоборот, например медикаменты, шум, электрический ток и т.д.

Безопасность – это состояние деятельности, обеспечивающее здоровье и жизнь человека с определенной степенью вероятности.

Существуют аксиомы БЖД:

- любые объекты, процессы, явления потенциально опасны для человека;
- любая деятельность потенциально опасна для человека;
- ни в одном виде деятельности нельзя добиться абсолютной безопасности;
- безопасность любой системы может быть достигнута с любой степенью вероятности, не исключаящей, однако, существования объекта.

1.2 Основные положения теории риска

Риск – это частота реализации опасностей, отношение числа неблагоприятных последствий n для человека к их возможному числу N за определенный период времени.

Риск отдельного человека определяется зависимостью

$$R = \frac{n}{N}, \%, \quad (1.1)$$

Различают общий риск без деления на социальные группы и социальный (групповой) риск. Общий риск рассматривают также по различным сферам деятельности. Определяя риск, указывают класс последствий: получение травмы, заболевания, летального исхода.

Для профессиональной деятельности выделяют четыре категории безопасности в зависимости от риска гибели человека:

- I – условно безопасная, $R < 10^{-4}$;
- II – относительно безопасная, $R = 10^{-4} \dots 10^{-3}$;
- III – опасная, $R = 10^{-3} \dots 10^{-2}$;
- IV – особо опасная, $R > 10^{-2}$.

Концепция абсолютной безопасности (нулевого риска) неосуществима, поэтому общество на данном этапе развития принимает концепцию «приемлемого риска».

Приемлемый риск – это такая частота реализации опасностей, которая сочетает в себе технические, экономические, экологические и социальные аспекты и представляет собой компромисс между уровнем безопасности и возможностями общества по ее достижению на данный период времени.

При увеличении затрат на техническую, природную и экологическую безопасности риск снижается, но может возрасти риск в социальной сфере, так как будет ощущаться нехватка средств на медицинскую помощь, на охрану и на оздоровление населения.

Суммарный риск $R_{\text{сум}}$ имеет минимум при определенном соотношении между инвестициями в техническую и социальную сферы. Эта величина принимается за приемлемый риск.

Во многих странах общим «приемлемым» риском гибели человека считается величина 10^{-6} в год, а пренебрежимо малым риском, к которому должно стремиться человечество, является величина 10^{-8} за год.

Используя понятие приемлемого риска, можно установить финансовую меру обеспечения безопасности человеческой жизни, необходимость проведения мероприятий по безопасности, реализуя схему: затраты на безопасность – уменьшение риска.

Для уменьшения риска материальные средства можно расходовать по пяти направлениям: совершенствование систем; подготовка и обучение персонала; применение организационных мероприятий; применение технических средств защиты и средств индивидуальной защиты; экономические методы (страхование, компенсации и др.).

1.3 Системный анализ безопасности

Любой объект или явление может быть представлен как системное образование. БЖД рассматривает системы, одним из элементов которых является человек. Цель системного анализа безопасности состоит в том, чтобы выявить причины, влияющие на появление нежелательных событий, таких как аварии, пожары, взрывы и другие и разработать предупредительные мероприятия, уменьшающие вероятность их возникновения. Для того, чтобы выявить причины, влияющие на появление нежелательных для человека событий, используют метод системного анализа и элементы логики.

Любая опасность есть следствие некоторой причины (причин), которая, в свою очередь, есть следствие другой причины и т.д. Причины и опасности образуют сложные цепные структуры, которые называются: «дерево» причин опасности, «дерево» событий, «дерево» вероятности проявлений опасности, «дерево» отказов технических систем и т.д.

Вероятность $P(A)$ любого события A определяется неравенством

$$0 \leq P(A) \leq 1. \quad (1.2)$$

Если вероятность равняется 1, это означает, что событие A достоверно; если вероятность равняется 0, это означает, что событие A невозможно.

Для определения вероятности событий используются логические операторы:

- оператор «И»: перед тем, как произойдет событие A , должны произойти оба события B и C . Вероятность совершения события A равна произведению вероятностей B и C ;
- оператор «ИЛИ»: для того, чтобы произошло событие A , должно произойти или событие B , или событие C , или оба события вместе. Вероятность совершения события A равна сумме вероятностей B и C ;
- оператор «НЕ»: независимые события A и A_1 имеют два взаимно исключающих друг друга исхода. Сумма вероятностей событий A и A_1 равна единице.

Для определения вероятности возникновения опасной ситуации производится анализ различных предпосылок; с помощью логических операторов строится «дерево» событий; определяется вероятность каждой из причин возникновения опасной ситуации и взаимосвязь между этими причинами. Вычисляется вероятность возникновения опасной ситуации.

1.4 Принципы, методы и средства обеспечения БЖД

Принципы обеспечения БЖД по признаку реализации делят на четыре группы: методологические; медико-гигиенические; организационные; технические.

Методологические принципы определяют направление поиска решений для обеспечения безопасности. К ним относятся принципы: системности (любое явление или объект рассматривается как элемент системы); информации (обучение, инструктаж, цвета и знаки безопасности); сигнализации и оповещения (звуковая или световая сигнализация); классификации (объекты в зависимости от степени опасности делятся на классы и группы).

Медико-гигиенические принципы: контроль состояния здоровья человека; профилактика заболеваний; методы лечения; восстановление после заболеваний; установление нормативных показателей для вредных факторов. Устанавливаются нормы микроклимата, предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе, допустимые уровни шума и вибрации, предельные значения показателей электромагнитного поля, допустимые величины освещенности, нормы переноса тяжестей и др.

Организационные принципы: надзор за выполнением требований и нормативов по безопасности и обеспечению жизнедеятельности; контроль безопасности жизнедеятельности; защита человека «временем», что предполагает сокращение длительности нахождения человека в опасной зоне, установление сокращенного рабочего дня на вредных производствах и перерывов в работе.

Технические принципы: изоляции (теплоизолирующие, звукоизолирующие конструкции, электроизоляция, виброизоляторы); экранирования (экраны от звуковых волн, от электромагнитных излучений); поглощения (звукопоглощающие и вибропоглощающие материалы); фильтрации (фильтры, задерживающие вредные вещества); разбавления (уменьшение концентраций вредных веществ до нормативных значений); слабого звена (предохранители, разрывные мембраны); отвода энергии в безопасное русло (защитное заземление).

Методы обеспечения БЖД заключаются в адаптации человека к окружающей среде и реализуют возможности профессионального отбора и психологического воздействия. Применяют средства дистанционного управления, автоматизации, роботизации, устранения опасности.

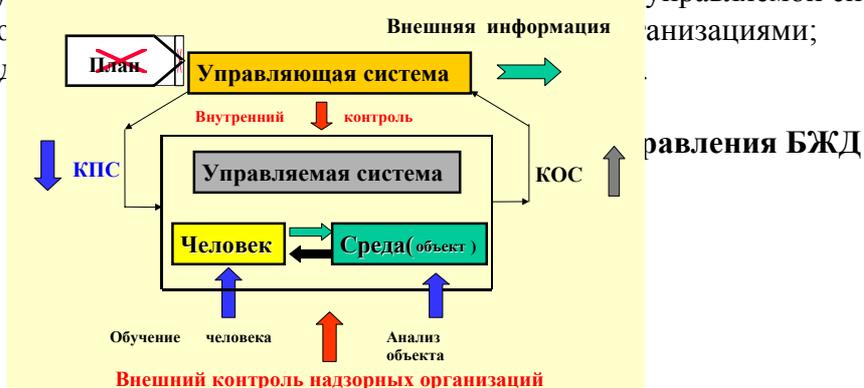
Средства обеспечения БЖД делят на средства коллективной защиты (СКЗ) и средства индивидуальной защиты (СИЗ).

1.5 Управление БЖД

Управление БЖД – организованное воздействие на систему «человек-среда» с целью обеспечения безопасности для человека с заданной степенью вероятности. Управлять БЖД – значит, осознанно переводить объект из одного состояния (опасного) в другое (менее опасное).

При построении схемы управления (см. рис. 1.2) должны соблюдаться условия экономической и технической целесообразности:

- управляющая система начинает функционировать по плану или заданию на основе нормативно-правовых требований;
- управляющая система по каналам прямой связи (КПС) оказывает воздействие на управляемую систему;
- объект среды делится на элементы, строится «дерево» причин возникновения опасных ситуаций, разрабатываются средства защиты человека;
- производится обучение и инструктаж человека;
- по каналам обратной связи (КОС) управляющая система получает информацию от управляемой системы и корректирует свои действия;
- осуществляется внутренний контроль за работой управляемой системы;
- пр...
- выд...



1.6 Психология БЖД

Антропогенные опасности инициируются человеком и обусловлены свойствами его нервной системы, психологическим статусом и психическим состоянием. Психические процессы контролируют регуляцию поведения человека, благодаря чему обеспечивается адаптация организма к окружающей среде и возможность жизнедеятельности.

Свойства нервной системы человека, влияющие на ориентацию человека в опасных ситуациях, – это динамичность, характеризующая скорость протекания психических процессов (темп деятельности, скорость обучения, скорость принятия решений); подвижность – скорость смены процессов возбуждения и торможения; продуктивность в стрессе – быстрота принятия решений в критических условиях; лабильность – скорость возникновения и прекращения нервного процесса.

Психологический статус человека определяется его темпераментом. Различают четыре типа темперамента:

- *сангвиник* – характеризуется высокой динамичностью; живой, подвижный, легко и быстро обучаемый, продуктивен в стрессе, не расположен к монотонной деятельности;
- *холерик* – напорист, активен, неуравновешен и конфликтен; нервная система отличается высокой подвижностью; может принимать поспешные необдуманные решения и создавать опасные ситуации;
- *меланхолик* – легко раним, мнителен, нерешителен; нервная система отличается низкой подвижностью; в стрессе он недостаточно продуктивен;
- *флегматик* – отличается низкой подвижностью и динамичностью нервной системы; его непродуктивность в стрессе может привести к опасным ситуациям.

Психическое состояние отражает уровень психической активности, обусловленной функциональным состоянием мозга. Виды психических состояний: гиперактивность, ровное состояние, депрессия.

Выделяется группа особых психических состояний: пароксизмальные; психогенные изменения настроения; связанные с приемом активных средств. Пароксизмальные состояния – это группа таких расстройств как эпилепсия, обмороки и др. Подобные заболевания могут вызывать губительные последствия при деятельности, связанной с повышенным риском. Психогенные изменения настроения (аффективные состояния) сопровождаются ухудшением самоконтроля, эмоциональным сужением объема сознания. Лица, склонные к таким состояниям, относятся к категории с повышенным риском травматизма. При употреблении наркотических веществ и алкоголя замедляется реакция, снижается чувство осторожности, повышается вероятность ошибки.

Существуют психологические методы повышения безопасности: воспитание, пропаганда, поощрение, вознаграждение – имеют мотивационную направленность воздействия; обучение, инструктаж – ориентировочную; профессиональный отбор, медицинский контроль – исполнительную.

2 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ И ГИГИЕНА

Целью производственной санитарии является создание системы организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие на работающих вредных производственных факторов различной физической природы и направленных на обеспечение нормальных условий труда. К производственной санитарии относятся *гигиена труда* – область профилактической медицины, изучающая условия сохранения здоровья на производстве и *санитарная техника* – устройства и мероприятия технического характера, направленные на обеспечение человеку благоприятных условий труда и компенсации воздействия производственных опасностей.

2.1 Производственный микроклимат

Микроклимат оценивают сочетанием четырех факторов: температура воздуха t_v , °С; скорость движения воздуха w_v , м/с; относительная влажность φ , %; радиационная температура излучающих поверхностей $t_{рад}$, °С.

Организм человека постоянно находится в состоянии теплообмена с окружающей средой. Вследствие белкового, углеводного и жирового обмена в организме вырабатывается тепло (теплопродукция) Q_T ,

количество которого зависит от рода деятельности и интенсивности выполняемой работы. Это тепло для спокойного состояния человека составляет 80...100 Вт.

Теплопродукция организма отдается в окружающую среду посредством конвекции, излучением тепла и испарением влаги с поверхности кожи.

Тепло, передающееся конвекцией, определяется формулой

$$Q_k = \alpha F (t_T - t_B), \quad (2.1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, который зависит от скорости движения воздуха, Вт/м² К; F – площадь поверхности тела, м²; t_T и t_B – температуры тела и окружающего воздуха, соответственно, °С.

Конвективная отдача тепла зависит от скорости движения и температуры воздуха. Отдача тепла излучением $Q_{изл}$ происходит, если температура тела больше температуры стен. Теплоотдача за счет испарения влаги $Q_{исп}$ с поверхности кожи зависит от влажности воздуха, а для открытых участков тела еще и от скорости его движения.

Абсолютная влажность воздуха A (кг влаги/кг возд.) – количество водяного пара, содержащегося в 1 кг воздуха при данной температуре и давлении. Максимальная влажность F (кг влаги/кг возд.) – максимальное количество водяного пара, которое может содержаться в 1 кг воздуха при данных условиях. Относительная влажность φ определяется как

$$\varphi = \frac{A}{F} 100, \%. \quad (2.2)$$

Нормальные для определенного вида деятельности теплоощущения человека характеризуются уравнением теплового комфорта

$$Q_T = Q_k + Q_{изл} + Q_{исп}. \quad (2.3)$$

В организме человека имеется психофизиологическая система терморегуляции, позволяющая ему адаптироваться к изменениям климатических факторов и поддерживать нормальную постоянную температуру тела. Терморегуляция осуществляется двумя процессами: выработкой тепла и теплоотдачей, течение которых регулируется ЦНС. При нарушении этого равенства возможно ухудшение самочувствия, переохлаждение или перегрев организма.

Гипотермия (переохлаждение) начинается, когда теплопотери становятся больше теплопродукции организма, а система терморегуляции не справляется с этими изменениями:

$$Q_T < Q_k + Q_{изл} + Q_{исп}. \quad (2.4)$$

Нарушается кровоснабжение, что вызывает простудные заболевания, невриты, радикулиты, заболевания верхних дыхательных путей.

В результате гипотермии вначале наблюдается отклонение от нормального поведения, а затем апатия, усталость, ложное ощущение благополучия, замедленные движения, угнетение психики, а в тяжелых случаях – потеря сознания и летальный исход.

Гипертермия (перегрев) наблюдается при нарушении уравнения теплового комфорта, когда внешняя теплота $Q_{вт}$ суммируется с теплопродукцией организма и эта сумма превышает величину теплопотерь

$$Q_{вт} + Q_T > Q_k + Q_{изл} + Q_{исп}. \quad (2.5)$$

При гипертермии возникает головная боль, учащенный пульс, снижение артериального давления, поверхностное дыхание, тошнота. При тяжелом поражении возможна потеря сознания. Эти симптомы характерны для теплового и солнечного ударов.

Повышенная влажность воздуха более 75 % ускоряет развитие гипертермии и гипотермии.

2.1.1 Нормирование микроклимата

Климатические факторы действуют на человека комплексно. В то же время установлены комфортные значения для каждого из них:

- температура воздуха 20...25 °С;
- относительная влажность 30...60 %;
- скорость движения воздуха для легкой работы 0,2...0,4 м/с.

Для производственных помещений факторы микроклимата нормируют как оптимальные и допустимые в зависимости от периода года (теплый, холодный) и от категории работы по степени тяжести (легкая, средней тяжести и тяжелая).

2.1.2 Измерение климатических параметров

Для измерения температуры используют термометры технические стеклянные (ртутные, спиртовые), термоанемометры, термографы, портативные цифровые термометры. Из технических стеклянных термометров наиболее распространены ртутные. Недостатком этих термометров является значительное время (3...4 мин), затрачиваемое на измерение. С помощью термоанемометров производится измерение температуры в точке за несколько секунд, они также измеряют скорость движения воздуха. Для непрерывных наблюдений за температурой применяют термографы.

Скорость движения воздуха может быть измерена анемометрами (крыльчатый, чашечным, тепловым). Анемометры бывают механические и электронные. Крыльчатый анемометр предназначен для измерения скоростей воздушного потока от 0,3 до 5 м/с, а чашечный – от 5 до 20 м/с. Чашечный анемометр служит в основном для измерения подачи вентиляционных систем и скоростей ветра. Малые скорости движения воздуха (менее 0,5 м/с) измеряют кататермометрами (тепловыми анемометрами).

Измерение относительной влажности производится гигрометрами, стационарными и аспирационными психрометрами. Принцип действия психрометра основан на разности показаний сухого и смоченного термометров в зависимости от влажности окружающего воздуха. Относительная влажность определяется по психрометрическому графику.

2.1.3 Улучшение микроклимата. Вентиляция и отопление

Улучшение микроклимата достигается:

- в холодный период года – применением теплоизолирующих материалов и систем отопления;
- в теплый период года – использованием вентиляции и систем кондиционирования воздуха (СКВ).

Цель отопления – компенсировать потери теплоты. Потери теплоты в помещении $Q_{п}$ складываются из потерь на ограждения $Q_{огр}$ и на остеклении $Q_{ост}$. Система отопления должна иметь теплопроизводительность не меньшую, чем величина теплопотерь. Системы отопления делят на паровые, водяные, воздушные, электрические, топливные.

Назначение вентиляции – обеспечение чистоты воздуха и заданных метеорологических условий в производственных помещениях. Вентиляция по способу перемещения воздуха делится на естественную, искусственную, смешанную. **Естественная вентиляция** осуществляется под действием гравитационного давления за счет разности плотностей холодного и теплого воздуха, а также ветровым напором. Организованная естественная вентиляция называется аэрацией. При **искусственной вентиляции** воздух подается осевыми или центробежными вентиляторами. Осевые вентиляторы применяют, когда требуется получить значительную производительность, а центробежные – для обеспечения высокого давления.

По месту действия вентиляция бывает местной и общеобменной.

При локальном выделении вредных веществ применяют **местную вытяжную** вентиляцию, которая бывает закрытого (вытяжные шкафы, окрасочные камеры, кожухи, укрывающие пылящее оборудование) и открытого типа (вытяжные зонты, вытяжные панели).

Количество воздуха, которое надо удалить через устройство закрытого типа, определяется по формуле

$$V = 3600 F w, \text{ м}^3 \text{ч}, \quad (2.6)$$

где F – суммарная площадь поперечного сечения рабочих проемов, м^2 ; w – скорость движения воздуха, которая принимается в пределах 0,15...1,5 м/с в зависимости от класса опасности вещества.

Для очистки вентиляционных выбросов от пыли используются пылеосадительные камеры, циклоны. Устройства местной вентиляции могут иметь различную конструкцию. Индивидуальными средствами защиты служат респираторы.

Общеобменная вентиляция предназначена для смены воздуха во всем помещении.

Количество воздуха V , которое надо подать в помещение для **поглощения избыточной теплоты**,

$$V = \frac{Q_{\text{изб}}}{c \rho (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}})}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (2.7)$$

где $Q_{\text{изб}}$ – количество выделяющегося избыточного тепла, Дж/ч; c – удельная теплоемкость воздуха, Дж/кг·град; ρ – плотность поступающего воздуха, кг/м³; $t_{\text{вн}}$, $t_{\text{нар}}$ – температура воздуха рабочей зоны и наружного воздуха, °С.

Избыточная теплота определяется теплом, излучаемым от людей $Q_{\text{люд}}$, оборудования $Q_{\text{обор}}$, осветительных приборов $Q_{\text{осв}}$, солнечной радиации $Q_{\text{рад}}$ и теплом, выходящим через ограждение $Q_{\text{огр}}$:

$$Q_{\text{изб}} = Q_{\text{обор}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{рад}} + Q_{\text{огр}}. \quad (2.8)$$

Количество воздуха V , которое надо подать в помещение для **компенсации избыточной влажности**,

$$V = \frac{M_{\text{изб}}}{\rho (x_{\text{вн}} - x_{\text{нар}})}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (2.9)$$

где $M_{\text{изб}}$ – количество выделяющейся избыточной влаги, кг/ч; ρ – плотность поступающего воздуха, кг/м³; $x_{\text{вн}}$, $x_{\text{нар}}$ – влагосодержание удаляемого и поступающего воздуха, кг/кг возд.

Интенсивность общеобменной вентиляции характеризуется **кратностью воздухообмена** K , который показывает, сколько раз в течение часа воздух в помещении должен быть заменен полностью,

$$K = \frac{V}{V_{\text{п}}}, \text{ ч}^{-1}, \quad (2.10)$$

где V – объем воздуха для вентиляции, м³/ч; $V_{\text{п}}$ – объем помещения, м³.

Для большинства помещений химических производств при нормальном ведении технологического процесса K колеблется от 3 до 10.

2.2 Вредные вещества

Химические вредные вещества по характеру воздействия на человека и по вызываемым последствиям делят на группы:

- общетоксичные (ртуть, соединения фосфора);
- раздражающие (кислоты, щелочи, аммиак, хлор, сера);
- аллергенные (соединения никеля, алкалоиды);
- нервно-паралитические (аммиак, сероводород);
- удушающие (окись углерода, ацетилен, инертные газы);
- наркотические (бензол, дихлорэтан, ацетон, сероуглерод);
- канцерогенные (ароматические углеводороды, асбест);
- мутагенные (соединения свинца, ртути, формальдегид);
- влияющие на репродуктивную функцию (свинец, ртуть).

Наиболее распространенные в производстве и быту токсичные вещества оказывают различное действие на человека:

- раздражение дыхательных путей, слизистых оболочек, приступы кашля, боли в горле (SO₂);
- тошнота, рвота, одышка, учащенный пульс (H₂S);
- учащенное дыхание, уменьшение поступления кислорода в легкие (CO₂);
- уменьшение рабочей поверхности легких, профессиональные заболевания – пневмокониозы (фиброгенные пыли – металлические, пластмассовые, кремниевые, древесные и др.);
- раздражение глаз, тошнота, боль в груди, удушье, головокружение, рвота, летальный исход может наступить от сердечной недостаточности (NH₃);
- раздражение дыхательных путей, поражение дыхательного центра, летальный исход наступает от отека легких (Cl₂);
- эритроциты крови захватывают окись углерода и уже не переносят в достаточной степени кислород: головная боль, тошнота, слабость, потеря сознания, летальный исход (CO);
- неблагоприятные изменения в составе крови (Pb);
- слабость, апатия, утомляемость (ртутная неврастения), ртутный тремор (Hg);

- вещества, повышающие риск сердечно-сосудистых заболеваний – ртуть, свинец, кадмий, кобальт, никель, цинк, олово, сурьма, медь (тяжелые металлы);
- соединение с гемоглобином, образование метгемоглобина, кислородное голодание (нитраты);
- отравление, обжигание, потеря сознания, паралич дыхания и двигательного центра (пестициды – соединения мышьяка, хлора, фосфора).

2.2.1 Нормирование содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Мерой содержания пылей и газообразных веществ в воздухе является их концентрация в мг/м³.

Устанавливаются нормативные показатели:

- относительно безопасные уровни воздействия (ОБУВ);
- предельно допустимая концентрация (ПДК) – это концентрация, при которой в течение всего рабочего стажа не должно возникнуть профессиональных заболеваний;
- средние смертельные дозы при попадании в желудок (ССДЖ), при нанесении на кожу (ССДК), концентрации в воздухе (ССКВ).

По наиболее опасной величине этих показателей вредные вещества делят на четыре класса: чрезвычайно опасные (1), высокоопасные (2), умеренно опасные (3) и малоопасные (4).

При одностороннем действии нескольких вредных веществ их концентрации в воздухе рабочей зоны должны удовлетворять условию

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{q_{\text{ПДК}i}} \leq 1, \quad (2.11)$$

где q_i – концентрация i -го вещества в воздухе рабочей зоны, мг/м³; $q_{\text{ПДК}i}$ – предельно допустимая концентрация i -го вещества в воздухе рабочей зоны, мг/м³.

2.2.2 Ослабление действия вредных веществ

Оздоровление воздушной среды достигается использованием:

- средств автоматизации производства;
- герметизации вредных процессов;
- укрытий и камер;
- вентиляции для разбавления вредных веществ;
- местной вытяжной вентиляции закрытого и открытого типа для удаления вредных веществ;
- методов нейтрализации для очистки воздуха от продуктов сгорания топлива;
- фильтров и пылеуловителей;
- респираторов и противогазов.

Количество воздуха V , которое надо подать в помещение для разбавления вредных веществ до безопасных концентраций, определяется по формуле

$$V = \frac{G}{q_{\text{ПДК}} - q_0}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.12)$$

где G – количество выделяющихся вредных веществ, мг/ч; $q_{\text{ПДК}}$ – предельно допустимая концентрация, мг/м³; q_0 – концентрация вредного вещества в поступающем воздухе, мг/м³.

В помещениях с постоянным пребыванием людей минимально необходимое количество воздуха определяется из расчета разбавления углекислого газа до предельной концентрации. Для выполнения этого требования необходимо подать в помещение 33 м³/ч на одного человека.

В случаях, когда количество выделяемых вредных веществ в воздух помещений трудно определить, допускается рассчитывать количество вентиляционного воздуха по кратности воздухообмена, установленного ведомственными нормативными документами.

2.2.3 Измерение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Для измерения *концентрации газообразных веществ* применяются средства экспресс-контроля с индикаторными трубками, комплекты для химического контроля воздуха, переносные и индивидуальные газоанализаторы (одно- и многокомпонентные). Универсальный газоанализатор УГ-2ЮЗ предназначен для измерения значительных концентраций различных газообразных веществ. При просасывании воздуха через индикаторную трубку в последней изменяется цвета порошка;

Для измерения *концентрации пыли* используются весовой и экспрессный метод. Весовой метод заключается в определении массы пыли, находящейся в единице объема воздуха. Для этого объем воздуха пропускается через фильтр, который взвешивается до и после измерения. Используется переносная ротационная установка ПРУ. Экспрессный метод базируется на применении фотопылемеров, оценивающих уменьшение светового потока при прохождении света через запыленную среду.

2.3 Рекомендации по расчету вентиляции

Задачей расчета вентиляции является определение мощности электродвигателя вентилятора

$$N = \frac{V \Delta p \beta}{1000 \eta}, \text{ кВт}, \quad (2.13)$$

где V – объемный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$; Δp – полное гидравлическое сопротивление сети, Па; η – общий КПД вентиляционной установки; β – коэффициент запаса мощности.

При расчете **местной вентиляции** для удаления пыли определенного размера задаются площадью сечения приемника (зонта) с учетом дополнительных отверстий и длиной воздуховода; устанавливают расположение и конструктивный состав вентиляционной установки; определяют плотность и динамическую вязкость удаляемого воздуха при температуре рабочей зоны. Вычисляют критерий Архимеда Ar , характеризующий силу, необходимую для перевода частиц пыли во взвешенное состояние,

$$Ar = \frac{d^3 \rho \rho_c g}{\mu_c^2}, \quad (2.14)$$

где d – диаметр частицы пыли, м; ρ – плотность частицы, $\text{кг}/\text{м}^3$; ρ_c – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; μ_c – динамическая вязкость воздуха, Па·с.

По найденному значению Ar определяют критерий Рейнольдса $Re_{\text{внт}}$ и скорость, при которой частицы пыли переходят во взвешенное состояние

$$Re_{\text{внт}} = \frac{Ar}{18 + 0,61 \sqrt{Ar}}, \quad (2.15)$$

$$w_{\text{внт}} = \frac{Re_{\text{внт}} \mu_c}{d \rho_c}, \text{ м/с}. \quad (2.16)$$

Вычисляют объемный расход удаляемого запыленного воздуха

$$V = w_{\text{пр}} (F_{\text{раб}} + F_{\text{доп}}) \alpha + V_t, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.17)$$

где $w_{\text{пр}} = 1,2 w_{\text{внт}}$, м/с; α – коэффициент запаса ($\alpha = 1,1$); V_t – объемный расход выделяющейся пыли, $\text{м}^3/\text{с}$; $F_{\text{раб}}$, $F_{\text{доп}}$ – площади сечения зонта и дополнительных отверстий, м^2 .

Вычисляют диаметр воздуховода

$$d_b = \sqrt{\frac{V}{0,785 w_b}}, \text{ м}, \quad (2.18)$$

где w_b – скорость воздуха в воздуховоде (м/с) принимается по данным [7].

При расчете **общеобменной вентиляции** необходимо учесть все факторы, ухудшающие качество воздуха рабочей зоны (избыточная теплота, избыточная влажность, выделение вредных веществ). По формулам (2.7), (2.9), (2.12) рассчитывают расходы воздуха, необходимые для корректировки параметров микроклимата по каждому фактору, причем максимальный из трех объемный расход воздуха принимают за расчетную величину при определении мощности вентилятора. Задаются длиной и диаметром воздуховода; определяют гидродинамические константы воздуха при температуре удаляемого воздуха для вытяжной вентиляции и при температуре

поступающего воздуха – для приточной. Температура удаляемого воздуха определяется

$$t_{\text{выт}} = t_{\text{рз}} + \Delta t (H - h_{\text{рз}}), \text{ }^\circ\text{C}, \quad (2.19)$$

где $t_{рз}$ – температура рабочей зоны, определяемая с учетом категории работы и времени года по СН 245-71, °С; Δt – температурный градиент по высоте помещения, $\Delta t = 0,5 \dots 1,5$ °С/м; H – расстояние от пола до центра вытяжных проемов, м; $h_{рз}$ – высота рабочей зоны, м.

Температура поступающего воздуха принимается равной средней температуре июля для данного населенного пункта.

Полное гидравлическое сопротивление сети определяют как сумму слагаемых [7]:

$$\Delta p = \Delta p_{ск} + \Delta p_{тр} + \Delta p_{мс} + \Delta p_{под} + \Delta p_{доп}, \quad (2.20)$$

где $\Delta p_{ск}$ – затраты давления на создание скорости потока на выходе из сети; $\Delta p_{тр}$ – потери давления на преодоление сопротивления трения по длине трубы; $\Delta p_{мс}$ – потери давления на преодоление местных сопротивлений; $\Delta p_{под}$ – затраты давления на подъем жидкости ($\rho g h_{под}$); $\Delta p_{доп}$ – разность давлений в пространстве нагнетания (p_2) и в пространстве всасывания (p_1).

Общий КПД вентиляционной установки η рассчитывается по [7]:

$$\eta = \eta_n \eta_{п} \eta_{д}, \quad (2.21)$$

где η_n – КПД вентилятора; $\eta_{п}$ – КПД передачи; $\eta_{д}$ – КПД двигателя.

Коэффициент запаса мощности выбирается в зависимости от величины N по справочным данным [7].

2.4 Шум

Шум представляет собой комплекс звуков разных частот. Звук – это акустическое гармоническое колебание с определенной частотой. Он характеризуется частотой колебаний f (Гц); звуковым давлением p (Па), представляющим собой разность между мгновенным давлением в волне и атмосферным; интенсивностью (силой) звука I (Вт/м²), равной потоку звуковой энергии, проходящему в единицу времени через 1 м² площади. Интенсивность пропорциональна квадрату звукового давления.

По частоте колебаний звуки классифицируются как инфразвук (частота ниже 20 Гц); слышимый звук (частота 20...20 000 Гц); ультразвук (частота выше 20 000 Гц).

Уровень ощущения звука L пропорционален логарифму интенсивности I , отнесенной к интенсивности I_0 на пороге слышимости (закон Вебера-Фехнера для звука):

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0}, \quad (2.22)$$

где I , p – действующие значения интенсивности и звукового давления, Вт/м², Па, соответственно; $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м², $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па – интенсивность и звуковое давление на пороге слышимости, соответственно.

Уровень звука оценивают в относительных логарифмических единицах – децибелах (дБ). Уровень интенсивности звука численно равен уровню звукового давления (УЗД).

Шум – сложное колебание, его оценивают спектром, т.е. зависимостью УЗД от частоты. По характеру спектра шумы делят на широкополосные и смешанные, в которых присутствуют тональные составляющие. По временной характеристике их делят на постоянные и непостоянные, а последние оценивают эквивалентным уровнем звука. Кроме спектральной характеристики шум оценивают уровнем звука в дБ.

Рассмотрим распространение шума в **открытом пространстве**.

Интенсивность шума в точке открытого пространства

$$I = \frac{P_a}{S}, \quad (2.23)$$

где P_a – звуковая мощность источника шума, Вт; S – площадь измерительной поверхности, окружающей источник шума и проходящей через расчетную точку, м².

Простейшей моделью источника шума является точечный источник, излучающий сферическую волну. Если источник шума со звуковой мощностью расположен на открытой поверхности, то излучение шума происходит в полусферу S с радиусом r

$$S = 2\pi r^2, \text{ м}^2. \quad (2.24)$$

Переходя от абсолютных величин к относительным логарифмическим, уровень интенсивности шума от источника с уровнем звуковой мощности в любой точке открытого пространства можно определить по формуле

$$L = L_p - 10 \lg 2\pi r^2, \quad (2.25)$$

где L – интенсивность шума в искомой точке, дБ; L_p – уровень звуковой мощности источника шума, дБ.

Уровни интенсивности шума при удвоении расстояния от источника уменьшаются на 6 дБ.

В помещении с источником шума интенсивность его в любой точке складывается из интенсивности прямого шума $I_{пр}$ и шума, многократно отраженного от стен помещения $I_{отр}$, т.е. интенсивность суммарного шума можно определить как $I_{сум} = I_{пр} + I_{отр}$.

Отраженный шум упрощенно считается диффузным, т.е. имеющим одинаковую плотность звуковой энергии во всех точках помещения, а прямой шум уменьшается с удалением от источника.

Статистическая теория звукового поля в помещении, используя аппарат теории вероятностей, дает зависимость для определения интенсивности отраженного шума:

$$I_{отр} = \frac{4P_a}{Q}; \quad (2.26)$$

$$Q = \frac{\alpha S_n}{1-\alpha}, \quad (2.27)$$

где Q – акустическая постоянная помещения, которая характеризует его способность поглощать звуковую энергию, m^2 ; α – средний коэффициент звукопоглощения; S_n – полная площадь ограждений помещения, m^2 .

Уровни интенсивности шума L в помещении с источником шума

$$L = L_p + 10 \lg \left(\frac{1}{2\pi r^2} + \frac{4}{Q} \right), \text{ дБ.} \quad (2.28)$$

Уровень шума в помещении, смежном с шумным, определяется

$$L = L_1 - R + L_a, \quad (2.29)$$

где L_1 – уровень шума перед разделяющей стенкой, дБ; R – звукоизоляция разделяющей стенки, дБ; L_a – величина, учитывающая звукопоглощение в смежном помещении, дБ.

2.4.1 Воздействие шума на человека. Нормирование шума

Шум высоких уровней отрицательно влияет на ЦНС, желудок, двигательные функции, умственную работу, зрительный анализатор. Изменяются частота и наполнение пульса, кровяное давление, замедляются реакции, ослабляется внимание, ухудшается разборчивость речи.

Снижается чувствительность органа слуха, что приводит к временному повышению порога слышимости. При длительном воздействии шума высокого уровня возникают необратимые потери слуха и развивается профессиональное заболевание – тугоухость.

Критерием риска потери слуха считается уровень 90 дБ при ежедневном воздействии более 10 лет. Нормируемые параметры: уровни звукового давления в октавных полосах частот и уровень звука в дБ.

2.4.2 Уменьшение шума

Выделяются четыре основных направления борьбы с шумом:

- уменьшение шума в источнике возникновения – наиболее рациональное средство, но часто требует серьезного конструктивного изменения машины;
- организационно-технические мероприятия – уменьшение времени воздействия шума;
- средства коллективной защиты – в их состав входят архитектурно-планировочные мероприятия и конструктивные средства (кожухи, экраны, глушители, звукопоглощающие и звукоизолирующие конструкции);
- средства индивидуальной защиты (СИЗ) – наушники, заглушки, шлемы.

Конструктивные средства уменьшения шума основаны на использовании следующих принципов:

• **экранирование** – способность преград создавать зону «звуковой тени». Эффективность экрана зависит от длины звуковой зоны по отношению к размерам препятствия, т.е. от частоты колебаний. В помещении из-за наличия отраженного шума эффект экрана меньше, чем в открытом пространстве;

• **звукоизоляция** – способность преград отражать звуковую энергию. Звукоизоляция одностенной конструкции R определяется «законом массы»:

$$R = A \lg(f \delta) - C, \quad (2.30)$$

где f – частота колебаний, Гц; δ – поверхностная масса стенки, kg/m^2 ; A, C – эмпирические коэффициенты;

• **звукопоглощение** – способность пористых и рыхловолокнистых материалов, а также резонансных конструкций поглощать звуковую энергию. Звукопоглощающий материал, установленный на стенах помещения, уменьшает составляющую отраженного шума.

Для уменьшения аэродинамического шума систем вентиляции, шума газотурбонаддува и газовыхлопа двигателей применяют реактивные и активные глушители. Звукоизоляция источника шума обеспечивается кожухом, а звукоизоляция рабочего места – изолированной кабиной.

2.5 Вибрация

Вибрация – это механические колебания в твердых телах. Простейший вид колебаний – гармонические. Вибрацию оценивают частотой f (Гц) или периодом колебаний T (с) и одним из трех параметров: амплитудой вибро смещения x_a (м); амплитудой вибро скорости V_a (м/с); амплитудой вибро ускорения a_a (м/с²).

Степень ощущения вибрации оценивают по закону Вебера-Фехнера логарифмической относительной величиной – уровнем вибро скорости L_v :

$$L_v = 20 \lg \frac{V}{V_0}, \text{ дБ}, \quad (2.31)$$

где V – действующее среднеквадратичное значение вибро скорости, м/с;
 V_0 – пороговая вибро скорость, равная $5 \cdot 10^{-8}$ м/с.

Среднеквадратичная вибро скорость в 1,4 раза меньше амплитудного значения.

Вибрации машин и механизмов являются сложными колебаниями, которые могут быть представлены суммой гармонических колебаний. Вибрацию, как и шум, характеризуют спектром в октавных полосах частот.

Низкочастотную вибрацию по способу передачи на человека делят на две группы:

- общую, которая действует на тело сидящего или стоящего человека и оценивается в октавных полосах $f = 2; 4; 8; 16; 31,5; 63$ Гц;

- локальную, которая передается через руки на частотах $f = 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000$ Гц.

Общую вибрацию по источнику возникновения делят на три категории: транспортную (подвижные машины на местности); транспортно-технологическую (краны, погрузчики); технологическую (рабочие места).

2.5.1 Воздействие вибрации на человека и ее нормирование

При действии вибрации высоких уровней возникают болезненные ощущения и патологические изменения в организме. Болезненные ощущения вызываются резонансом внутренних органов, появляются боли в пояснице, а при локальной вибрации – спазм сосудов, онемение пальцев и кистей рук. При длительном воздействии вибрации возможно развитие вибрационной болезни, тяжелая стадия которой неизлечима. Вибрация отрицательно воздействует на ЦНС, возникают головные боли, головокружение, нарушение сердечной деятельности, расстройство вестибулярного аппарата.

Санитарные нормы устанавливают допустимые значения уровня вибро скорости (дБ), вибро скорости (м/с), вибро ускорения (м/с²); при этом учитывается время воздействия вибрации.

Аппаратура для измерения шума состоит из микрофона, измерительного усилителя и фильтра для частотного анализа. Приборы для измерения вибрации включают также датчик вибрации. Применяют следующие измерители шума и вибрации: шумовиброизмерители, шумовиброинтеграторы для определения эквивалентных уровней и др.

2.5.2 Уменьшение вибрации

Существуют следующие способы уменьшения вибрации:

- уменьшение вибрации в источнике возникновения: осуществляют в процессе проектирования и строительства машины; к ним относятся центровка, динамическая балансировка, изменение характера возмущающих воздействий;

- организационно-технические мероприятия, которые включают уменьшение времени воздействия вибрации применением дистанционного управления, сокращение рабочего дня, устройство перерывов в работе;

- средства коллективной защиты: виброизолирующие крепления механизмов и рабочих мест, вибропоглощающие покрытия;

- средства индивидуальной защиты.

Для уменьшения вибрации используются: установка механизма на массивный фундамент, на виброизоляторы (резиновые, пружинные или пневматические), снижающие динамическую силу, передающуюся от машины на фундамент; виброизоляция рабочего места.

Эффективность виброизоляции $L_{\text{виб}}$ – это разность уровней вибрации на фундаменте при жестком $N_{\text{ж}}$ и эластичном $N_{\text{эл}}$ креплении машины

$$L_{\text{виб}} = N_{\text{ж}} - N_{\text{эл}}, \text{ дБ.} \quad (2.32)$$

При выборе виброизоляторов решают две задачи: достижение высокой виброизоляции и обеспечение надежности работы системы.

При понижении свободной частоты колебаний (f_0) эффективность виброизоляции возрастает. При установке машины на резиновые виброизоляторы обычно $f_0 = 20 \dots 50$ Гц, а на пружинные – $2 \dots 6$ Гц, поэтому эффективность пружинных виброизоляторов больше, чем резиновых, особенно в диапазоне низких и средних частот.

К средствам индивидуальной защиты от вибрации относятся виброизолирующие платформы, антивибрационные пояса, виброзащитные рукавицы, антивибрационная и виброгасящая обувь.

2.6 Электромагнитные излучения

Электромагнитные поля (ЭМП) имеют различное происхождение. Природные источники электромагнитных полей (ЭМП): атмосферное электричество, излучение солнца, электрическое и магнитное поля земли и др. Техногенные источники ЭМП: трансформаторы электродвигатели, телеаппаратура, линии электропередач, компьютеры, мобильные телефоны и др.

Процесс распространения ЭМП имеет характер волны, при этом в каждой точке пространства происходят гармонические колебания напряженности электрического E (В/м) и магнитного H (А/м) полей. Векторы E и H взаимно перпендикулярны. В воздухе значение $E = 377$ Н.

Длина волны λ (м) связана со скоростью распространения колебаний c (м/с) и частотой f (Гц) соотношением

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (2.33)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость распространения электромагнитных волн в воздухе.

Спектр электромагнитных колебаний делят на три участка: радиоизлучения с длиной волны $10^5 \dots 10^{12}$ Гц, оптическое излучение с длиной волны $10^{12} \dots 10^{16}$ и ионизирующее излучение с длиной волны $10^{16} \dots 10^{21}$ Гц.

Диапазон электромагнитных колебаний – радиоизлучений – делят на радиочастоты (РЧ) с длиной волны $3 \cdot 10^4 \dots 3 \cdot 10^8$ Гц и сверхвысокие частоты (СВЧ) с длиной волны $3 \cdot 10^8 \dots 3 \cdot 10^{12}$ Гц. Радиочастоты подразделяют на поддиапазоны: длинные волны (ДВ), средние волны (СВ), короткие волны (КВ), ультракороткие волны (УКВ).

В районе источника ЭМП выделяют ближнюю зону (индукции) и дальнюю зону (волновую). Зона индукции находится на расстоянии $R < \lambda/6$, а волновая зона – на расстоянии $R > \lambda/6$. В ближней зоне бегущая волна еще не сформировалась, а ЭМП характеризуется векторами E и H . В волновой зоне ЭМП характеризуется интенсивностью I (Вт/м²), которая численно равна длине вектора потока энергии Π (векторное произведение E и H). Например, в диапазоне РЧ при длине волны 6 м граница зон лежит на расстоянии 1 м от источника ЭМП, а в диапазоне СВЧ при длине волны 0,6 м – на расстоянии 0,1 м от источника. Интенсивность ЭМП убывает обратно пропорционально R^2 .

2.6.1 Воздействие ЭМП на человека. Нормирование

ЭМП вызывает повышенный нагрев тканей человека, и если механизм терморегуляции не справляется с этим явлением, то возможно повышение температуры тела. Тепловой порог составляет 100 Вт/м².

Тепловое воздействие наиболее опасно для мозга, глаз, почек, кишечника. Облучение может вызывать помутнение хрусталика глаза (катаракту). Под воздействием ЭМП изменяются микропроцессы в тканях, ослабляется активность белкового обмена, происходит торможение рефлексов, снижение кровяного давления, а в результате – головные боли, одышка, нарушение сна.

Нормы устанавливают допустимые значения напряженности E в диапазоне РЧ в зависимости от времени облучения отдельно для профессиональной и непрофессиональной деятельности, а в диапазоне СВЧ нормируют интенсивность I .

Самым распространенным источником электромагнитного излучения в производственной сфере в настоящее время является компьютер. Факторы отрицательного воздействия компьютера на человека – это статические нагрузки, нагрузка на зрение, гиподинамия, электромагнитные излучения, электрические поля, психологическая нагрузка.

Последствия регулярной длительной работы на ПК без ограничения по времени и перерывов: заболевания органов зрения – 60 %; болезни сердечно-сосудистой системы – 60 %; заболевания желудка – 40 %; кожные заболевания – 10 %; компьютерная болезнь (синдром стресса оператора) – 30 %.

Минимальное расстояние от глаз до экрана составляет 50 см. Длительность работы на ПК без перерыва – не более двух часов, преподавателей – не более четырех часов в день, студентов – не более трех часов в день; в перерывах необходимо делать упражнения для глаз и проводить физкультпаузу.

Санитарные нормы СанПиН 2.2.2 542–96 устанавливают предельные значения E и H при работе на ПК.

Измерение параметров ЭМП производится В&Н-метром. Прибор объединяет в одном корпусе датчики-измерители электрической и магнитной составляющих на измерение производится раздельно. Применяется для оценки безопасности рабочих мест операторов ЭВМ и аттестации видеотерминалов.

2.6.2 Ионизирующие излучения. Действие на человека. Нормирование

Человек подвергается воздействию ионизирующих излучений (ИИ) при работе с радиоактивными веществами (РВ), при авариях на АЭС, ядерных взрывах, на промышленных и транспортных объектах, при влиянии техногенного фона. Ионизирующие излучения, взаимодействуя с веществом, создают в нем положительно и отрицательно заряженные ионы, в результате чего свойства вещества в значительной степени изменяются. Основная характеристика РВ – активность A – число самопроизвольных ядерных превращений dN за малый промежуток времени dt . Активность измеряется в беккерелях (Бк). Активность в 1 Бк соответствует одному ядерному превращению в секунду.

Существуют ионизирующие излучения двух видов:

- жесткие электромагнитные рентгеновские и γ -излучения, имеют большую проникающую способность;

- корпускулярные (неэлектромагнитные) излучения:

- α – поток ядер гелия, имеющий положительный заряд, сравнительно малую проникающую способность, высокую степень ионизации;

- β – поток электронов, имеющий отрицательный заряд, ионизирующую способность ниже, а проникающую способность выше, чем для α -частиц.

- n – нейтронное излучение, является потоком электронейтральных частиц ядра – нейтронов; имеет значительную проникающую способность и создает высокую степень ионизации.

Для оценки воздействия излучения на человека используются следующие дозовые характеристики:

Экспозиционная доза X оценивает эффект ионизации воздуха рентгеновским и γ -излучением

$$X = \frac{Q}{m}, \text{ Кл/кг}, \quad (2.34)$$

где Q – сумма электрических зарядов ионов одного знака, Кл; m – масса ионизируемого воздуха.

Внесистемная единица экспозиционной дозы – 1 рентген (Р). Мощность экспозиционной дозы

$$P = \frac{X}{t}, \text{ Р/ч}. \quad (2.35)$$

Величина природного фона составляет 10...20 мкР/ч.

Поглощенная доза D – отношение энергии ионизирующего излучения E к массе вещества m_B :

$$D = \frac{E}{m_B}, \text{ Дж/кг}. \quad (2.36)$$

Единица поглощенной дозы – 1 Грей (Гр) = 1 Дж/кг. Внесистемная единица – рад, 1 рад = 0,001 Гр. Для биологической ткани $1\text{Р} = 0,95\text{ рад}$, поэтому экспозиционную дозу в рентгенах и поглощенную дозу в ткани в радах можно считать совпадающими.

Эквивалентная доза H учитывает разный биологический эффект ионизирующих излучений. Измеряется в зивертах (Зв) и определяется произведением поглощенной дозы D на коэффициент относительной биологической активности (коэффициент качества излучения K): $H = DK$. Коэффициенты качества имеют следующие значения: 20 – для α -излучения, 1 – для β - и γ -излучения, 10 – для нейтронного излучения. Внесистемная единица эквивалентной дозы – бэр (биологический эквивалент рада, 1 бэр = 0,01 Зв).

Разнообразные проявления поражающего действия ионизирующих излучений на человека называют лучевой болезнью. Ионизация живой ткани приводит к разрыву молекулярных связей и изменению химической структуры соединений. Нарушаются биохимические процессы и обмен веществ. Тормозятся функции кроветворных органов, происходит увеличение числа белых кровяных телец (лейкоцитов), расстройство деятельности желудочно-кишечного тракта, истощение организма.

Облучение эквивалентной дозой 0,25...0,5 Зв (25...50 Р для гамма-излучения) – незначительные изменения состава крови; 0,8...1,0 Зв (80...100 Р) – начало лучевой болезни; 2,7...3,0 Зв (270...300 Р) – острая лучевая болезнь; 5,5...7,0 Зв (550...700 Р) – летальный исход.

Нормирование ионизирующих излучений. Допустимые дозы ионизирующих излучений регламентируются Нормами радиационной безопасности (НРБ). Установлены три категории облучаемых лиц: категория А – персонал радиационных объектов; категория Б – ограниченная часть населения, которая может подвергаться ионизирующим излучениям; категория В – остальное население (дозы ионизирующих излучений для этой категории считаются не превышающими естественный фон и не нормируются). По прогнозируемой опасности поражения человека при облучении устанавливаются группы критических органов: 1 группа – все тело, красный костный мозг; 2 группа – мышцы, щитовидная железа и др.; 3 группа – костная ткань и др.

2.6.3 Защита от электромагнитных излучений

Для защиты от ЭМП существует ряд средств.

Профессиональный медицинский отбор – к работе с установками электромагнитных излучений не допускаются лица моложе 18 лет, а также с заболеваниями крови, сердечно-сосудистой системы, глаз.

Организационные меры: защиты временем и расстоянием, знаки безопасности.

Технические средства, направленные на снижение уровня напряженностей ЭМП до допустимых значений (экраны поглощающие и отражающие, плоские, сетчатые, оболочковые).

Средства индивидуальной защиты (комбинезоны, капюшоны, халаты из металлизированной ткани, специальные очки со стеклами, покрытыми полупроводниковым оловом).

Защиту от электромагнитных излучений **диапазона РЧ и СВЧ** осуществляют с учетом закономерностей распространения, поглощения и отражения излучений.

Интенсивность электромагнитных излучений I от источника мощностью $P_{\text{ист}}$ уменьшается с увеличением расстояния R по зависимости

$$I = \frac{P_{\text{ист}}}{4\pi R^2}, \quad (2.37)$$

поэтому рабочее место оператора должно быть максимально удалено от источника.

Отражающие экраны изготавливают из хорошо проводящих металлов: меди, алюминия, латуни, стали. ЭМП создает в экране токи Фуко, которые наводят в нем вторичное поле, препятствующее проникновению в материал экрана первичного поля.

Эффективность экранирования

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_1}, \text{ дБ}, \quad (2.38)$$

где I , I_1 – интенсивность ЭМП без экрана и с экраном, соответственно; $L = 50...100$ дБ.

Иногда для экранирования ЭМП применяют металлические сетки. Сетчатые экраны имеют меньшую эффективность, чем сплошные. Их используют, когда требуется уменьшить интенсивность (плотность потока мощности) на 20...30 дБ (в 100...1000 раз).

Поглощающие экраны выполняют из радиопоглощающих материалов (резина, поролон, волокнистая древесина).

Многослойные экраны состоят из последовательно чередующихся немагнитных и магнитных слоев. В результате осуществляется многократное отражение волн, что обуславливает высокую эффективность экранирования.

Защита от **ионизирующих** излучений имеет некоторые особенности. Различают внешнее и внутреннее облучение.

Защита от внешнего облучения осуществляется установкой стационарных или переносных экранов, применением защитных сейфов, боксов. Для сооружения стационарных средств защиты используют бетон, кирпич. В переносных или передвижных экранах в основном используются свинец, сталь, вольфрам, чугун.

Очень опасным является внутреннее облучение α - и β -частицами, проникающими в организм с радиоактивной пылью. Для защиты используют следующие меры: работа с радиоактивными веществами осуществляется в вытяжных шкафах или боксах с усиленной вентиляцией, применяются СИЗ (респираторы, противогазы, резиновые перчатки), выполняется постоянный дозиметрический контроль, а также дезактивация одежды и поверхности тела.

2.7 Освещение. Нормирование и расчет

Световые излучения составляют оптическую часть спектра электромагнитных колебаний. Свет обеспечивает связь организма с окружающей средой, передачу 80 % информации, обладает высоким биологическим и тонизирующим действием. Наиболее благоприятен для человека естественный свет, так как он содержит гораздо большую долю ультрафиолетовых лучей, чем искусственный. При недостаточной освещенности у человека появляется ощущение дискомфорта, снижается активность функций ЦНС, повышается утомляемость. При недостаточной освещенности ухудшается процесс аккомодации и развивается близорукость. При чрезмерной яркости светящейся поверхности может наступить снижение видимости объектов различения из-за слепящего эффекта.

Количественно свет характеризуется следующими основными светотехническими величинами:

Световой поток F (лм) – мощность лучистой энергии, воспринимаемая как свет и оцениваемая по действию на средний человеческий глаз.

Сила света I – пространственная плотность светового потока, заключенного в телесном угле Ω , который конической поверхностью ограничивает часть пространства,

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}, \text{ кд.} \quad (2.39)$$

Освещенность E – поверхностная плотность светового потока, отнесенная к площади S , на которой он распределяется,

$$E = \frac{\Phi}{S}, \text{ лк.} \quad (2.40)$$

Величина освещенности задается нормами.

Измерение освещенности производится люксметрами. Люксметр состоит из измерителя и селенового фотоэлемента с фильтром. Различные фильтры дают коэффициент ослабления освещения в 10...1000 раз и применяются для расширения диапазона измерений.

Яркость поверхности L – отношение силы света к проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную направлению распространения света,

$$L = \frac{I_a}{S \cos \alpha}, \text{ кд/м}^2. \quad (2.41)$$

2.7.1 Оценка и нормирование освещения

Естественное освещение непостоянно в течение суток и поэтому его оценивают относительной величиной – коэффициентом естественной освещенности:

$$\text{КЕО} = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{нар}}} \cdot 100 \%, \quad (2.42)$$

где $E_{\text{вн}}$ – освещенность в данной точке помещения, лк; $E_{\text{нар}}$ – одновременная наружная освещенность от небосвода, лк.

Величина КЕО измеряется в нескольких точках по продольному разрезу помещения, с нормой сравнивается минимальная величина. Нормы освещенности задают в зависимости от точности работы.

Несмотря на то, что глаз человека воспринимает яркость объектов, **искусственное** освещение нормируется величиной освещенности, так как нормирование по яркости каждой из одновременно видимых поверхностей затруднительно. Нормируемым параметром является допустимая минимальная освещенность E (лк), которая устанавливается в зависимости от следующих факторов:

- характеристика зрительной работы (работы по точности делят на восемь разрядов в зависимости от размера объекта различения);
- контраст объекта с фоном различения K , который определяется отношением абсолютной разности между яркостью объекта L_o и фона L_f к яркости фона L_{ϕ} . Различают контраст большой, средний, малый;
- характеристика фона, которая задается в зависимости от коэффициента отражения света ρ (различают фон светлый, средний, темный);
- вид освещения (общее или комбинированное);
- тип источника света: лампы накаливания или газоразрядные (для газоразрядных ламп нормы освещенности задаются выше, так как световая отдача этих ламп больше и нет смысла задавать меньшую нормативную освещенность).

2.7.2 Улучшение светового режима

Искусственное освещение классифицируют по виду (общее равномерное, общее локализованное, комбинированное – общее + местное) и по функциональному назначению (рабочее, дежурное, аварийное). Возможно совмещенное освещение (естественное + искусственное).

Осветительные приборы состоят из источников света (ламп) и осветительной арматуры.

Основные характеристики **источников света**: рабочее напряжение U (В) и электрическая мощность N (Вт); световой поток лампы F (лм); характеристика спектра излучения; срок службы лампы τ (ч); конструктивные параметры (форма колбы лампы, тела накала, наличие и состав газа, заполняющего колбу); световая отдача ϕ (лм/Вт), представляющая собой отношение светового потока к электрической мощности лампы.

В *лампах накаливания* (ЛН) свечение возникает в результате нагрева вольфрамовой нити до высокой температуры. Типы ламп накаливания: НВ – вакуумная; НГ – газонаполненная; НБ – биспиральная. Преимущества ЛН: малые габариты, простота включения, нечувствительность к внешней температуре. Недостатки ЛН: низкая световая отдача (7...20 лм/Вт), небольшой срок службы (до 1000 ч), восприимчивость к изменению напряжения, преобладание в спектре излучения красно-желтых тонов.

Галогенные лампы накаливания отличаются наличием в колбе паров йода, что повышает температуру накала спирали. Образующиеся пары вольфрама соединяются с йодом и вновь оседают на вольфрамовую спираль, препятствуя распылению вольфрамовой нити. Преимущества галогенных ламп: более высокая, чем у ламп накаливания световая отдача (до 40 лм/Вт), срок службы 3000 ч, спектр излучения близок к естественному.

Газоразрядные лампы излучают свет в результате электрических разрядов в парах газов, слой люминофора преобразует электрические разряды в видимый свет. Различают газоразрядные лампы низкого (люминесцентные) и высокого давления.

- Люминесцентные лампы ЛЛ. Марки ламп: ЛБ – лампа белого света, ЛД – лампа дневного света, ЛТБ – лампа теплого белого света, ЛХБ – лампа холодного света, ЛДЦ – лампа с улучшенной цветопередачей. Преимущества ЛЛ: значительная световая отдача (40...80 лм/Вт), большой срок службы (8000 ч), спектр излучения близок к естественному свету. Недостатки ЛЛ: большие габариты, чувствительность к низкой температуре, пульсация светового потока, высокая стоимость.

- Газоразрядные лампы высокого давления. Марки ламп: ДРЛ – дуговая ртутная люминесцентная, ДКсТ – дуговая ксеноновая трубчатая, ДНаТ – дуговая натриевая трубчатая. Преимущества: эти лампы работают при любой температуре. Применяются для открытых площадок и в высоких помещениях.

Осветительные приборы делят на светильники и прожекторы. **Светильники** характеризуются кривыми распределения силы света, защитным углом от ослепления, коэффициентом полезного действия светильника (отношение светового потока светильника к световому потоку источника света). По распределению светового потока делятся на светильники прямого света, преимущественно прямого све-

та, рассеянного света, отраженного света. По исполнению светильники делятся на открытые, защищенные, бризгозащищенные, взрывозащищенные и др.

2.7.3 Расчет освещения

Проектируя осветительную установку, необходимо решать следующие вопросы выбора:

- типа источника света – рекомендуется применять газоразрядные лампы, но в помещениях, где температура воздуха может быть менее $+10^{\circ}$, следует отдавать предпочтение лампам накаливания;
- системы освещения – более экономичной является система комбинированного освещения, но в гигиеническом отношении система общего освещения более совершенна;
- типа светильника – с учетом загрязненности воздушной среды, распределения яркостей и требований взрыво- и пожаробезопасности.

Для расчета применяют метод коэффициента использования светового потока и точечный метод.

Расчет осветительной установки методом *коэффициента использования светового потока* проводят следующим образом.

Выбирают тип источника света и тип светильника, учитывая температуру производственного помещения, характеристики светораспределения, условия среды и требования взрыво- и пожаробезопасности. Размещают светильники на плане помещения по вершинам квадратных полей, расположенных параллельно стене, или по вершинам квадратных полей, расположенных диагонально. Расстояние между светильниками определяется из условия обеспечения равномерного распределения освещенности:

$$l/h = \lambda, \quad (2.43)$$

где h – расстояние от оси лампы до рабочей освещаемой поверхности, м; λ – коэффициент равномерности, определяется по данным [2] для выбранного светильника.

Расстояние от крайних светильников до стены принимается

$$b = (0,3 \dots 0,5) \cdot l, \text{ м.} \quad (2.44)$$

Определяют количество светильников, размещенных на плане помещения.

Определяют освещенность рабочей поверхности E_n (лк) по СНиП II-4-79 в зависимости от разряда выполняемой работы, свойств фона, контраста объекта и фона.

Определяют требуемый световой поток лампы

$$F = \frac{Z K_3 S E_n}{n \eta}, \text{ лм,} \quad (2.45)$$

где Z – коэффициент неравномерности освещения (1,1...1,2); K_3 – коэффициент запаса, который учитывает старение лампы и запыленность (1,3...1,5); S – площадь освещаемой поверхности, м^2 ; n – количество ламп на плане помещения; η – коэффициент использования светового потока, который находят по данным [2], предварительно вычислив индекс помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{(A+B) \cdot h}, \quad (2.46)$$

где A, B – ширина и глубина помещения, м; h – расстояние от рабочей поверхности до светильников, м.

При освещении люминесцентными лампами по этой формуле находят количество ламп в светильнике.

Используя вычисленный световой поток, выбирают по [2] тип лампы, находят ее мощность $P_{\text{таб}}$, световой поток $F_{\text{таб}}$ и проверяют его отклонение Δ от рассчитанного F . Отклонение должно составлять –10...+20 %. При несоответствии отклонения указанному интервалу расчет повторяют, изменяя расстояние между светильниками или высоту подвеса светильника.

Вычисляют мощность осветительной установки

$$P = P_{\text{таб}} n, \text{ Вт.} \quad (2.47)$$

Точечный метод применяют для расчета местного и наружного освещения, а также освещения наклонных поверхностей. Он может быть использован и для расчета общего освещения, особенно при светильниках прямого света.

Необходимый световой поток лампы

$$F = \frac{1000 K_3 E}{\mu \sum E_{\text{усл}}}, \quad (2.48)$$

где μ – коэффициент по учету отраженного света ($\mu = 1,1$); $\sum E_{\text{усл}}$ – суммарная условная освещенность, лк.

Условной освещенностью называется освещенность, создаваемая светильником с лампой $F = 1000$ лм. Условная освещенность для светильников определяется по графикам пространственных изолуок [8].

3 ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Электричество широко распространено в промышленности, являясь одним из базовых элементов механизации и автоматизации производственных процессов. В то же время электрический ток представляет собой большую опасность для человека, поэтому так важно строгое соблюдение мер электробезопасности, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитных полей и статического электричества.

3.1 Воздействие тока на человека

Проходя через организм человека, электрический ток оказывает на него термическое (нагрев, ожоги), электролитическое (разложение крови и других органических жидкостей) и биологическое (раздражение тканей, нарушение внутренних биоэлектрических процессов) воздействие. Это разнообразное воздействие приводит к электротравмам, которые условно разделяют на два вида – местные электрические травмы и электрические удары (общие электрические травмы).

Электрические травмы: ожоги – токовые и дуговые; электрические знаки – это метки тока, возникающие в месте входа тока или по пути прохождения тока (разводы и темные пятна); металлизация кожи – это проникновение брызг расплавленного металла от электрической дуги в кожу; механические повреждения от судорожных сокращений мышц; электроофтальмия – это повреждение роговицы глаз от электрической дуги (например, при сварке);

Электрические удары: при «включении» человека в электрическую сеть образуется замкнутая «цепь поражения», и ток, проходящий через человека I_h , будет определять степень опасности:

$$I = \frac{U_{\text{пр}}}{R_h}, \quad (3.1)$$

где $U_{\text{пр}}$ – напряжение прикосновения, В; R_h – сопротивление тела человека, Ом.

Электрические удары имеют разные последствия. Если человек может самостоятельно оторваться от проводника, жизнедеятельность сохраняется, но впоследствии могут обнаружиться неблагоприятные отклонения в состоянии здоровья. В более тяжелом случае человек не может самостоятельно оторваться от проводника и длительное время находится под действием тока. В результате этого возможно шоковое состояние, паралич органов дыхания, фибрилляция сердца (беспорядочное сокращение волокон сердечной мышцы), что часто приводит к летальному исходу.

3.2 Первая помощь пострадавшему от электрического тока

Главное – это быстрота действий, так как чем больше времени человек находится под током, тем меньше шансов на его спасение.

Для освобождения пострадавшего от действия тока прежде всего необходимо отключить установку с помощью рубильника, штепсельного разъема или вывернуть пробку. Если отключить электропитание нет возможности, действия по спасению человека должны выбираться в зависимости от напряжения: обычные сети (до 1000 В) или высоковольтные сети (более 1000 В).

В сети напряжением до 1000 В для отделения пострадавшего от провода можно использовать одежду, канат, палку, доску. Эти предметы должны быть обязательно сухими. Не следует прикасаться к ногам пострадавшего, так как обувь может быть сырой. Для изоляции рук спасающего используют резиновые перчатки, шарф, рукав, сухую материю. Можно встать на сухую доску или подстилку. Для прерывания тока необходимо подсунуть под пострадавшего сухую доску, перерубить провод топором с деревянной сухой ручкой.

В сети напряжением более 1000 В для отделения пострадавшего от тока необходимо обязательно использовать электрозащитные средства: изолирующие боты, диэлектрические перчатки, а действовать надо изолирующей штангой.

При оказании **первой помощи пострадавшему** необходимо:

- немедленно уложить пострадавшего на спину;
- расстегнуть стесняющую дыхание одежду;
- проверить по движению грудной клетки наличие дыхания;

- проверить наличие пульса;
- проверить состояние зрачка (узкий или широкий);
- обеспечить покой пострадавшему до прибытия врача;
- делать искусственное дыхание и непрямой массаж сердца в случае редкого дыхания или при отсутствии признаков жизни.

3.3 Факторы, влияющие на опасность поражения током

Исход воздействия тока на человека зависит от совокупности условий, важнейшими из которых являются:

- сила тока, время и путь его прохождения через человека (наиболее опасные пути – «рука-рука», «рука-нога», «левая рука-ноги»)

Пороговые значения силы тока представляют собой величины тока, при которых на человека оказывается определенное воздействие. Для переменного тока частотой 50 Гц установлены пороги: осязаемый ток (1...3 мА); неотпускающий ток (10...15 мА); ток, вызывающий паралич дыхательных мышц (60...80 мА); фибрилляционный (смертельный) ток (100 мА при $\tau > 0,5$ с).

Безопасная для человека сила переменного тока составляет 0,3 мА. Предельная сила тока при времени воздействия 1 с составляет 50 мА, а при времени 3 с – 6 мА.

Постоянный ток менее опасен, поэтому пороговые значения для него несколько выше: 6...7 мА – осязаемый ток; 50...60 мА – неотпускающий ток; 300 мА – фибрилляционный при длительности воздействия более 0,5 с;

- род и частота тока (переменный ток считается более опасным, чем постоянный, причем с повышением частоты опасность тока снижается);

- вид электрической сети (обычно сети с ЗНТ более опасны, чем сети с ИНТ);

• сопротивление тела человека R_h , которое лежит в пределах 0,3...100 кОм, но обычно составляет 2000...10 000 Ом, причем сопротивление внутренних органов человека равно 300...500 Ом. R_h зависит от состояния кожи (сухая, влажная, поврежденная), состояния здоровья, психофизиологических особенностей, фактора «внимания». При расчетах сопротивление тела человека R_h принимается равным 1000 Ом;

• условия внешней среды: сырость, высокая температура окружающего воздуха, токопроводящая пыль, едкие пары и газы, разрушающе действующие на изоляцию электроустановок, понижают электрическое сопротивление тела человека. Воздействие тока на человека усугубляют также токопроводящие полы и близко расположенные к электрооборудованию металлические конструкции, имеющие связь с землей. Наличие этих факторов служит основой для **классификации помещений по опасности поражения людей электрическим током**. Согласно ПУЭ, помещения делят на три группы:

– *помещения с повышенной опасностью*, в которых имеет место одно из следующих условий: относительная влажность воздуха более 75 %; токопроводящий пол; токопроводящая пыль; температура воздуха более +35 °С;

– *особо опасные помещения*, характеризующиеся наличием одного из следующих условий: относительная влажность воздуха около 100 %; химически активная среда, способная разрушать изоляцию; одновременно два или более условий первой группы;

– *помещения без повышенной опасности*, где отсутствуют вышеупомянутые условия.

В зависимости от группы помещения выбирают средства электробезопасности.

3.4 Анализ условий поражения электрическим током

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара возможны лишь при замыкании электрической цепи через тело человека. Напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек, называется напряжением прикосновения. Опасность такого прикосновения зависит от ряда факторов: схемы замыкания цепи тока через тело человека, напряжения сети, схемы самой сети и режима ее нейтральной точки (в промышленности широко используются два вида электрических сетей: четырехпроводные с заземленной нейтральной точкой (НТ) и трехпроводные с изолированной НТ, см. рис. 3.1), степени изоляции токоведущих частей от земли и т.д.

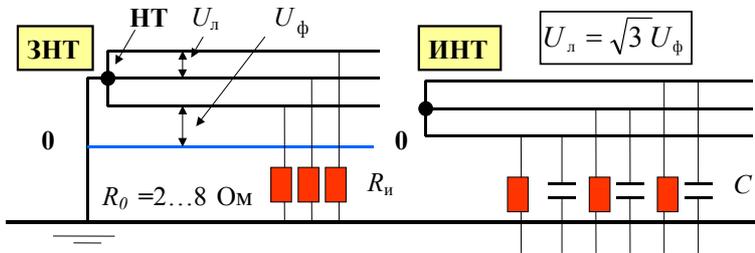


Рис. 3.1 Схемы электрических сетей:

ЗНТ – сеть с заземленной нейтральной точкой (НТ) трансформатора; ИНТ – сеть с изолированной НТ; (0–0) – нулевой защитный проводник; R_0 – рабочее заземление НТ; $R_{и}$ – сопротивление изоляции фазы относительно земли; C – емкость; $U_{л}$ – линейное напряжение (380 В); $U_{ф}$ – фазное напряжение (220 В)

Все многообразие случаев поражения человека электрическим током является следствием одного из следующих условий:

- случайное двухфазное или однофазное прикосновение к токоведущим частям в результате ошибочных действий при проведении работ, неисправности защитных средств и др.;
- приближение человека на опасное расстояние к шинам высокого напряжения (по нормативам минимальное расстояние – 0,7 м);
- прикосновение к металлическим нетоковедущим частям оборудования, которые могут оказаться под напряжением из-за повреждения изоляции или ошибочных действий персонала;
- попадание под шаговое напряжение при передвижении человека по зоне растекания тока от упавшего на землю провода или замыкания токоведущих частей на землю.

Двухфазное прикосновение к токоведущим частям – к двум фазным проводам (рис. 3.2, а) или к фазному и нулевому проводу (рис. 3.2, б) – является наиболее опасным для жизни человека.

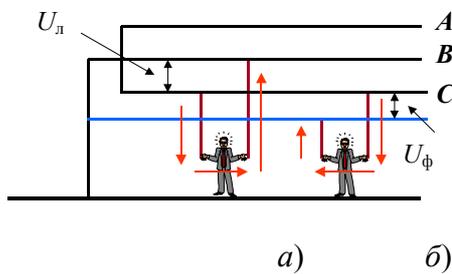


Рис. 3.2 Двухфазное прикосновение к токоведущим частям

Ток I_h , проходящий через человека, и напряжение прикосновения (разность потенциалов двух точек цепи, которых касается человек поверхностью кожи) $U_{пр}$ при сопротивлении человека R_h (путь тока «рука–рука»):

$$a) \quad I_h = \frac{U_{л}}{R_h}, \quad (3.2)$$

$$U_{пр} = I_h R_h = U_{л} = 380 \text{ В}, \quad (3.3)$$

$$б) \quad I_h = \frac{U_{ф}}{R_h}, \quad (3.4)$$

$$U_{пр} = I_h R_h = U_{ф} = 220 \text{ В}. \quad (3.5)$$

Однофазное прикосновение к сети с ЗНТ (рис. 3.3) менее опасно, чем двухфазное прикосновение, так как в цепь поражения включается сопротивление обуви $R_{об}$ и пола $R_{п}$ (путь тока – «рука–нога»).

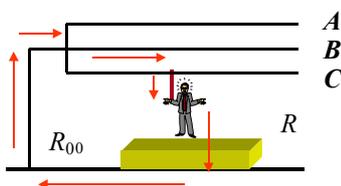


Рис. 3.3 Однофазное прикосновение к сети с ЗНТ

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_0 + R} = \frac{U_\phi}{R}, \quad (3.6)$$

$$U_{np} = \frac{U_\phi R_h}{R}, \quad (3.7)$$

$$R = R_h + R_{об} + R_{п}. \quad (3.8)$$

Цепь поражения: фаза C – R_h – $R_{об}$ – $R_{п}$ – R_0 – фаза C.

Однофазное прикосновение к сети с ИИТ (рис. 3.4) менее опасно, чем для сети с ЗНТ при нормальном сопротивлении изоляции $R_{из}$, но опасность для сети большой протяженности может возрасти из-за наличия емкостного тока.

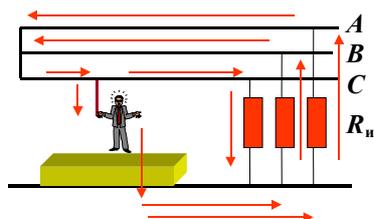


Рис. 3.4 Однофазное прикосновение к сети с ИИТ

При одинаковом сопротивлении изоляции $R_{из}$ каждой фазы суммарное сопротивление изоляции равно $\Sigma R_{из} = R_{из}/3$ (путь тока «нога–нога»), так как

$$\frac{1}{R_{из}} = \frac{1}{R_{изA}} + \frac{1}{R_{изB}} + \frac{1}{R_{изC}}; \quad (3.9)$$

$$I_h = \frac{U_\phi}{R + \frac{R_{из}}{3}}. \quad (3.10)$$

Процесс растекания тока в земле. При замыкании фазы на землю, выносе потенциала протяженным токопроводящим предметом, неисправности в устройстве защитного заземления на поверхности земли появляется значительный электрический потенциал (рис. 3.5).

Процесс растекания тока в земле наблюдается при работе заземлителей, падении на землю оборванного провода, замыкания фазы на землю в результате повреждения изоляции.

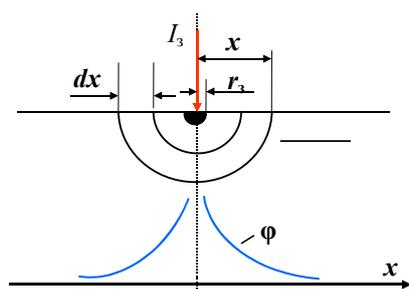


Рис. 3.5 Распределение потенциала на поверхности земли

Будем рассматривать заземлитель-электрод полушаровой формы. Считаем, что земля во всем объеме однородна и обладает одинаковым удельным сопротивлением ρ (Ом · м). Удельное сопротивление грунта – это сопротивление 1 м³ грунта, к противоположным граням которого приложены измерительные электроды. Наибольшую величину ρ имеет зимой в северных районах при промерзании почвы и летом в южных районах, когда почва сухая. Величина ρ составляет 50...400 Ом·м.

Плотность тока при его распространении по полушаровой поверхности

$$i = \frac{I_3}{2\pi x^2}, \text{ А/м}^2, \quad (3.11)$$

где I_3 – сила тока замыкания на землю, А; x – расстояние от электрода до расчетной точки, м.

С другой стороны, плотность тока по закону Ома в дифференциальной форме $i = E/\rho$, где E – напряженность электрического поля, В/м.

Падение напряжения в слое толщиной dx

$$dU_x = E dx = i \rho dx = \frac{I_3 \rho}{2 \pi r^2} dx. \quad (3.12)$$

Потенциал ϕ любой точки на расстоянии r от электрода определяется интегрированием (3.2):

$$\phi = \int_r^{\infty} dU_x = \int_r^{\infty} \frac{I_3 \rho}{2 \pi x^2} dx = \frac{I_3 \rho}{2 \pi} \int_r^{\infty} \frac{dx}{x^2} = \frac{I_3 \rho}{2 \pi r}. \quad (3.13)$$

Последнее выражение является уравнением гиперболы. Максимальный потенциал будет на электроде. Область нулевого потенциала на поверхности земли начинается на расстоянии около 20 м от электрода.

Поражение шаговым напряжением. При стекании тока от упавшего провода в землю происходит процесс растекания тока и спад потенциала. Человек, двигаясь по полю растекания тока, может попасть под шаговое напряжение (рис. 3.6).

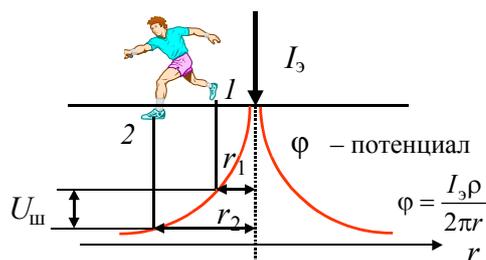


Рис. 3.6 Шаговое напряжение

Напряжение между двумя точками на поверхности земли равно разности потенциалов точек 1 и 2:

$$U_{1-2} = \phi_{r_1} - \phi_{r_2}. \quad (3.14)$$

Оно соответствует шаговому напряжению

$$U_{ш} = \frac{I_3 \rho}{2 \pi r_1} - \frac{I_3 \rho}{2 \pi r_2} = \frac{I_3 \rho}{2 \pi} \left(\frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2} \right). \quad (3.15)$$

Ток, проходящий через человека,

$$I_h = \frac{U_{ш}}{R_h + 2 R_{об}}, \quad (3.16)$$

где R_h – сопротивление тела человека, Ом; $R_{об}$ – сопротивление обуви, Ом.

Из характера кривой спада потенциала видно, что шаговое напряжение убывает по мере удаления от заземлителя и увеличивается при приближении к нему.

Обычно шаговое напряжение меньше, чем напряжение прикосновения, тем не менее, отмечено много случаев поражения людей шаговым напряжением, особенно в высоковольтных линиях. При действии тока в ногах возникают судороги, и человек падает. В результате цепь тока замыкается вдоль его тела через дыхательные мышцы и сердце, причем человек замыкает точки большей разницей потенциалов, так как расстояние между точками увеличивается до размеров роста человека. Выходить из зоны растекания тока надо прыжками на одной ноге или переставляя соединенные вместе ступни с носков на пятки.

3.5 Безопасность при эксплуатации электроустановок

Средства электробезопасности делят на технические и защитные.

Технические средства электробезопасности подразумевают:

- выбор электрооборудования соответствующего исполнения в зависимости от условий эксплуатации (защищенное, брызгозащищенное, взрывозащищенное и др.);
- изоляцию токоведущих частей, которая является первой и основной ступенью защиты. Допустимое сопротивление изоляции для отдельных участков сети составляет 0,3...1 МОм. Изоляцию делят на рабочую, двойную и усиленную. Сопротивление изоляции проверяют при сдаче электроустановок, после их ремонта, при эксплуатации – один раз в год в помещениях без повышенной опасности и два раза в год в помещениях с повышенной опасностью и в особо опасных помещениях;

- защиту от случайного прикосновения к токоведущим частям: ограждения, блокировки; расположение токоведущих частей на недоступной высоте; защитное отключение, реагирующее на прикосновение человека к токоведущим частям;
- применение малых напряжений (12...42 В) в особо опасных помещениях;
- средства уменьшения емкостного тока: включение индуктивной катушки между нейтральной точкой и землей, разделение протяженных сетей на отдельные участки с меньшей емкостью;
- средства защиты от пробоя фазы на корпус оборудования: защитное заземление, зануление, защитное отключение.

Защитное заземление – это электрическое соединение с землей через малое по величине сопротивление (до 10 Ом) металлических нетоковедущих частей оборудования, которые могут оказаться под напряжением из-за пробоя изоляции. При пробое фазы на корпус сравниваются потенциалы оборудования $\varphi_{об}$ и основания $\varphi_{осн}$, а напряжение прикосновения $U_{пр}$ и ток через человека I_h становятся меньше (рис. 3.7):

$$U_{пр} = \varphi_{об} - \varphi_{осн} \quad (3.17)$$

В параллельных ветвях токи обратно пропорциональны сопротивлениям:

$$I_h = I_3 \frac{R_3}{R} \quad (3.18)$$

где R – суммарное сопротивление человека, обуви и пола, Ом.

Применяется в основном в сетях с ИНТ с напряжением до 1000 В.

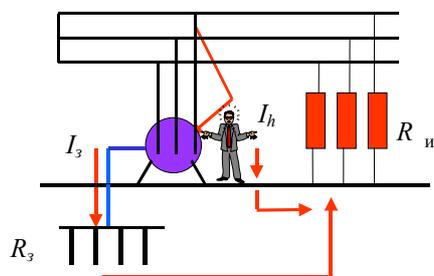


Рис. 3.7 Принцип действия защитного заземления

Заземление бывает искусственное и естественное. Естественные заземлители – это водопроводные и другие металлические трубопроводы, металлические конструкции и арматура железобетонных зданий. Искусственным заземляющим устройством называется совокупность заземлителей, соединительной полосы и заземляющих проводников.

Искусственные заземлители-электроды – это стальные стержни, угловая сталь или стальные трубы диаметром 30...50 мм, длиной 2...3 м, забиваемые в грунт и соединенные стальной полосой с помощью сварки.

По расположению заземлителей относительно электроустановок (ЭУ) заземление делят на выносное и контурное. При выносном заземлении заземлители располагаются на удалении от заземляемого оборудования (рис. 3.8, а), а при контурном заземлении (рис. 3.8, б) – вокруг заземленных электроустановок.

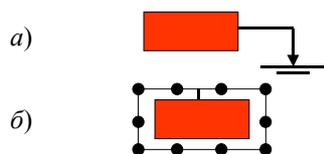


Рис. 3.8 Типы заземления:
а – выносное; б – контурное

Выносное заземление может быть замкнутым (рис. 3.9, а) и рядным (рис. 3.9, б).

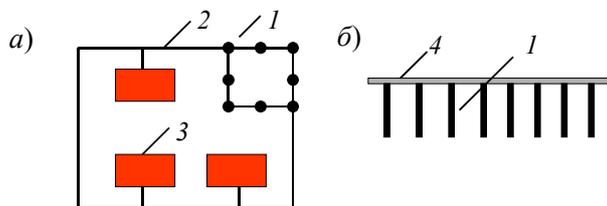


Рис. 3.9 Виды выносного заземления:

a – замкнутое; *б* – рядное; 1 – заземлитель; 2 – заземляющие провода; 3 – электроустановки; 4 – соединительная полоса

Если выносное заземление защищает только за счет своего малого сопротивления, обусловленного большим количеством одиночных заземлителей (20...40 шт.), то при контурном заземлении поля растекания тока от заземлителей накладываются и любая точка поверхности грунта внутри контура имеет значительный потенциал. При этом разность потенциалов между точками внутри контура будет снижена. В этом случае ток, проходящий через человека при его прикосновении к корпусу электроустановки, находящемуся под напряжением, будет меньше, чем при выносном заземлении (рис. 3.10). Иногда для выравнивания потенциалов внутри контура и за его пределами прокладывают горизонтальные полосы:

$$U_{\text{пр}2} < U_{\text{пр}1}.$$

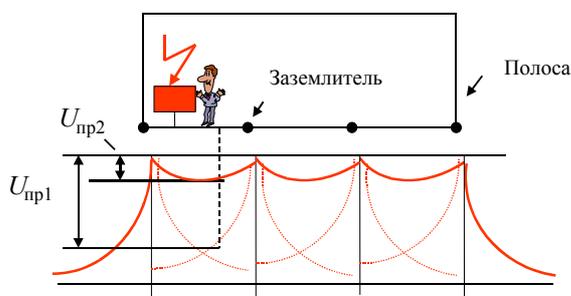


Рис. 3.10 Напряжение прикосновения:

$U_{\text{пр}1}$ – при выносном; $U_{\text{пр}2}$ – при контурном заземлении

Расчет защитного заземления. Сопротивление заземляющего устройства зависит от типа и количества заземлителей, конструкции заземляющего устройства и от свойств и состояния грунта.

Сопротивление системы вертикальных заземлителей

$$R_{\text{в}} = \frac{R_{1\text{в}}}{n \eta_{\text{в}}}, \quad (3.19)$$

где $R_{1\text{в}}$ – сопротивление одиночного вертикального заземлителя (трубы, уголка), Ом; n – количество заземлителей (при расчете этой величиной задаются); $\eta_{\text{в}}$ – коэффициент использования вертикальных заземлителей, определяемый по справочникам [6].

Расчет сопротивления одиночных заземлителей различной формы выполняется по зависимостям, приведенным в [6].

Сопротивление одиночного заземлителя равно 50...100 Ом, что не соответствует требованиям к сопротивлению заземляющего устройства. Допустимое сопротивление равно 10 Ом для установок с напряжением до 1000 В и мощностью трансформатора (генератора) меньше 100 кВА; 4 Ом для установок с напряжением до 1000 В и мощностью трансформатора (генератора) выше 100 кВА. Поэтому количество заземлителей составляет обычно 20...30 шт.

Поля растекания тока от заземлителей накладываются, плотность тока возрастает, сопротивление заземления несколько увеличивается, поэтому в знаменателе формулы вводится коэффициент использования заземлителей $\eta_{\text{в}}$, который лежит в пределах 0,5...0,8.

Одиночные заземлители связаны металлической полосой на сварке. Сопротивление одиночной полосы $R_{\text{г}}$ с учетом экранирования трубами определяется зависимостью

$$R_{\text{г}} = \frac{R_{1\text{г}}}{\eta_{\text{г}}}, \quad (3.20)$$

где $R_{г}$ – сопротивление горизонтальной стальной полосы, соединяющей вертикальные заземлители (справочные данные), Ом; $\eta_{г}$ – коэффициент использования полосы [6].

Общее сопротивление системы заземления как параллельного соединения системы одиночных заземлителей и полосы определяется зависимостью

$$R = \frac{R_{в} R_{г}}{R_{в} + R_{г}}. \quad (3.21)$$

Величина R сравнивается с допустимым значением сопротивления заземления, при необходимости расчет повторяется.

Зануление – это соединение корпуса оборудования с нулевым защитным проводником. При пробое фазы на корпус возникает большой ток короткого замыкания, срабатывают автоматические выключатели (АВ) или сгорают плавкие вставки предохранителей (Пр) и установка отключается (рис. 3.11). Применяется в сетях с ЗНТ напряжением до 1000 В.

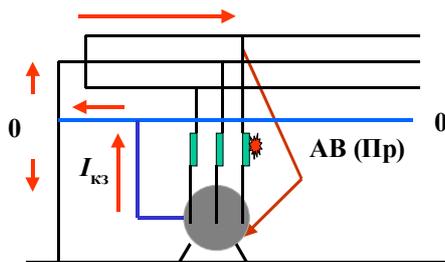


Рис. 3.11 Принцип действия защитного зануления

Условие срабатывания защиты: $I_{кз} > I_{ном} K$, где $I_{ном}$ – номинальный ток срабатывания защиты; K – коэффициент кратности тока.

Устройство защитного отключения (УЗО) – это быстродействующая защита, реагирующая на замыкание фазы на корпус, на землю, на прикосновение человека (рис. 3.12). Характеристики УЗО: устав-ка и время срабатывания (0,05...0,2 с). Применяется как самостоятельное средство защиты и в комплексе с заземлением или занулением.

При пробое фазы на корпус срабатывает реле напряжения РН, настроенное на определенную устав-ку, и установка отключается контактором K .

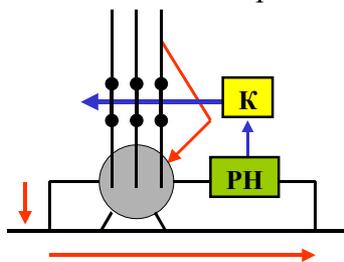


Рис. 3.12 Схема УЗО, реагирующая на изменение напряжения корпуса относительно земли

Электрозащитные средства по функциональному назначению делят на основные и дополнительные. Основные средства длительно выдерживают рабочее напряжение и позволяют работать на токоведущих частях, а дополнительные усиливают действие основных.

Электроустановки напряжением выше 1000 В: основные средства – изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения; дополнительные средства: диэлектрические перчатки, боты, коврики, изолирующие подставки и накладки, переносное заземление, оградительные устройства, плакаты и знаки безопасности.

Электроустановки напряжением до 1000 В: основные средства – те же, что и при напряжении выше 1000 В, а также диэлектрические перчатки, слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками; дополнительные средства: диэлектрические галоши, коврики, переносное заземление, изолирующие подставки и накладки, оградительные устройства, плакаты и знаки безопасности.

3.6 Режимы работы электрических сетей и электроустановок

При нормальных, а тем более, аварийных режимах работы сети и электроустановки (рис. 3.13) всегда существует опасность поражения человека электрическим током. Аварии в сети (например, замыкание фазы на землю) могут приводить к появлению напряжения на поверхности земли; недопустимое снижение сопротивления изоляции фаз относительно корпуса – к появлению напряжения на поверхности установки.

Для обеспечения безаварийной, безопасной и высокопроизводительной работы электроустановок необходимо не только их высокое качество и оснащенность средствами защиты, но и правильный выбор исполнения сети (рис. 3.14) в конкретных условиях эксплуатации.

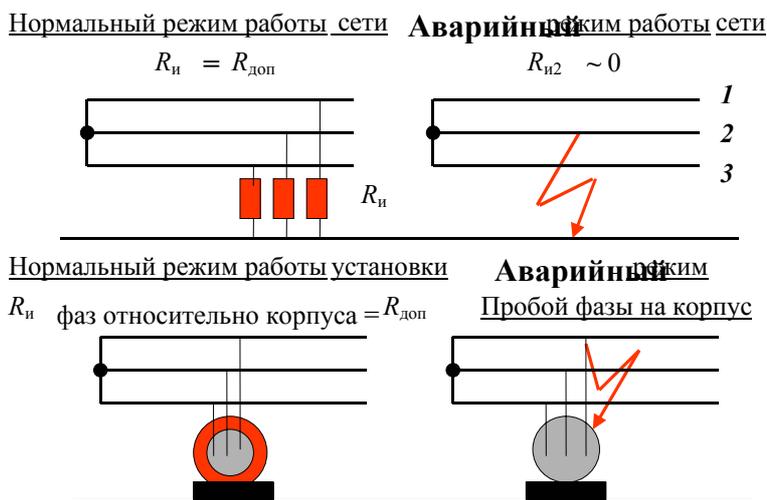


Рис. 3.13 Режимы работы сети и электроустановки

По технологическим требованиям предпочтение часто отдается четырехпроводным сетям с ЗНТ, так как они, по сравнению с трехпроводными, позволяют получить с наименьшими затратами два рабочих напряжения – линейное и фазное.

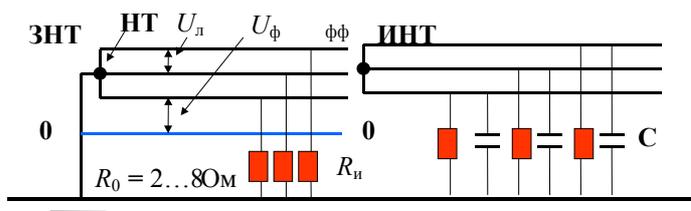


Рис. 3.14 Схемы электрических сетей с ЗНТ и ИНТ

От четырехпроводной сети с ЗНТ можно питать как силовую нагрузку, включая ее между фазными проводами, так и осветительную, включая ее между фазным и нулевым проводником.

Преимущества и недостатки сетей с ИНТ и ЗНТ. Если в сети с ИНТ (рис. 3.15) происходит замыкание фазы на корпус при исправной изоляции других фаз, то значение силы тока, идущего по корпусу, невелико и работа системы не прерывается. При аварийном режиме работы сети сила тока возрастает, что диктует высокие требования к сопротивлению изоляции. Достоинством сети с ИНТ является то, что она менее опасна при нормальном режиме ее работы, чем сеть с ЗНТ.

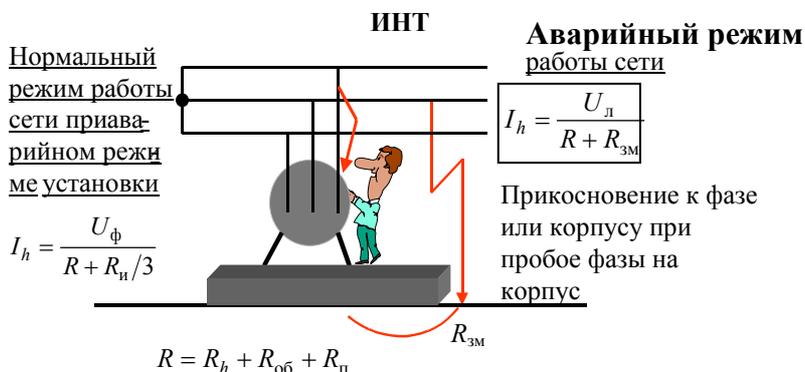


Рис. 3.15 Режимы работы сети с ИНТ

При аварийном режиме работы сеть с ЗНТ (рис. 3.16) будет менее опасна, так как напряжение прикосновения будет меньше линейного напряжения, а если $R_{\text{зм}}$ не равно 0, то напряжение прикосновения близко к фазному. Недостатком сетей с ИНТ является возможность поражения емкостным током при их значительной протяженности. В сетях с ЗНТ этой опасности нет.

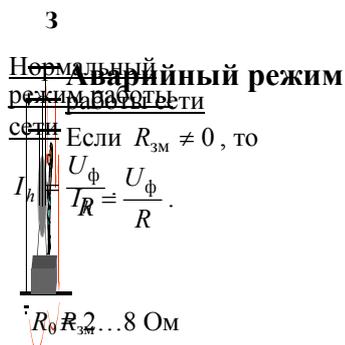


Рис. 3.16 Режимы работы сети с ЗНТ

Схема с ЗНТ при замыкании фазы на корпус отключается, так как срабатывает зануление. В результате замыкания фазы на землю или на корпус возникает ток большой силы, что делает эту схему пожароопасной. При старении и механических повреждениях изоляции оголенный провод, контактируя с любым металлическим предметом, вызывает искрение и дугу, а если в этом случае установлены мощные предохранители, то установка не отключается и вероятность возникновения пожара значительно увеличивается. Пожароопасные ситуации возникают также при перегрузке кабеля.

Сети с ИНТ целесообразно применять, когда необходимо обеспечить стабильную работу во времени; есть возможность поддерживать высокое сопротивление изоляции проводов; протяженность сетей незначительна; велика опасность однофазного прикосновения при расположении человека на токопроводящем полу. Такие сети применяют, например, на передвижных установках.

Сети с ЗНТ применяют, когда: трудно обеспечить хорошую изоляцию проводов из-за высокой влажности или агрессивности среды, нельзя быстро найти и устранить повреждение изоляции, сеть имеет значительную протяженность. Схемы с ЗНТ широко применяют на промышленных предприятиях, в городских и сельских сетях.

3.7 Атмосферное электричество. Молниезащита зданий и сооружений

На земном шаре в среднем за сутки происходит около 44 тысяч гроз, сопровождающихся молниями. Молнией называется разряд между электрически заряженным облаком и землей или между разноименно заряженными областями двух облаков. Электростатическая электризация грозовых облаков происходит в результате движения мощных воздушных потоков и конденсации в них водяных паров. Во время грозового разряда в течение очень короткого времени (около 100 мкс) при токе молнии порядка 100 кА в канале молнии развивается температура до 30 000 °С. Вследствие быстрого расширения нагретого воздуха возникает с большим шумом взрывная волна. Ток молнии производит электромагнитное, тепловое и механическое воздействия на те сооружения, по которым проходит во время удара, что приводит к взрывам, разрушениям и пожарам.

Молниезащитой называется комплекс защитных устройств, предназначенных для обеспечения безопасности людей, сохранности зданий и сооружений, оборудования и материалов.

Здания и сооружения в зависимости от их назначения, а также от ожидаемого ежегодного количества поражений их молнией должны иметь молниезащиту в соответствии с одной из трех категорий устройства:

I – взрывоопасные производственные здания и сооружения, находящиеся в любой местности России;

II – наружные технологические установки, расположенные на всей территории России, относимые ПУЭ к классу В-Iг;

III – здания и сооружения классов П-I, П-II и П-III при условиях: объекты расположены в местностях со средней грозовой деятельностью 20 ч/год и более; ожидаемое количество поражений не менее 0,05 в год для зданий и сооружений I и II степеней огнестойкости; ожидаемое количество поражений не менее 0,01 в год для зданий и сооружений III, IV и V степеней огнестойкости.

Ожидаемое количество поражений в год зданий и сооружений, не оборудованных молниезащитой,

$$N = 10^{-6} (S + 3h_x)(L + h_x)n, \quad (3.22)$$

где S – ширина здания, м; L – длина здания, м; h_x – высота здания, м; n – среднее число поражений молнией 1 км² земной поверхности в год в месте строительства здания, зависящее от активности грозовой деятельности [12].

Для приема электрического разряда молнии и отвода ее токов в землю служат специальные устройства – молниеотводы, состоящие из несущей части, молниеприемника, токоотвода и заземлителя. Наиболее распространены стержневые (рис. 3.17) и тросовые (рис. 3.18) молниеотводы.

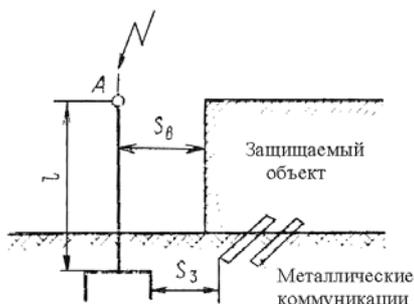


Рис. 3.17 Одиночный стержневой молниеотвод



Рис. 3.18 Отдельно стоящий тросовый молниеотвод

Каждый молниеотвод создает определенную зону защиты – часть пространства, в пределах которого обеспечивается защита зданий и сооружений от прямых ударов молнии.

Для одиночного стержневого молниеотвода высотой $h < 60$ м зона защиты представляет собой конус с образующей в виде ломаной линии (рис. 3.19).

Основание конуса имеет радиус $r_0 = 1,5h$. Горизонтальное сечение зоны защиты на высоте защищаемого сооружения h_x представляет собой круг радиусом r_x (радиус защиты). Для графического представления образующей конуса зоны защиты необходимо соединить вершину молниеотвода с точками на уровне земли, расположенными на расстоянии $0,75h$ от основания молниеотвода в обе стороны от него. Затем точку на молниеотводе, расположенную на высоте $0,8h$, соединить с точками на уровне земли, расположенными на расстоянии $1,5h$ от основания молниеотвода в обе стороны от него.

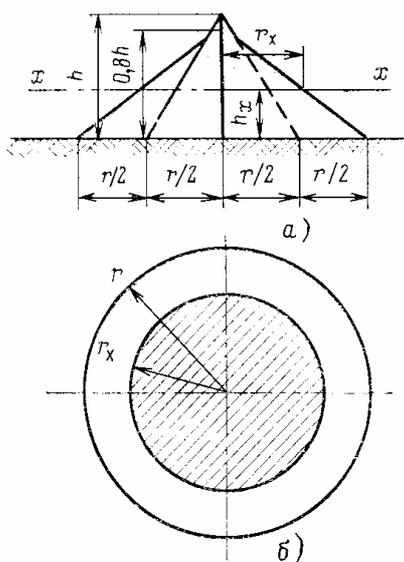


Рис. 3.19 Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 60 м:

a – в разрезе; b – сечение зоны на высоте h_x

Радиус зоны защиты на высоте h_x определяется

$$r_x = 1,5(h - 1,25h_x), \text{ м, при } 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3}h; \quad (3.23)$$

$$r_x = 0,75(h - h_x), \text{ м, при } \frac{2}{3}h \leq h_x \leq h. \quad (3.24)$$

Для одиночного тросового молниеотвода высотой $h < 60$ м зона защиты имеет сложную форму (рис. 3.20).

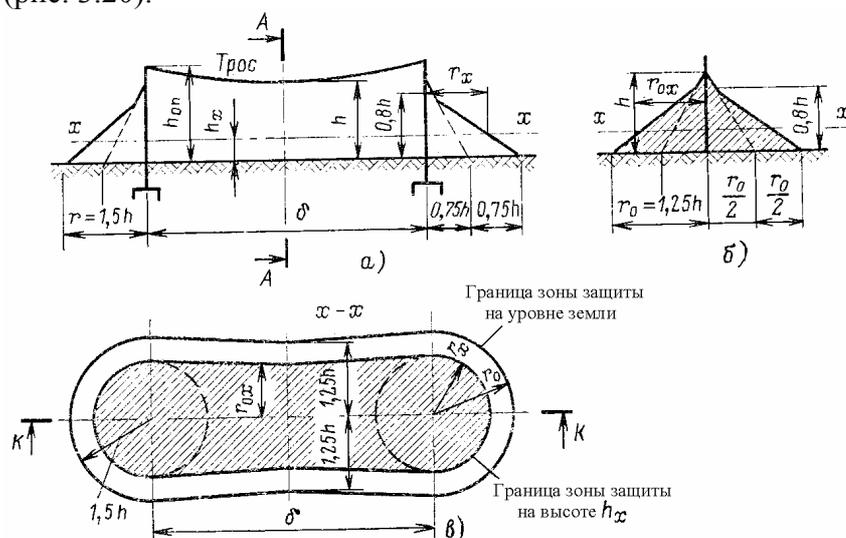


Рис. 3.20 Зона защиты тросового молниеотвода высотой до 60 м:
 а – в вертикальном сечении вдоль троса; б – в вертикальном сечении, перпендикулярном тросу между опорами; в – в горизонтальной плоскости на уровне h_x

Верхняя часть зоны ограничена горизонтальной прямой, проведенной вдоль троса из точки максимального его провеса. Торцевые части зоны защиты определяются как зоны одиночных стержневых молниеотводов. Очертание зоны защиты в вертикальном сечении, перпендикулярном тросу, определяется по правилу построения зоны защитного одиночного стержневого молниеотвода высотой h_0 , представляющей собой в данном случае наименьшую высоту зоны между опорами. Ширина зоны защиты в середине между опорами на уровне земли составляет $2r_0$ (значение r_0 принимается равным $1,25h$), а на высоте h_x равна $2r_{0x}$.

Графическое построение зоны защиты в горизонтальной плоскости на уровне h_x производится путем нанесения окружностей, изображающих зоны защиты, от каждой опоры молниеотвода на высоте h_x и соединением их касательными с точками, находящимися посередине расстояния δ и отстоящими от прямой, соединяющей опоры, на r_{0x} (м).

Зоны защиты в сечении А–А определяются

$$r_{0x} = 1,25(h - 1,25h_x), \text{ м, при } 0 \leq h_x \leq \frac{2}{3}h; \quad (3.25)$$

$$r_{0x} = 0,625(h - h_x), \text{ м, при } \frac{2}{3}h \leq h_x \leq h. \quad (3.26)$$

Для обеспечения расчетной высоты тросового молниеотвода высота опор $h_{оп}$ должна быть выбрана с учетом стрелы провеса. Для пролета $\delta < 120$ м принимают стрелу провеса 2 м; для пролета $\delta = 120 \dots 150$ м – 3 м. Высоту опор определяют как сумму расчетной высоты молниеотвода и стрелы провеса.

4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОСУДОВ И АППАРАТОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Сосуды, работающие под давлением – это герметически закрытые емкости, предназначенные для ведения химических и тепловых процессов, а также для хранения и перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов и жидкостей под давлением.

Основная опасность при работе таких сосудов заключается в возможности их разрушения при физическом взрыве среды. Наиболее частыми причинами аварий и взрывов сосудов, работающих под дав-

лением, являются: несоответствие конструкции максимально допустимому давлению и температурному режиму, повышение давления сверх предельного, потеря механической прочности аппарата (коррозия, внутренние дефекты металла, местные перегревы), несоблюдение установленного режима, отсутствие необходимого технического надзора.

Нормативным документом, регламентирующим нормальные условия работы таких аппаратов, являются «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением». Данные правила распространяются на:

- сосуды, работающие под давлением свыше 0,7 ат;
- цистерны и бочки для перевозки сжиженных газов, давление паров которых при температуре до 50 °С превышает 0,7 ат;
- сосуды и цистерны для хранения и перевозки сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел без давления, но опорожняемые под давлением газа свыше 0,7 ат;
- баллоны, предназначенные для перевозки и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов с рабочим давлением свыше 0,7 ат.

Правила не распространяются на приборы парового и водяного отопления; сосуды емкостью не свыше 25 л, для которых производство емкости в литрах на рабочее давление в ат не превышает 200; части машин, не представляющие собой самостоятельных сосудов (цилиндры двигателей компрессоров и т.д.). Правила устанавливают специальные требования к конструкции и материалам сосудов, к их изготовлению, монтажу, установке, регистрации, техническому освидетельствованию, содержанию и обслуживанию.

4.1 Требования к конструкции, изготовлению и эксплуатации сосудов

Конструкция должна быть надежной, обеспечивать безопасность при эксплуатации и предусматривать возможность осмотра, очистки, промывки и ремонта. Для этого сосуды снабжают лазами ($D \geq 800$ мм) или люками ($D \leq 800$ мм). Внутренние устройства в сосудах (мешалки, змеевики, тарелки) выполняют, как правило, съемными. Изготавливаются такие сосуды только на специализированных предприятиях. На каждый сосуд составляется паспорт и инструкция, которые передаются заказчику. На сосуд крепится металлическая пластинка с указанием наименования завода-изготовителя, заводской номер сосуда, год изготовления, рабочее давление, пробное давление, допустимая температура стенок сосуда.

Установка сосудов и аппаратов должна обеспечивать их устойчивость, доступ ко всем частям и элементам, а также возможность их осмотра, ремонта и очистки как с внутренней, так и с наружной стороны. Для удобства обслуживания сосуды оборудуют площадками и лестницами, причем эти устройства не должны нарушать прочность и устойчивость сосудов.

Сосуды снабжаются: приборами для измерения давления и температуры среды (манометры, термометры и пирометры); предохранительными устройствами (клапаны и мембраны); запорной арматурой, устанавливаемой на трубопроводах; обратными клапанами, автоматически закрывающимися под давлением из сосуда, указателями уровня жидкости и др. Основное условие безопасности – точное соблюдение установленных норм технологического режима, особенно давления и температуры. При эксплуатации сосудов необходимо следить за исправностью предохранительных клапанов, манометров и крепежных деталей крышек и люков; за состоянием сварных швов, болтовых и заклепочных соединений; уровнем жидкости и т.д.

4.2 Регистрация и техническое освидетельствование сосудов

Все сосуды, работающие под давлением, регистрируются в органах Госгортехнадзора и периодически подвергаются техническому освидетельствованию (внутреннему осмотру и гидравлическому испытанию) – до пуска, во время работы, после каждого ремонта. Внутренний осмотр проводится не реже одного раза в четыре года; гидравлическое испытание с предварительным внутренним осмотром – не реже одного раза в восемь лет. Гидравлическое испытание проводится пробным давлением, превышающим рабочее в 1,5...2 раза, в течение 10...60 мин. Давление повышают до пробного и снижают до рабочего постепенно. Сосуд считается выдержавшим испытание, если не обнаружено признаков разрыва, течи, остаточных деформаций и др. При невозможности проведения гидравлического испытания проводится пневматическое испытание после тщательного внутреннего осмотра и проверки прочности сосуда расчетом. Сосуды, работающие под давлением горючих, взрывоопасных и токсичных газов или жидкостей, должны подвергаться пневматическому испытанию на герметичность.

4.3 Баллоны для сжатых, сжиженных и растворенных газов

Баллоны – закрытые металлические сосуды небольшой емкости, предназначенные для транспортировки и хранения сжатых (кислорода, водорода, азота, воздуха), сжиженных (хлора, аммиака, сероводорода, двуокиси углерода) и растворенных (ацетилена) газов. Стандартные баллоны, изготавливаемые из стальных бесшовных труб, состоят из цилиндрического корпуса с выпуклым сферическим днищем и горловины с нарезкой, в которую ввинчивается запорный вентиль с боковым штуцером для отбора газа. На сферической части баллона около горловины выбиваются паспортные данные. При эксплуатации баллонов основное внимание уделяется исключению причин, приводящих к физическому или химическому взрыву газов, находящихся в баллоне. Физический взрыв газов возможен при повреждении корпуса баллона в случае его падения или удара, особенно при минусовых температурах, когда ударная вязкость стали понижается, и она становится хрупкой; при переполнении сжатыми и особенно сжиженными газами, что приводит к повышению давления выше допустимого значения. Поэтому количество заполняющих баллоны газов строго регламентируется по массе и давлению. Повышение температуры газа в баллоне приводит к резкому повышению давления и разрыву сосуда, поэтому устанавливают баллоны не ближе 1 м от отопительных приборов, и не ближе 5 м от открытого огня. Чтобы избежать попадания в баллоны из-под кислорода горючих газов, все баллоны маркируют соответствующей окраской и надписями. Боковые штуцеры вентиля для баллонов, заполняемых горючими газами, изготавливают с левой резьбой, а для баллонов, заполняемых кислородом и негорючими газами, – с правой резьбой. Баллоны, содержащие кислород, необходимо предохранять от контакта с маслами, способными быстро загораться от соприкосновения с кислородом. Специальные требования предъявляют к ацетиленовым баллонам, так как ацетилен может разлагаться со взрывом, особенно при повышенных давлениях и температурах и в присутствии инициаторов разложения (влаги, механические примеси). Поэтому ацетиленовые баллоны заполняют специальной пористой массой и ацетоном, в котором ацетилен растворяется.

Хранят баллоны в специальных помещениях или на открытом воздухе с защитой от воздействия осадков и солнечных лучей. Кислородные баллоны и баллоны с горючими газами размещают в разных отсеках, разделенных глухими стенами. Склады должны быть одноэтажными, без чердачных помещений и иметь покрытия легкого типа. Транспортирование осуществляется с соблюдением специальных правил.

5 ПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА

Пожар – неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб и способное вызывать травмы, гибель людей. В Российской Федерации каждый год при пожарах гибнет около 10 тысяч человек.

Горение – это быстрое окисление, при котором горящее вещество соединяется с кислородом, при этом выделяется энергия в виде тепла и света. Вещества могут гореть только в газообразном состоянии. Твердые и жидкие вещества в совокупности с кислородом создают неоднородные (гетерогенные) системы. При их нагревании скорость движения молекул повышается, образуются пары, которые окисляются и начинают гореть. Смеси горючих газов – однородные (гомогенные) системы, они горят в виде взрыва.

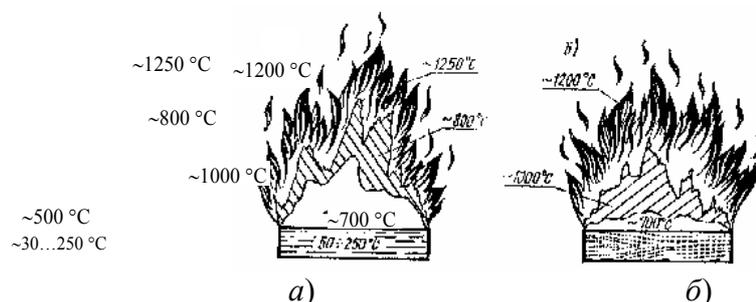


Рис. 5.1 Распределение температур в пламени при горении:

a – жидкостей; *б* – твердых материалов

Горение усиливается за счет цепной реакции – выделяющееся тепло воспламеняет все большее количество паров, при горении выделяется большее количество теплоты и т.д. (рис. 5.1).

Для осуществления горения необходимы три элемента: горючее вещество (1), кислород (2) и теплота (3), а для поддержания горения – цепная реакция (4). Процесс горения характеризуется так называемым «пожарным тетраэдром» (рис. 5.2). Если убрать одну из граней тетраэдра, горение прекратится.

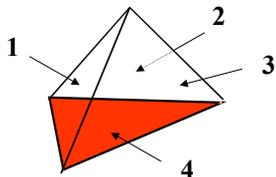


Рис. 5.2 Пожарный тетраэдр

Пламя и искры приводят к ожогам и поражению дыхательных путей. В зоне горения возникает температура 1000...1200 °С, а в горящем помещении – 400...600 °С. Температура более 50 °С является уже опасной для человека. При температуре порядка 200 °С жизнь человек сохраняется не более 5 мин.

Повышение концентрации газообразных продуктов горения в воздухе (например, CO₂) уменьшает поступление кислорода, следствием этого является учащенное дыхание. При концентрации кислорода ниже 10 % происходит потеря сознания. Содержание угарного газа CO более 1 % приводит к летальному исходу, примерно, через 5 мин.

Токсичные продукты горения полимерных материалов – стирол, формальдегид, цианистый водород, фенол – ведут к острым отравлениям с летальным исходом.

Дым ухудшает видимость, вызывает раздражение глаз, легких.

Обрушение конструкций приводит к механическим травмам.

5.1 Пожарная опасность веществ и производств

Пожарная опасность **веществ** – это возможность возникновения и развития пожара, заключенная в них. Для количественной оценки потенциальной опасности выделяются показатели пожаро- и взрывоопасности веществ:

Группа горючести оценивает способность веществ воспламеняться и гореть. По горючести твердые (ТВ), жидкие (ЖВ) и газообразные (ГВ) вещества делят на негорючие, трудногорючие (не горят после удаления источника зажигания) и горючие. Горючие вещества делят на легковоспламеняющиеся (горючие газы) и трудновоспламеняющиеся. Жидкости, способные гореть, относят к двум группам: легковоспламеняемые (ЛВЖ) с температурой вспышки менее 61 °С (бензин, ацетон и др.) и горючие (ГЖ) с температурой вспышки более 61 °С (масло, мазут и др.).

Температура вспышки – это самая низкая температура, при которой над поверхностью образуются пары, способные вспыхивать от источника зажигания, но устойчивое горение не возникает. Эта температура оценивается для ТВ и ЖВ.

Температура воспламенения – это самая низкая температура, при которой выделяются горючие пары в количестве, достаточном для поддержания устойчивого горения.

Концентрационные пределы воспламенения (взрываемости) горючих газов НКПВ (нижний) и ВКПВ (верхний) (рис. 5.3), ограничивающие область воспламенения (взрыва). Все смеси, концентрации которых ниже НКПВ и выше ВКПВ, в замкнутых объемах взрываться не способны. Смеси с концентрациями выше ВКПВ при выходе из объема способны гореть как не смешанные с воздухом.

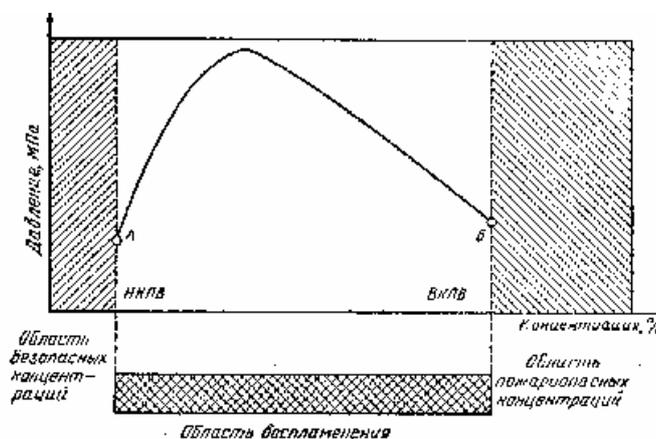


Рис. 5.3 Изменение давления при взрыве газоздушных смесей в зависимости от концентрации горючего вещества

Производства по степени взрывопожароопасности делят на категории:

А – взрывопожароопасные, в которых применяют горючие газы с НКПВ < 10 % и жидкости с температурой вспышки < 28 °С;

Б – пожаровзрывоопасные, в которых применяют горючие газы с НКПВ > 10 % и жидкости с температурой вспышки 28...61 °С;

В – пожароопасные, в которых применяются жидкости с температурой вспышки более 61 °С;

Г – производства, где имеются негорючие вещества в горячем состоянии;

Д – производства, где обрабатываются негорючие вещества в холодном состоянии.

Категория производства определяет требования к зданиям и средствам пожарной безопасности.

5.2 Классификация производственных помещений и

наружных установок по взрыво- и пожароопасным зонам

Любое электрооборудование может стать источником воспламенения окружающей взрыво- или пожароопасной среды. Поэтому выбор и установку электрооборудования производят в соответствии с классификацией производственных помещений и наружных установок по взрывоопасным и пожароопасным зонам, предусмотренной «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ).

К *взрывоопасной* зоне относится помещение или ограниченное пространство в помещении или наружной установке, в котором имеются или могут образоваться взрывоопасные смеси. По ПУЭ взрывоопасные зоны классифицируются следующим образом.

К **классу В-I** относятся зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве и обладающие такими свойствами, что могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы;

К **классу В-Iа** – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих паров или газов или паров ЛВЖ с воздухом или другими окислителями не образуются, а возможны лишь в результате аварий или неисправностей;

К **классу В-Iб** – те же зоны, что и к классу В-Iа, но отличающиеся одной из следующих особенностей:

- горючие газы обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15 % и более) и резким запахом при предельно допустимых концентрациях;
- помещения, в которых возможно образование лишь локальных взрывоопасных смесей в объеме менее 5 % объема помещения.

К **классу В-Iг** относятся наружные установки, в которых находятся взрывоопасные газы, пары и ЛВЖ;

К **классу В-II** относят помещения, в которых производится обработка горючих пылей и волокон, способных образовывать взрывоопасные смеси с воздухом при нормальных режимах работы;

К классу **В-IIa** – помещения, в которых взрывоопасные пылевоздушные смеси могут образовываться только в результате аварий и неисправностей.

Помещения и установки, в которых содержатся горючие жидкости (ГЖ) и горючие пыли, нижний концентрационный предел которых выше 65 г/м^3 , относят к *пожароопасным* и классифицируют следующим образом:

К классу **II-I** относят помещения, в которых содержатся ГЖ;

К классу **II-II** – помещения, в которых содержатся горючие пыли с нижним концентрационным пределом выше 65 г/м^3 ;

К классу **II-IIa** – помещения, в которых содержатся твердые горючие вещества, не способные переходить во взвешенное состояние;

К классу **II-III** – наружные установки, в которых содержатся ГЖ с температурой вспышки выше $61 \text{ }^\circ\text{C}$ или твердые горючие вещества.

5.3 Средства пожарной безопасности

Пожарная безопасность обеспечивается конструктивной и активной защитой так, чтобы риск возникновения пожара не превышал 10^{-6} в год.

Конструктивная пожарная защита:

- предотвращение возникновения пожара обеспечивается применением негорючих и огнестойких материалов; огнестойкость осуществляется специальными пропитками;
- ограничение распространения пожара достигается выполнением огнестойких конструкций; пределом огнестойкости называется время, в течение которого конструкция сопротивляется воздействию огня, сохраняя эксплуатационные функции;
- создание условий безопасной эвакуации, т.е. оборудование аварийных выходов и пожарных лестниц.
- в зданиях должна быть вывешена понятная информация о расположении аварийных выходов, представлен план эвакуации людей; не допускается загромождение проходов и аварийных выходов.

Активная пожарная защита:

- пожарная сигнализация включает извещатели – датчики и приемники сигнала; извещатели бывают ручные и автоматические, последние реагируют на тепло, дым или свет;
- средства тушения огня.

Ликвидация пожара – это воздействие (атака) на одну или несколько граней пожарного тетраэдра:

- а) охлаждение – это атака на грань теплоты в пожарном тетраэдре;
- б) тушение – это изоляция горючего веществ от кислорода;
- в) снижение концентрации кислорода – это атака на грань кислорода;
- г) прерывание цепной реакции – это атака на грань цепной реакции.

Огнетушащие вещества – жидкости (распыленная вода, пена), газы (углекислый газ, хладоны), порошки (фосфат аммония, бикарбонат натрия, бикарбонат калия, хлорид калия).

Средства тушения пожара: простейшие (песок, плотный материал, инвентарь), первичные средства – огнетушители (химические пенные ОХП, углекислотные ОУ, порошковые ОП); пожарные системы (водяная, пенная, углекислотная). Водяная система наиболее эффективна для тушения древесины, ткани, бумаги. Эти системы делят на неавтоматические (пожарный водопровод) и автоматические (спринклерная и дренчерная). Головки спринклерной системы имеют замки из легкоплавкого припоя, который при действии огня расплавляется, и вода орошает зону пожара. Головки дренчерной системы открыты, а вода подается автоматически по сигналу извещателя. Пенная система наиболее эффективна для тушения нефтепродуктов. Углекислотные системы в основном используют для тушения нефтепродуктов и электроустановок.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Гомзиков Э.А.** Безопасность жизнедеятельности. Образовательный компьютерный проект. СПб., 2001 г.
- 2 **Охрана** труда в химической промышленности / Под ред. Г.В. Макарова. М.: Химия, 1989. 495 с.
- 3 **Охрана** труда в машиностроении / Под ред. Е.Я. Юдина. М.: Машиностроение, 1983. 431 с.
- 4 **Вредные** вещества в промышленности. Справочник / Под ред. Н.В. Лазарева. М.: Химия, 1971. 654 с.
- 5 **Козлов В.Ф.** Справочник по радиационной безопасности. М.: Энергоатомиздат, 1987. 192 с.
- 6 **Долин П.А.** Основы техники безопасности в электроустановках М.: Энергия, 1979. 408 с.
- 7 **Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А.** Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1976. 552 с.
- 8 **Кнорринг Г.М.** Осветительные установки. Л.: Энергоиздат, 1981. 280 с.
- 9 **Баратов А.Н., Иванов Е.Н.** Пожаротушение на предприятиях химической и нефтехимической промышленности. М.: Химия, 1979. 450 с.
- 10 **Охрана** труда в электроустановках: Учебник для вузов / Под ред. Б.А. Князевского. М.: Энергия, 1977. 319 с.
- 11 **Рысин С.А.** Вентиляционные установки машиностроительных заводов. Справочник. М.: Машгиз, 1961. 541 с.
- 12 **Средства** защиты в машиностроении. Расчет и проектирование. Справочник / Под ред. С.В. Белова М: Машгиз, 1989.

