



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

Кафедра «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
по дисциплине «ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ»
для студентов заочной формы обучения
направления подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность»
профиль «Охрана труда и безопасность в техносфере»

Ростов-на-Дону
2025 г.

Оглавление

	Стр.
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	3
1.1 Основные положения производственной безопасности.....	3
1.2 Законодательство в области производственной безопасности.....	15
2 ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ.....	26
2.1 Основные положения и законодательство в области электробезопасности.....	26
2.2 Виды электрического тока.....	31
2.3 Действие электрического тока на человека.....	32
2.4 Факторы, определяющие исход поражения человека электрическим током.....	34
2.5 Промышленные электрические сети и их опасность.....	39
2.6 Опасность замыкания токоведущих частей электроустановок на землю.....	44
2.7 Основные промышленные способы защиты человека от поражения электрическим током.....	47
2.8 Средства защиты в электроустановках.....	68
2.9 Первая помощь при поражении электрическим током.....	75
2.10 Электромагнитные поля и излучения промышленных электроприборов.....	80
Рекомендуемая литература.....	140

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

1.1 Основные положения производственной безопасности

Производственная безопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих вероятность воздействия на работающих опасных травмирующих производственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности.

К производственной безопасности относятся организационные мероприятия и технические средства защиты от поражения электрическим током, защита от механических травм движущимися механизмами, подъемно-транспортными средствами, обеспечение безопасности систем высокого давления, методы и средства обеспечения пожаровзрывобезопасности и т.д.

Одним из ключевых понятий в производственной безопасности является понятие «опасности».

Опасность – потенциальный источник нанесения вреда, представляющий угрозу жизни и (или) здоровью работника в процессе трудовой деятельности.

Опасности, создаваемые деятельностью человека, имеют два важных для практики свойства:

- 1) потенциальный характер опасностей, который говорит о том, что опасности могут существовать, но не приносить при этом вреда;
- 2) ограниченная в пространстве и (или) во времени зона влияния (зона действия опасности).

Источниками формирования опасностей при осуществлении конкретной деятельности являются:

– сам человек (факторы наследственности, физиологические возможности, психологические и антропометрические показатели могут стать параметрами, ограничивающими возможность человека реализовать себя в конкретной деятельности);

– процессы взаимодействия человека и производственной среды.

Понятию «опасность» противопоставлено понятие «безопасность».

Безопасность – состояние деятельности, при котором с определенной вероятностью исключаются потенциальные опасности, влияющие на здоровье человека.

Для обеспечения производственной безопасности выполняются следующие действия:

1. Производится детальный анализ опасности (идентификация опасности).

2. Проводится оценка опасности и риска.

3. Разрабатываются эффективные меры защиты человека и производственной среды от опасности.

Все виды опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ), формируемых в процессе трудовой деятельности, по характеру своего происхождения делят на следующие группы:

– факторы, порождаемые физическими свойствами и характеристиками состояния материальных объектов производственной среды (движущиеся машины и механизмы; электрический ток; повышенная температура поверхностей оборудования и обрабатываемых материалов; повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; высокие влажность и скорость движения воздуха; повышенные уровни шума и вибрации и т.д.);

– факторы, порождаемые химическими и физико-химическими свойствами используемых или находящихся в рабочей зоне веществ и материалов (пары и газы; токсичные пыли; агрессивные жидкости);

– факторы, порождаемые биологическими свойствами микроорганизмов, находящихся в биообъектах и (или) загрязняющих материальные объекты производственной среды (микроорганизмы, такие как бактерии, вирусы и т.п.);

– факторы, порождаемые поведенческими реакциями и защитными механизмами живых существ (укусы, ужаливания, выброс ядовитых или иных защитных веществ и т.п.);

– факторы, порождаемые социально-экономическими и организационно-управленческими условиями осуществления трудовой деятельности (плохая организация работ, низкая культура безопасности и т.п.);

– факторы, порождаемые психическими и физиологическими свойствами и особенностями человеческого организма и личности работающего (плохое самочувствие работника, нахождение работника в состоянии алкогольного, наркотического или токсического опьянения или абстиненции, потеря концентрации внимания работниками).

Для оценки опасностей применяют следующие методические подходы:

1. *Детерминированный подход* – основан на количественной дифференциации и распределении аварийных ситуаций, производственных объектов, зданий и сооружений, производственного оборудования по степени опасности на категории и классы, определяемые по параметрам, характеризующим потенциальную энергию разрушения, количество пораженных и пострадавших, а также разрушающие последствия пожаров и взрывов.

Примерами действующих в Российской Федерации нормативных документов, носящих детерминированный характер, являются:

- нормы пожарной безопасности;
- общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств;
- строительные нормы и правила (СНиП) и др.

Детерминированный метод расчета предполагает сравнение каких-либо параметров с заранее заданными. Принимая в расчетах худшие варианты событий, приводящие к аварийной ситуации, указывают конкретные условия расчетов и возможные допущения.

К достоинствам детерминированного подхода относятся достаточный для различных реальных ситуаций набор необходимых сведений, сравнительная простота использования методов категорирования, однозначность решения категорирования и выбора мероприятий защиты.

Недостатком этого подхода является ограниченная возможность варьирования при определении категорий и то, что нередко его применение обуславливает затруднения по применению прогрессивных проектных решений и излишние затраты на реализацию этих решений.

2. Вероятностный подход – основан на концентрации допустимого риска с расчетом вероятности достижения определенного уровня безопасности и предусматривает недопущение воздействия на людей опасных факторов с вероятностью, превышающей допустимую.

Нормативными документами, основанными на вероятностном подходе, являются:

- стандарты ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ «Взрывобезопасность. Общие требования», ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования»;
- нормы радиационной безопасности.

Вероятностный подход является более прогрессивным и совершенным, поскольку дает возможность нахождения оптимального варианта проектного решения. Он основан на количественной зависимости между опасными производственными факторами, приносимым материальным ущербом и вероятностью реализации опасных факторов с учетом защитных мер. Однако этот подход более сложен и требует многочисленных дополнительных сведений (например, статистических данных о пожарах и взрывах для однотипных объектов, сведений о надежности оборудования и систем), которые, как правило, отсутствуют. Главным затруднением в использовании этого подхода является необходимость учета человеческого фактора.

Возникновение и действие опасностей, как правило, характеризуются комбинацией различных случайных локальных событий, возникающих с заранее неизвестной вероятностью на разных стадиях (отказы оборудования, человеческие ошибки при проектировании и эксплуатации, воздействия непредсказуемых форс-мажорных обстоятельств). Причины и следствия образуют сложные иерархические структуры или системы, для графической иллюстрации которых используют *метод структурных схем*. По этому методу изучаемый объект представляется в виде системы элементов, для которых определяется количественная мера вероятности отказов.

Анализ с помощью «*дерева событий*» применяется для определения основных последовательностей и альтернативных результатов отказов, но не пригоден для параллельных схем соединения элементов. Деревья событий (Event Tree) являются графическими моделями, которые упорядочивают и отображают события протекания аварии (выполнение функций безопасности или работу систем) согласно требованиям по ослаблению исходных событий. Анализ последствий по видам отказов ориентирован в основном на аппаратуру и оборудование и не учитывает сочетания отказов и человеческого фактора.

Метод «дерева событий» обладает следующими преимуществами. Метод:

- применим к системам любого типа;
- обеспечивает визуальное представление последовательности событий после реализации инициирующего события;
- позволяет получить оценку нескольких одновременных отказов системы (например, дефекта системы контроля) или ее отказов (например, неспособности клапана закрываться), а также других зависимых событий;
- применим для исследования как успеха (нормального функционирования), так и отказа системы;
- позволяет идентифицировать конечные события, которые иначе невозможно прогнозировать;
- позволяет идентифицировать возможные единичные отказы, области уязвимости системы и малоэффективные контрмеры. Метод обеспечивает оптимальное распределение ресурсов и улучшение контроля риска через улучшение процедур и функций безопасности;
- допускает идентификацию и прослеживаемость путей развития отказа системы;
- позволяет представлять большие и сложные системы в виде более простых с помощью группировки частей исследуемой системы в функциональные единицы или подсистемы.

Преимуществом данного метода по сравнению со многими другими методами анализа риска является его способность моделировать последовательности и взаимодействия различных факторов защиты, сопровождающих появление инициирующего события. Таким образом, система и ее взаимодействия со всеми факторами защиты при развитии неблагоприятного сценария становятся наглядно представленными, что способствует для дальнейшей оценки риска.

Основные понятия «дерева событий»:

- *Узел* – точка в графическом представлении дерева событий, имеющая два или более выходов.

- *Общая причина* – причина реализации одновременно нескольких событий (кратных событий). В некоторых случаях должен быть определен период, в течение которого происходят эти события, например, несколько событий происходят одновременно или в течение короткого промежутка времени. Пример – природные опасности (пожар, наводнение), отказы технических систем, заражение инфекцией или действия человека.

- *Событие* – возникновение условия или воздействия.

- *Заголовок* – фактор защиты, указанный на линии, расположенной над графическим изображением дерева событий.

- *Иницирующее событие* – событие, которое является отправной точкой дерева событий и последовательности событий, которые могут привести к различным возможным выходам.

- *Фактор защиты* – система, функция или другой косвенный фактор, смягчающий последствия инициирующего события.

- *Выход* – возможный результат последовательности событий после всех воздействий рассмотренных факторов защиты, если дальнейшей разработки дерева событий не требуется.

- *Последовательность событий* – цепочка событий от инициирующего события к последующим событиям, приводящая к определенному выходу.

- *Главное событие, вершина событий* – установленное неблагоприятное событие, которое является отправной точкой и главной целью анализа дерева неисправностей. Это событие занимает высшую позицию в структуре дерева неисправностей. Главное событие (вершина событий) является результатом комбинации всех входных событий.

- *Ветвь* – графическое представление одного, двух или более возможных выходов из узла.

Процедура выполнения «дерева событий» состоит из шести этапов:

Этап 1. Определение исследуемой системы или деятельности. Устанавливают границы системы или деятельности, для которых необходимо выполнить дерево событий.

Этап 2. Идентификация исследуемых иницирующих событий. Проводят общее рассмотрение (скрининг) всех событий для идентификации событий или категорий событий, рассматриваемых в дереве событий. Категории событий могут включать столкновения, возгорания, взрывы, ядовитые выбросы и т.п.

Этап 3. Идентификация факторов защиты и физических явлений. Выявляют факторы защиты, которые могут повлиять на развитие иницирующего события до его неблагоприятных последствий. Факторы защиты охватывают как технические системы, так и действия/решения людей. Кроме того, идентифицируют физические явления и вторичные события, такие как возгорание или метеорологические условия, способствующие развитию неблагоприятной ситуации и иницирующего события. Дерево событий должно включать все факторы защиты и физические явления.

Этап 4. Определение последовательности событий и выходов, определение их количественных параметров. Для каждого иницирующего события определяют возможные выходы (например, сценарии несчастного случая) и выполняют их количественный анализ на основе построенного дерева событий.

Этап 5. Анализ выходов. Выходы анализируют в отношении их последствий и воздействий на результаты анализа.

Этап 6. Использование результатов дерева событий. На основе качественных и количественных результатов анализа определяют необходимые действия.

Наиболее востребованным является анализ с помощью «дерева отказов». Дерево отказов (аварий, происшествий, последствий, нежелательных событий и пр.) лежит в основе логико-вероятностной модели причинно-следственных связей отказов системы с отказами ее элементов и другими событиями (воздействиями). При анализе возникновения отказа, дерево отказов состоит из последовательностей и комбинаций нарушений и неисправностей, и таким образом оно представляет собой многоуровневую графологическую структуру причинных взаимосвязей, полученных в результате прослеживания опасных ситуаций в обратном порядке, для того чтобы отыскать возможные причины их возникновения.

Этот метод имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами:

- четкая ориентация на отыскание отказов, выходов из строя;

– учет отказов оборудования и человеческого фактора (ошибки, неправильные решения, нарушения технологий и др.) в системе «человек-машина»;

– наличие графического материала дает большую наглядность, что позволяет проникнуть в процесс работы системы и поочередно детально анализировать отдельные элементы системы и отдельные отказы;

– возможность эффективного качественного и количественного анализа риска.

Главное преимущество дерева отказов (по сравнению с другими методами) заключается в том, что анализ ограничивается выявлением только тех элементов системы и событий, которые приводят к данному конкретному отказу системы или аварии.

Основные понятия «дерева отказов»:

▪ *Событие* – происшествие, явление, которое произошло в системе или элементе. Любое событие, происходящее в системе, имеет только два состояния – либо появляется, либо не появляется с определенной вероятностью. Событие не обязательно связано с отказом или неисправностью. Оно может появиться и при нормальном состоянии системы. Различают несколько разновидностей событий:

▪ *Нормальное событие* – событие, которое может появиться или не появиться в определенное время. Если это существенно, необходимо оговаривать время появления нормального события, например, в логистических операциях и ориентированных графах. Если это событие произошло не вовремя, то оно может считаться отказом.

▪ *Отказ* – событие, характеризующееся тем, что одно из двух его возможных состояний связано с ненормальной работой системы из-за поломки, дефекта или ошибки.

▪ *Первичное событие (первичный отказ)* – событие, вызванное особенностями самого компонента, элемента. Это его нерабочее состояние (например, отказ лампы, связанный с перегоранием нити накала и др.).

▪ *Вторичное событие (вторичный отказ)* – событие, вызванное внешней причиной (например, отказ лампы, связанный со скачком напряжения и др.).

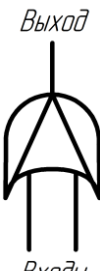
▪ *Главное или результирующее событие* на вершине дерева – событие, наступающее в результате конкретной комбинации различных исходных событий. Обычно это результирующий отказ, приводящий систему к неблагоприятному, нежелательному состоянию, выявляемому априорно или апостериорно.

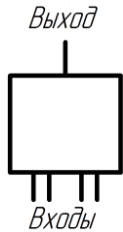
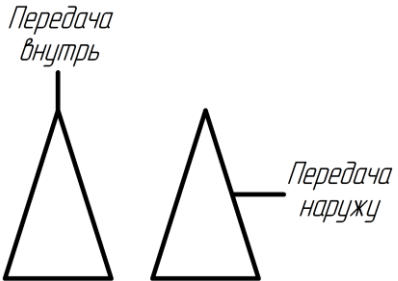
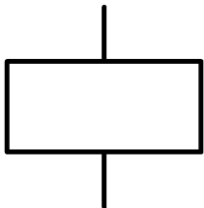
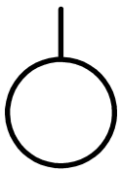
▪ *Неполное событие* – событие, причины которого выявлены неполностью. Это может быть обусловлено либо отсутствием необходимой информации, либо само событие в результате анализа не представляет особого интереса.

При построении деревьев отказов принято использовать специальные символы и условные обозначения. Ниже приведена таблица 1.1 с наиболее часто употребляемыми из них.

Таблица 1.1

Схемы, определения и символы «деревя отказов»

Наименование	Определение	Символ
Схема «И» (схема совпадения)	Сигнал на выходе появляется только тогда, когда поступают все входные сигналы (умножение событий)	
Схема «ИЛИ» (схема объединения)	Сигнал на выходе появляется при поступлении на вход любого одного или большего числа сигналов (сумма событий)	
Схема «Исключающее ИЛИ»	Сигнал на выходе рассматривается как промежуточное событие и появляется при поступлении на вход одного и только одного входного сигнала	
Схема «И с приоритетом»	Логически эквивалентна схеме «И», но входные сигналы должны поступать в определенном, заранее заданном порядке	

<i>Специальная схема</i>	Отображает любую другую разрешенную комбинацию входных сигналов	
<i>Вход или выход</i>	Изображаются с помощью треугольников, что позволяет избежать повторения отдельных участков дерева. Прямая, входящая в вершину треугольника, означает переход внутрь соответствующей ветви, а прямая, берущая начало из середины боковой стороны треугольника, – переход к другой ветви	
<i>Результирующее событие</i>	Наступает в результате заранее определенной комбинации неисправностей на входе логической схемы	
<i>Первичный отказ (или неисправность элемента)</i>	Нерабочее состояние этого элемента, причиной которого является он сам, и необходимо выполнить ремонтные работы для возвращения элемента в рабочее состояние	
<i>Неполное событие</i>	Неисправность, причины которой на данном этапе исследования не удалось однозначно определить из-за отсутствия необходимой информации или она не представляет интереса. Такое событие может быть детализировано путем показа вызывающих его первичных неисправностей	

Построение дерева отказов начинается с процессов синтеза и анализа, включающих несколько процедур.

Процесс синтеза включает процедуры:

1. Определяется наиболее общий уровень, на котором должны быть рассмотрены все события, являющиеся нежелательными для нормальной работы рассматриваемой системы (например, взрывы, загорания, поражения электротоком, выброс токсичных веществ и др.).

2. События разделяются на группы, которые формируются по некоторым общим признакам, например, по одинаковым причинам возникновения

(организационные, технические причины; среди технических могут быть неисправности электрических, гидравлических систем и т.д.).

3. С учетом общих признаков выделяется одно событие, к которому приводят все события каждой группы. Это событие будет головным и должно рассматриваться с помощью отдельного дерева отказов. В последующем такие деревья отказов по отдельным группам будут соединяться логическими операциями в общее дерево отказов.

Процесс анализа проводится в обратной последовательности, методом дедукции по схеме «сверху-вниз» и включает следующие процедуры.

1. Выбирается головное событие, которое должно быть предотвращено. В одной системе могут рассматриваться несколько головных событий, являющихся вершинами различных групп событий.

2. Отбираются все первичные и вторичные события, которые могут вызвать головное событие.

3. Определяются отношения между вызывающими и головными событиями, в терминах логических операций «И» и «ИЛИ».

4. Принимаются исходные значения величин, которые необходимы для дальнейшего анализа каждого из событий, выявленных на этапе 2 и 3. Для каждого вызывающего события повторяют этапы 2 и 3, при этом термин «головное событие» теперь будет относиться к данному событию-причине, которое продолжают анализировать.

5. Этапы 2, 3, 4 продолжаются до тех пор, пока все события не выразятся через основные события либо окажется нецелесообразным дальнейшее дробление из-за незначительности события, отсутствия данных и т.п.

6. События представляются в виде диаграммы, при этом используются символы событий и условные операторы «И» и «ИЛИ». Для каждой системы обычно строится несколько деревьев отказов для различных категорий головных событий, имеющих разные последствия по серьезности.

Для защиты человека и производственной среды от опасностей рассматривают следующие принципы обеспечения безопасности, которые делятся на четыре группы по признаку реализации:

1. Ориентирующие принципы:

– *классификации* (распределение тех или иных объектов по классам в зависимости от их общих признаков с учетом закономерных связей между классами);

– *гуманизации деятельности* (признание и обеспечение приоритета жизни и здоровья работника по отношению к результатам производственной деятельности);

- *системности* (рассмотрение любого явления, действия, объекта как элемента системы);
- *деструкции* (разрушение системы, приводящей к опасному результату, за счет исключения из нее одного или нескольких элементов);
- *снижения опасности* (использование решений, которые направлены на повышение безопасности, но не обеспечивают достижения желаемого или требуемого по нормам уровня);
- *ликвидации опасности* (устранение опасных и вредных факторов, что достигается изменением технологии, заменой опасных веществ безопасными, применением более безопасного оборудования, совершенствованием научной организации труда и другими средствами);
- *активности оператора* (нахождение человека (оператора), не участвующего физически в управлении процессом, в состоянии постоянной готовности вмешаться в него);
- *замены оператора* (передача функций оператора промышленным роботам, либо изменение технологического процесса, обеспечивающее его выполнение без участия человека).

2. Технические принципы:

- *защиты расстоянием* (установление такого расстояния между человеком и источником опасности, при котором обеспечивается заданный уровень безопасности);
- *экранирования* (установка экранов (преград) между источником опасности и человеком);
- *прочности* (усиление способности материалов, конструкций и их элементов сопротивляться разрушениям и остаточным деформациям при различных воздействиях);
- *слабого звена* (создание ослабленных элементов, которые разрушаются при определенных предварительно рассчитанных факторах, что обеспечивает сохранность конструкций и устройств в целом);
- *блокировки* (обеспечение механического, электрического или другого принудительного взаимодействия между частями оборудования или параметрами технологического процесса, при котором достигается требуемая степень безопасности);
- *флегматизации* (разбавление реагирующих веществ и материалов до значений, при которых не может происходить горение, снижение концентрации кислорода при введении в зону горения негорючих газов (например, азота, углекислого газа, водяного пара) или разбавление горючих веществ негорючими (например, этилового спирта водой));

- *вакуумирования* (проведение технологических процессов при пониженном давлении по сравнению с атмосферным);
- *компрессии* (проведение различных процессов при повышенном давлении по сравнению с атмосферным);
- *герметизации* (обеспечение невозможности утечки жидкой или газовой среды из одной зоны в другую).

3. Организационные принципы:

- *защиты временем* (сокращение до безопасных значений длительности нахождения людей в условиях воздействия опасности);
- *нормирования* (регламентация условий, соблюдение которых обеспечивает заданный уровень безопасности);
- *информации* (отображение в той или иной форме свойств объективной реальности, необходимых для принятия решений, направленных на обеспечение безопасности);
- *резервирования* (использование относительно менее надежных элементов с резервированием наряду с элементами высокой надежности в целях повышения общей надежности системы);
- *эргономичности* (учет антропометрических, психофизических и психологических свойств человека);
- *подбора кадров* (выбор специалистов, обладающих профессиональными знаниями, мастерством и опытом, которые позволяют безопасно выполнять свои функции в конкретных условиях);
- *последовательности* (формирование определенной очередности выполнения операций, процессов, регламентных работ с целью снижения уровня опасности);
- *несовместимости* (пространственное и временное разделение объектов реального мира (веществ, материалов, оборудования, помещений, людей), основанное на учете природы их взаимодействия с позиций безопасности).

4. Управленческие принципы:

- *плановости* (установление на определенные периоды направлений и количественных показателей деятельности);
- *стимулирования* (учет количества и качества затраченного труда и полученных результатов при распределении материальных благ и моральном поощрении);
- *компенсации* (предоставление различного рода льгот с целью восстановления нарушенного равновесия психических и психофизиологических процессов или предупреждения нежелательных изменений в состоянии здоровья);

- *эффективности* (сопоставление фактических результатов с плановыми и оценка достигнутых показателей по критериям затрат и выгод);
- *адекватности* (создание более сложной управляющей системы по сравнению с управляемой для достижения требуемого уровня безопасности);
- *контроля* (организация органов контроля и надзора для проверки объектов на соответствие их регламентированным требованиям безопасности);
- *обратной связи* (организация системы, которая получает информацию о результатах воздействия управляющей системы на управляемую, и на основе этой информации вносит коррективы для повышения безопасности);
- *ответственности* (регламентация прав, обязанностей и ответственности лиц, которые участвуют в управлении безопасностью).

1.2 Законодательство в области производственной безопасности

Основополагающим нормативным правовым актом, регламентирующим деятельность по созданию и поддержанию условий труда, безопасных для жизни и здоровья работников предприятия, служит *Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ* (ТК РФ).

Основные понятия (статья 209):

- *Охрана труда* – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.
- *Условия труда* – совокупность факторов производственной среды и трудового процесса, оказывающих влияние на работоспособность и здоровье работника.
- *Безопасные условия труда* – условия труда, при которых воздействие на работающих вредных и (или) опасных производственных факторов исключено либо уровни воздействия таких факторов не превышают установленных нормативов.
- *Вредный производственный фактор* – фактор производственной среды или трудового процесса, воздействие которого может привести к профессиональному заболеванию работника.
- *Опасный производственный фактор* – фактор производственной среды или трудового процесса, воздействие которого может привести к травме или смерти работника.
- *Средство индивидуальной защиты* – средство, используемое для предотвращения или уменьшения воздействия на работника вредных и (или)

опасных производственных факторов, особых температурных условий, а также для защиты от загрязнения.

▪ *Средства коллективной защиты* – технические средства защиты работников, конструктивно и (или) функционально связанные с производственным оборудованием, производственным процессом, производственным зданием (помещением), производственной площадкой, производственной зоной, рабочим местом (рабочими местами) и используемые для предотвращения или уменьшения воздействия на работников вредных и (или) опасных производственных факторов.

▪ *Профессиональный риск* – вероятность причинения вреда жизни и (или) здоровью работника в результате воздействия на него вредного и (или) опасного производственного фактора при исполнении им своей трудовой функции с учетом возможной тяжести повреждения здоровья.

▪ *Управление профессиональными рисками* – комплекс взаимосвязанных мероприятий и процедур, являющихся элементами системы управления охраной труда и включающих в себя выявление опасностей, оценку профессиональных рисков и применение мер по снижению уровней профессиональных рисков или недопущению повышения их уровней, мониторинг и пересмотр выявленных профессиональных рисков.

Основными направлениями государственной политики в области охраны труда являются (статья 210):

- обеспечение приоритета сохранения жизни и здоровья работников;
- принятие и реализация федеральных законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, законов и иных нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации в области охраны труда, в том числе содержащих государственные нормативные требования охраны труда;
- государственное управление охраной труда;
- государственная экспертиза условий труда;
- предупреждение производственного травматизма и профессиональных заболеваний;
- формирование основ для оценки и управления профессиональными рисками;
- участие государства в финансировании мероприятий по охране труда;
- разработка мероприятий по улучшению условий и охраны труда;
- координация деятельности в области охраны труда, охраны окружающей среды и других видов экономической и социальной деятельности;
- проведение эффективной налоговой политики, стимулирующей создание безопасных условий труда, разработку и внедрение безопасных

техники и технологий, производство средств индивидуальной и коллективной защиты работников;

- создание условий для формирования здорового образа жизни работников;

- установление и совершенствование порядка проведения специальной оценки условий труда и экспертизы качества проведения специальной оценки условий труда;

- установление гарантий и компенсаций за работу с вредными и (или) опасными условиями труда;

- международное сотрудничество в области охраны труда;

- распространение передового отечественного и зарубежного опыта работы по улучшению условий и охраны труда;

- организация мониторинга состояния условий и охраны труда и государственной статистической отчетности об условиях труда, а также о производственном травматизме, профессиональной заболеваемости и об их материальных последствиях;

- обеспечение социальной защиты работников посредством обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний и экономической заинтересованности работодателей в снижении профессиональных рисков;

- защита законных интересов работников, пострадавших от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, а также членов их семей на основе обязательного социального страхования работников от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;

- федеральный государственный контроль (надзор) за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, включающий в себя проведение проверок соблюдения государственных нормативных требований охраны труда;

- содействие общественному контролю за соблюдением прав и законных интересов работников в области охраны труда.

Реализация основных направлений государственной политики в области охраны труда обеспечивается согласованными действиями органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления, работодателей, объединений работодателей, профессиональных союзов, их объединений, иных уполномоченных работниками представительных органов по вопросам охраны труда.

Особую роль в обеспечении производственной безопасности транспортно-технологических комплексов (ТТК) играет предотвращение и (или) минимизация последствий аварий на опасных производственных объектах. Данная сфера деятельности относится к области промышленной безопасности как составной части производственной безопасности.

Основным нормативным правовым актом в области промышленной безопасности является *Федеральный закон от 21 июля 1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»* (далее – *Федеральный закон*).

Указанный Федеральный закон определяет правовые, экономические и социальные основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов и направлен на предупреждение аварий на опасных производственных объектах и обеспечение готовности эксплуатирующих опасные производственные объекты юридических лиц и индивидуальных предпринимателей к локализации и ликвидации последствий таких аварий.

Положения Федерального закона распространяются на все организации независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, осуществляющие деятельность в области промышленной безопасности опасных производственных объектов на территории Российской Федерации и на иных территориях, над которыми Российская Федерация осуществляет юрисдикцию в соответствии с законодательством Российской Федерации и нормами международного права.

Федеральный закон устанавливает следующие понятия в сфере регулирования (статья 1):

- *промышленная безопасность опасных производственных объектов* – состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий;

- *авария* – разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ;

- *инцидент* – отказ или повреждение технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, отклонение от установленного режима технологического процесса;

- *технические устройства, применяемые на опасном производственном объекте* – машины, технологическое оборудование, системы машин и (или) оборудования, агрегаты, аппаратура, механизмы, применяемые при эксплуатации опасного производственного объекта;

▪ *вспомогательные горноспасательные команды* – нештатные аварийно-спасательные формирования, созданные организациями, эксплуатирующими опасные производственные объекты, на которых ведутся горные работы, из числа работников таких организаций;

▪ *обоснование безопасности опасного производственного объекта* – документ, содержащий сведения о результатах оценки риска аварии на опасном производственном объекте и связанной с ней угрозы, условия безопасной эксплуатации опасного производственного объекта, требования к эксплуатации, капитальному ремонту, консервации и ликвидации опасного производственного объекта;

▪ *система управления промышленной безопасностью* – комплекс взаимосвязанных организационных и технических мероприятий, осуществляемых организацией, эксплуатирующей опасные производственные объекты, в целях предупреждения аварий и инцидентов на опасных производственных объектах, локализации и ликвидации последствий таких аварий;

▪ *техническое перевооружение опасного производственного объекта* – приводящие к изменению технологического процесса на опасном производственном объекте внедрение новой технологии, автоматизация опасного производственного объекта или его отдельных частей, модернизация или замена применяемых на опасном производственном объекте технических устройств;

▪ *экспертиза промышленной безопасности* – определение соответствия объектов экспертизы промышленной безопасности предъявляемым к ним требованиям промышленной безопасности.

▪ *эксперт в области промышленной безопасности* – физическое лицо, которое соответствует квалификационным требованиям профессионального стандарта либо аттестовано в установленном Правительством Российской Федерации порядке, обладает специальными знаниями в области промышленной безопасности и соответствует требованиям, установленным федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности.

Кроме того, статья 2 указанного Федерального закона вводит ключевое понятие нормативного регулирования в сфере промышленной безопасности – *опасный производственный объект (ОПО)*.

ОПО в соответствии с Федеральным законом являются предприятия или их цехи, участки, площадки, а также иные производственные объекты, на которых:

1) получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются *опасные вещества* следующих видов:

а) *воспламеняющиеся вещества* – газы, которые при нормальном давлении и в смеси с воздухом становятся воспламеняющимися и температура кипения которых при нормальном давлении составляет 20 °С или ниже;

б) *окисляющие вещества* – вещества, поддерживающие горение, вызывающие воспламенение и (или) способствующие воспламенению других веществ в результате окислительно-восстановительной экзотермической реакции;

в) *горючие вещества* – жидкости, газы, способные самовозгораться, а также возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления;

г) *взрывчатые вещества* – вещества, которые при определенных видах внешнего воздействия способны на очень быстрое самораспространяющееся химическое превращение с выделением тепла и образованием газов;

д) *токсичные вещества* – вещества, способные при воздействии на живые организмы приводить к их гибели и имеющие следующие характеристики:

- средняя смертельная доза при введении в желудок от 15 миллиграммов на килограмм до 200 миллиграммов на килограмм включительно;

- средняя смертельная доза при нанесении на кожу от 50 миллиграммов на килограмм до 400 миллиграммов на килограмм включительно;

- средняя смертельная концентрация в воздухе от 0,5 миллиграмма на литр до 2 миллиграммов на литр включительно;

е) *высокотоксичные вещества* – вещества, способные при воздействии на живые организмы приводить к их гибели и имеющие следующие характеристики:

- средняя смертельная доза при введении в желудок не более 15 миллиграммов на килограмм;

- средняя смертельная доза при нанесении на кожу не более 50 миллиграммов на килограмм;

- средняя смертельная концентрация в воздухе не более 0,5 миллиграмма на литр;

ж) *вещества, представляющие опасность для окружающей среды* – вещества, характеризующиеся в водной среде следующими показателями острой токсичности:

- средняя смертельная доза при ингаляционном воздействии на рыбу в течение 96 часов не более 10 миллиграммов на литр;

- средняя концентрация яда, вызывающая определенный эффект при воздействии на дафнии в течение 48 часов, не более 10 миллиграммов на литр;

– средняя ингибирующая концентрация при воздействии на водоросли в течение 72 часов не более 10 миллиграммов на литр;

2) используется *оборудование, работающее под избыточным давлением* более 0,07 МПа:

а) пара, газа (в газообразном, сжиженном состоянии);

б) воды при температуре нагрева более 115 °С;

в) иных жидкостей при температуре, превышающей температуру их кипения при избыточном давлении 0,07 МПа;

3) используются стационарно установленные *грузоподъемные механизмы* (ГПМ) (за исключением лифтов, подъемных платформ для инвалидов), эскалаторы в метрополитенах, канатные дороги, фуникулеры;

4) получают, транспортируются, используются *расплавы черных и цветных металлов*, сплавы на основе этих расплавов с применением оборудования, рассчитанного на максимальное количество расплава 500 килограммов и более;

5) ведутся *горные работы* (за исключением добычи общераспространенных полезных ископаемых и разработки россыпных месторождений полезных ископаемых, осуществляемых открытым способом без применения взрывных работ), работы по обогащению полезных ископаемых;

б) осуществляется *хранение или переработка растительного сырья*, в процессе которых образуются взрывоопасные пылевоздушные смеси, способные самовозгораться, возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления, а также осуществляется хранение зерна, продуктов его переработки и комбикормового сырья, склонных к самосогреванию и самовозгоранию.

К ОПО не относятся:

– объекты электросетевого хозяйства;

– сети газораспределения и сети газопотребления, работающие под давлением природного газа или сжиженного углеводородного газа до 0,005 МПа включительно.

ОПО в зависимости от уровня потенциальной опасности аварий на них для жизненно важных интересов личности и общества подразделяются на четыре класса опасности:

- *I класс опасности* – ОПО чрезвычайно высокой опасности;
- *II класс опасности* – ОПО высокой опасности;
- *III класс опасности* – ОПО средней опасности;
- *IV класс опасности* – ОПО низкой опасности.

Классы опасности ОПО устанавливаются исходя из количества опасного вещества или опасных веществ, которые одновременно находятся или могут находиться на ОПО, в соответствии с таблицей 1.2, либо в соответствии со следующими критериями:

1. *Для объектов по хранению химического оружия, объектов по уничтожению химического оружия и ОПО спецхимии устанавливается I класс опасности.*

2. *Для ОПО бурения и добычи нефти, газа и газового конденсата устанавливаются следующие классы опасности:*

1) II класс опасности – для ОПО, опасных в части выбросов продукции с содержанием сернистого водорода свыше 6 % объема такой продукции;

2) III класс опасности – для ОПО, опасных в части выбросов продукции с содержанием сернистого водорода от 1 до 6 % объема такой продукции;

3) IV класс опасности – для ОПО, не указанных в подпунктах 1 и 2 настоящего пункта.

3. *Для газораспределительных станций, сетей газораспределения и сетей газопотребления устанавливаются следующие классы опасности:*

1) II класс опасности – для ОПО, предназначенных для транспортировки природного газа под давлением свыше 1,2 МПа или сжиженного углеводородного газа под давлением свыше 1,6 МПа;

2) III класс опасности – для ОПО, предназначенных для транспортировки природного газа под давлением свыше 0,005 до 1,2 МПа включительно или сжиженного углеводородного газа под давлением свыше 0,005 до 1,6 МПа включительно.

4. *Для ОПО, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением более 0,07 МПа, устанавливаются следующие классы опасности:*

1) III класс опасности – для ОПО, осуществляющих теплоснабжение населения и социально значимых категорий потребителей, определяемых в соответствии с законодательством Российской Федерации в сфере теплоснабжения, а также иных ОПО, на которых применяется оборудование, работающее под избыточным давлением 1,6 МПа и более (за исключением оборудования автозаправочных станций, предназначенных для заправки транспортных средств природным газом) или при температуре рабочей среды 250 °С и более;

2) IV класс опасности – для ОПО, не указанных в подпункте 1 настоящего пункта.

5. Для ОПО, на которых используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы, эскапаторы в метрополитенах, канатные дороги, фуникулеры, устанавливаются следующие классы опасности:

- 1) III класс опасности – для подвесных канатных дорог;
- 2) IV класс опасности – для ОПО, не указанных в подпункте 1 настоящего пункта.

6. Для ОПО, на которых получают, транспортируют, используются расплавы черных и цветных металлов, сплавы на основе этих расплавов с применением оборудования, устанавливаются следующие классы опасности:

- 1) II класс опасности – для ОПО, на которых используется оборудование, рассчитанное на максимальное количество расплава 10 000 килограммов и более;
- 2) III класс опасности – для ОПО, на которых используется оборудование, рассчитанное на максимальное количество расплава от 500 до 10 000 килограммов.

7. Для ОПО, на которых ведутся горные работы, работы по обогащению полезных ископаемых, устанавливаются следующие классы опасности:

1) I класс опасности – для шахт угольной промышленности, а также иных объектов ведения подземных горных работ на участках недр, где могут произойти:

- взрывы газа и (или) пыли;
- внезапные выбросы породы, газа и (или) пыли;
- горные удары;
- прорывы воды в подземные горные выработки;

2) II класс опасности – для объектов ведения подземных горных работ, не указанных в подпункте 1 настоящего пункта, для объектов, на которых ведутся открытые горные работы, объем разработки горной массы которых составляет 1 миллион кубических метров в год и более, для объектов переработки угля (горючих сланцев);

3) III класс опасности – для объектов, на которых ведутся открытые горные работы, объем разработки горной массы которых составляет от 100 тысяч до 1 миллиона кубических метров в год, а также объектов, на которых ведутся работы по обогащению полезных ископаемых (за исключением объектов переработки угля (горючих сланцев);

4) IV класс опасности – для объектов, на которых ведутся открытые горные работы, объем разработки горной массы которых составляет менее чем 100 тысяч кубических метров в год.

8. Для ОПО, на которых осуществляется хранение или переработка растительного сырья, а также осуществляется хранение зерна, продуктов его

переработки и комбикормового сырья, устанавливаются следующие классы опасности:

- 1) III класс опасности – для элеваторов, ОПО мукомольного, крупяного и комбикормового производства;
- 2) IV класс опасности – для иных ОПО.

Таблица 1.2

Классы опасности ОПО, на которых получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются опасные вещества

Наименование или вид опасного вещества	Количество опасных веществ, т			
	I класс опасности	II класс опасности	III класс опасности	IV класс опасности
Аммиак	5000 и более	500 и более, но менее 5000	50 и более, но менее 500	10 и более, но менее 50
Нитрат аммония (нитрат аммония и смеси аммония, в которых содержание азота из нитрата аммония составляет более 28 % массы, а также водные растворы нитрата аммония, в которых концентрация нитрата аммония превышает 90 % массы)	25 000 и более	2500 и более, но менее 25 000	250 и более, но менее 2500	50 и более, но менее 250
Нитрат аммония в форме удобрений (простые удобрения на основе нитрата аммония, а также сложные удобрения, в которых содержание азота из нитрата аммония составляет более 28 % массы (сложные удобрения содержат нитрат аммония вместе с фосфатом и (или) калием)	100 000 и более	10 000 и более, но менее 100 000	1000 и более, но менее 10 000	200 и более, но менее 1000
Акрилонитрил	2000 и более	200 и более, но менее 2000	20 и более, но менее 200	4 и более, но менее 20
Хлор	250 и более	25 и более, но менее 250	2,5 и более, но менее 25	0,5 и более, но менее 2,5
Оксид этилена	500 и более	50 и более, но менее 500	5 и более, но менее 50	1 и более, но менее 5
Цианистый водород	200 и более	20 и более, но менее 200	2 и более, но менее 20	0,4 и более, но менее 2

Фтористый водород	500 и более	50 и более, но менее 500	5 и более, но менее 50	1 и более, но менее 5
Сернистый водород	500 и более	50 и более, но менее 500	5 и более, но менее 50	1 и более, но менее 5
Диоксид серы	2500 и более	250 и более, но менее 2500	25 и более, но менее 250	5 и более, но менее 25
Триоксид серы	750 и более	75 и более, но менее 750	7,5 и более, но менее 75	1,5 и более, но менее 7,5
Алкилы свинца	500 и более	50 и более, но менее 500	5 и более, но менее 50	1 и более, но менее 5
Фосген	7,5 и более	0,75 и более, но менее 7,5	0,075 и более, но менее 0,75	0,015 и более, но менее 0,075
Метилизоцианат	1,5 и более	0,15 и более, но менее 1,5	0,015 и более, но менее 0,15	0,003 и более, но менее 0,015
Воспламеняющиеся и горючие газы	2000 и более	200 и более, но менее 2000	20 и более, но менее 200	1 и более, но менее 20
Горючие жидкости, находящиеся на товарно- сырьевых складах и базах	500 000 и более	50 000 и более, но менее 500 000	1000 и более, но менее 50 000	-
Горючие жидкости, используемые в технологическом процессе или транспортируемые по магистральному трубопроводу	2000 и более	200 и более, но менее 2000	20 и более, но менее 200	1 и более, но менее 20
Токсичные вещества	2000 и более	200 и более, но менее 2000	20 и более, но менее 200	1 и более, но менее 20
Высокотоксичные вещества	200 и более	20 и более, но менее 200	2 и более, но менее 20	0,1 и более, но менее 2
Окисляющие вещества	2000 и более	200 и более, но менее 2000	20 и более, но менее 200	1 и более, но менее 20
Взрывчатые вещества	500 и более	50 и более, но менее 500	менее 50	-
Вещества, представляющие опасность для окружающей среды	2000 и более	200 и более, но менее 2000	20 и более, но менее 200	1 и более, но менее 20

Помимо вышеизложенного, к нормативным правовым актам в области производственной безопасности относятся и другие федеральные законы,

подзаконные акты, ГОСТы и т.п., регулирующие вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации электроустановок, ГПМ, подъемных сооружений, оборудования, работающего под избыточным давлением, а также пожаровзрывобезопасности.

2 ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

2.1 Основные положения и законодательство в области электробезопасности

Электробезопасность – это система организационных мероприятий и технических средств, которые предотвращают вредное и опасное воздействие на работающих электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности работающих назначаются в зависимости от типа помещения, в котором расположено электрическое оборудование, и от характера помещения. По своему назначению различают специализированные помещения с электроустановками и помещения другого назначения (производственные, бытовые, служебные, торговые и т.п.). Помещения с электроустановками доступны только для обслуживающего персонала, имеющего необходимую квалификацию и допуск для обслуживания электроустановок.

В *Правилах по охране труда при эксплуатации электроустановок*, утвержденных приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 г. № 903н (далее – *Правила*), устанавливаются государственные нормативные требования охраны труда при эксплуатации электроустановок, которые распространяются на работодателей – юридических и физических лиц независимо от их организационно-правовых форм и работников из числа электротехнического, электротехнологического и неэлектротехнического персонала организаций.

Работники, относящиеся к *электротехническому персоналу* (из числа специально подготовленного персонала, организующего и осуществляющего монтаж, наладку, ремонт, эксплуатацию, техническое обслуживание, управление режимом работы электроустановок) и *электротехнологическому персоналу* (из числа персонала, у которого в управляемом им технологическом процессе основной составляющей является электрическая энергия (электросварка, электродуговые печи, электролиз и другое), использующий в работе ручные электрические машины, переносные электроинструмент и светильники, и другие работники, для которых должностной инструкцией или инструкцией по охране

труда установлено знание Правил в объеме не ниже II группы по электробезопасности), а также должностные лица, осуществляющие контроль и надзор за соблюдением требований безопасности при эксплуатации электроустановок, специалисты по охране труда, контролирующие электроустановки, должны пройти проверку знаний требований Правил и других требований безопасности, предъявляемых к организации и выполнению работ в электроустановках в пределах требований, предъявляемых к соответствующей должности или профессии, и иметь соответствующую группу по электробезопасности.

Группа I по электробезопасности присваивается *неэлектротехническому персоналу* (из числа персонала, не относящегося к электротехническому и электротехнологическому персоналу, выполняющие работы, при которых может возникнуть опасность поражения электрическим током).

В соответствии с *Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей*, утвержденных приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 12 августа 2022 года № 811, для персонала, обслуживающего электроустановки (работающих на них), установлено пять квалификационных групп по электробезопасности:

- *I квалификационная группа по электробезопасности* присваивается неэлектротехническому персоналу, выполняющему работы, при которых может возникнуть опасность поражения электрическим током.

Присвоение группы I по электробезопасности производится путем проведения инструктажа, который, как правило, должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током.

Присвоение I группы по электробезопасности проводит работник из числа электротехнического персонала данного потребителя с группой по электробезопасности не ниже III.

Присвоение I группы по электробезопасности проводится с периодичностью не реже 1 раза в год.

- *II квалификационная группа по электробезопасности* присваивается квалификационной комиссией электротехническому персоналу, обслуживающему установки и оборудование с электроприводом, – электросварщики (без права подключения), термисты установок тока высокой частоты, машинисты грузоподъемных машин, передвижные машины и механизмы с электроприводом, работающим с ручными электрическими машинами и другими переносными электроприемниками и т.д.

Также II группа допуска (до 1000 В) присваивается молодым электромонтерам, электромонтажникам, и сотрудникам, кто просрочил продление группы допуска более, чем на 6 месяцев.

- *III квалификационная группа по электробезопасности* присваивается только электротехническому персоналу. Эта группа дает право единоличного обслуживания, осмотра, подключения и отключения электроустановок от сети напряжением до 1000 В.

- *IV квалификационная группа по электробезопасности* присваивается только лицам электротехнического персонала. Лица с квалификационной группой не ниже IV имеют право на обслуживание электроустановок напряжением выше 1000 В.

IV квалификационная группа по электробезопасности (до 1000 В) необходима инженерно-техническим работникам для назначения ответственным лицом за электрохозяйство в организации. Также присваивается оперативному персоналу для обучения молодого поколения на рабочем месте.

- *V квалификационная группа по электробезопасности* присваивается лицам, ответственным за электрохозяйство, и другому инженерно-техническому персоналу в установках напряжением выше 1000 В.

Лица с V группой по электробезопасности имеют право отдавать распоряжения и руководить работами в электроустановках напряжением как до 1000 В, так и выше.

Помещения с электроустановками характеризуются, как правило, повышенной температурой, влажностью и значительным количеством металлического оборудования, имеющего контакт с землей. Все это создает повышенную опасность поражения электрическим током.

В *Правилах устройства электроустановок (ПУЭ)*, утвержденных приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 08 июля 2002 № 204, приведена следующая классификация помещений: сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие и пыльные.

К *сухим помещениям* относятся помещения, в которых относительная влажность воздуха не превышает 60 %.

Влажными помещениями называют помещения, в которых пары и конденсирующая влага выделяются лишь кратковременно в незначительных количествах, относительная влажность воздуха в пределах 60-75 %.

К *сырым помещениям* относятся помещения, в которых относительная влажность воздуха превышает 75 %.

Особо сырыми помещениями называют помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100 %.

Жаркими помещениями называют помещения, в которых под воздействием тепловых излучений температура превышает постоянно или периодически (более суток) 35 °С.

Пыльными помещениями называют помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль в таком количестве, что она может оседать на проводах, проникать внутрь машин, аппаратов и т.п. Пыльные помещения разделяют на помещения с токопроводящей пылью и помещения с нетокопроводящей пылью.

Дополнительно различают *помещения с химически активной или органической средой*, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

Согласно вышеперечисленным признакам помещения подразделяют на три группы по степени опасности поражения электрическим током:

1) *Помещения с повышенной опасностью*, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- влажности воздуха (относительная влажность превышает 75 %) или токопроводящей пыли;
- токопроводящих полов (металлических, земляных, бетонных, керамических, кирпичных и т.п.);
- высокой температуры (больше 35 °С);
- возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям (водопровод, канализация, центральное отопление), с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования, с другой.

2) *Особо опасные помещения*, которые характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

- повышенной сырости (подвальные помещения);
- химически активной среды;
- одновременно двух или более условий помещений повышенной опасности.

3) *Помещения без повышенной опасности*, в которых отсутствуют условия двух предыдущих категорий помещений.

Правильно определенный класс помещения по опасности поражения током позволяет обоснованно произвести выбор исполнения электрооборудования и конструкций электроустановок, которые должны не

только успешно противостоять воздействию окружающей среды, но и обеспечивать высокую степень безопасности работающих.

Базовые термины в сфере электробезопасности:

▪ *Электрический ток* – это упорядоченное направленное движение заряженных частиц в проводнике. Электрический ток характеризуется силой тока I , которая в системе СИ измеряется в амперах [А], и плотностью тока j , которая в системе СИ измеряется в амперах на квадратный метр [А/м²].

▪ *Сила тока* – это величина, численно равная заряду δq , протекающему за единицу времени δt через сечение проводника:

$$I = \frac{\delta q}{\delta t}. \quad (2.1)$$

Основной формулой для расчета силы тока является закон Ома для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (2.2)$$

где U – напряжение электрического тока между концами проводника, В; R – сопротивление проводника, Ом.

Электрическая дуга – электрический разряд в газовой среде между контактами, возникающий при размыкании электрического контакта или при нестабильности переходного сопротивления контактов (искрение).

Электромагнитное поле – вид материи, определяемый во всех точках двумя векторными величинами – напряженностями электрической и магнитной составляющей электромагнитной волны, оказывающими силовое воздействие на электрически заряженные частицы, зависящее от их скорости и электрического заряда.

Электростатическое поле – электрическое поле неподвижных заряженных тел при отсутствии в них электрических токов.

Электрическое поле – одна из двух компонент электромагнитного поля, характеризующаяся воздействием на электрически заряженную частицу с силой, пропорциональной заряду этой частицы и не зависящей от ее скорости.

Магнитное поле – одна из двух компонент электромагнитного поля, характеризующаяся воздействием на движущуюся электрически заряженную частицу с силой, пропорциональной заряду этой частицы и ее скорости.

Напряженность электрического поля – векторная величина, характеризующая электрическое поле и определяющая силу, действующую на электрически заряженную частицу со стороны электрического поля.

Напряженность магнитного поля – векторная величина, равная геометрической разности магнитной индукции, деленной на магнитную постоянную, и намагниченности.

Магнитная индукция – векторная величина, характеризующая магнитное поле и определяющая силу, действующую на движущуюся электрически заряженную частицу со стороны магнитного поля.

Статическое электричество – совокупность явлений, связанных с возникновением, сохранением и релаксацией свободного электрического заряда на поверхности или в объеме диэлектриков или на изолированных проводниках.

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

Проводник – материал, в котором течет электрический ток. Некоторые материалы при низких температурах переходят в состояние сверхпроводимости. В таком состоянии они не оказывают почти никакого сопротивления току, их сопротивление стремится к нулю. Во всех остальных случаях проводник оказывает сопротивление течению тока и в результате часть энергии электрических частиц превращается в тепло. Материалы, которые не способны проводить электрический ток называются *диэлектриками*.

2.2 Виды электрического тока

Среди видов электрического тока, применяемых в производственной практике и для бытовых целей, различают:

- *постоянный ток* – обозначение (–) или DC (Direct Current – постоянный ток);
- *переменный ток* – обозначение (~) или AC (Alternating Current – переменный ток).

При использовании источников постоянного тока электрический ток течет в одном направлении. Постоянный ток получают от широко распространенных сухих батарей, солнечных батарей и аккумуляторов для приборов с небольшим потреблением электротока. Для мощных потребителей требуется постоянный ток большой силы, который создается с помощью выпрямления переменного тока или генераторов постоянного тока.

В качестве технического направления тока принято, что он течет от контакта со знаком «+» к контакту со знаком «–».

В случае переменного тока (~) различают однофазный переменный ток, трехфазный переменный ток и высокочастотные токи.

В сетях переменного тока электрический ток постоянно изменяет свою величину (как правило, по синусоидальному закону) и свое направление. В

западноевропейской энергосети ток за секунду меняет свое направление 50 раз. Частота изменения колебаний в секунду называется частотой тока. Единица частоты – герц (Гц).

В современной практике распространено использование переменного тока частотой от 50 Гц до 300 ГГц.

Весь диапазон переменного тока по использованию разбит на ряд поддиапазонов:

1. *Ток промышленной частоты* (50-400 Гц) используется в системах производственного и бытового энергоснабжения, в авиационной промышленности, в специальных приводах с регулируемой частотой.

2. *Ток низкой частоты* (3-300 кГц) широко применяется в радиовещании, при термообработке металлов.

3. *Ток средней частоты* (0,3-3 МГц) используется в радиовещании, для индуктивного нагрева металлов и токопроводящих композитов.

4. *Ток высокой частоты* (3-30 МГц) применяется в радио- и телевизионном вещании, в медицинской аппаратуре, при высокочастотной сварке полимеров.

5. *Ток очень высокой частоты* (30-300 МГц) находит применение в системах спутникового радиовещания и телевидения, в медицине, для сварки полимеров.

6. *Ток ультравысокой частоты* (0,3-3 ГГц) наиболее широко в силу ряда преимуществ используется в радиолокации, многоканальной радиосвязи, радиоастрономии, радиоспектроскопии, радионавигации, телекоммуникации, дефектоскопии, геодезии, физиотерапии.

7. *Ток сверхвысокой частоты* (3-30 ГГц) широко используется в системах спутникового телевидения, для телеметрической связи с искусственными спутниками Земли и другими космическими объектами.

8. *Ток крайне высокой частоты* (30-300 ГГц) воздействует на определенные центры головного мозга и применяется в медицинских целях.

2.3 Действие электрического тока на человека

При протекании электрического тока через человека различают три вида отрицательного воздействия на организм человека: термическое, электролитическое и биологическое.

Термическое действие проявляется в нагреве и ожогах разной степени всех видов биологических тканей.

Электролитическое действие проявляется в разложении крови и других жидкостей, входящих в состав организма, с образованием анионов и катионов,

присутствие которых вызывает значительные нарушения процессов нормального функционирования отдельных систем человека.

Биологическое действие проявляется в виде нарушения нормальной работы нервной системы и приводит к возбуждению живых тканей организма, к болезненным судорожным сокращениям мышц, в том числе легких и сердца.

При действии электрического тока на человека различают два вида поражения: местные электрические травмы и общие электрические травмы, так называемые электрические удары.

К *местным электрическим травмам* относятся электрические ожоги, металлизация кожи, электрические знаки, электроофтальмия и механические повреждения.

Электрические ожоги являются достаточно распространенной травмой. Различают два вида ожогов: контактный и дуговой. Токовый ожог возникает при прохождении тока через человека при непосредственном контакте с токоведущими частями электрических приборов и является следствием локального преобразования электрической энергии в тепловую. Токовые ожоги возникают при напряжениях не выше 1-2 кВ и классифицируются как ожоги I и II степени (покраснение и отслоение кожных покровов, образование пузырей). Дуговой ожог образуется при значительных напряжениях между токоведущими частями и телом человека при возникновении электрической дуги с температурой 3-5 тыс. градусов, что вызывает локальное выгорание или испарение органических тканей. Дуговые ожоги относятся к тяжелым и классифицируются как ожоги III или IV степени.

Электрическими знаками принято называть пятна серого или бледно-желтого цвета на поверхности кожи человека, возникающие в местах действия электрического тока. В большинстве случаев электрические знаки безболезненны и хорошо излечиваются.

Металлизация кожи возникает при внедрении в верхние слои кожи мельчайших частичек металла, расплавившегося в электрической дуге. Такие явления характерны при коротких замыканиях, аварийных отключениях открытых частей электрооборудования и других случаях.

Электроофтальмия – поражение глаз под действием ультрафиолетового излучения электрической дуги.

Основная причина *механических повреждений* – неуправляемые судорожные сокращения мышц под воздействием электрического тока, что приводит к разрыву кожных покровов, повреждению кровеносных сосудов и нервов, а также может привести к вывихам суставов, разрывам связок и даже перелому костей. К электротравмам также относятся ушибы и переломы, полученные при падении человека с высоты, вызванном воздействием тока.

Электрический удар проявляется как возбуждение живых тканей организма проходящим через него электрическим током, характеризующееся непрерывными судорожными сокращениями мышц. Электрические удары по тяжести последствий подразделяются на четыре степени:

- *первая* – судорожное сокращение мышц без потери сознания;
- *вторая* – судорожное сокращение мышц, потеря сознания, дыхание и деятельность сердца сохраняются;
- *третья* – потеря сознания, нарушение сердечной деятельности или дыхания, или того и другого вместе;
- *четвертая* – клиническая смерть, т.е. отсутствие дыхания и кровообращения.

При поражении человека электрическим током различают понятия клинической (мнимой) и биологической (истинной) смерти. Длительность *клинической смерти* определяется временем с момента прекращения сердечной деятельности и дыхания до начала гибели отдельных областей головного мозга, особо чувствительных к кислородному голоданию. Обычно состояние клинической смерти не превышает 5-7 мин (продолжительность определяется состоянием здоровья, предыдущей физической нагрузкой, температурой окружающей среды). При более длительном нахождении человека без признаков жизни в клетках и тканях организма возникают необратимые изменения, таким образом, наступает *биологическая (истинная) смерть*.

2.4 Факторы, определяющие исход поражения человека электрическим током

Поражающее действие тока на организм человека зависит от многих факторов, из которых можно выделить наиболее существенные:

- величина тока через человека в момент поражения;
- длительность воздействия электрического тока;
- сопротивление человека в момент поражения;
- род и частота тока;
- путь протекания тока в теле человека;
- индивидуальные свойства человека;
- факторы окружающей среды.

Величина тока, проходящего через человека, является основным фактором, определяющим тяжесть электротравматизма. По степени воздействия электрического тока на организм человека различают три пороговых значения: ощутимое, неотпускающее и фибрилляционное (таблица 2.1).

Таблица 2.1

Степень воздействия электрического тока на организм человека

Степень воздействия	Сила тока, мА	Поражающее действие электрического тока	
		Переменный ток с частотой 50-60 Гц	Постоянный ток
Ощутимый ток	2-3	Сильное дрожание пальцев рук	Не ощущается
	5-10	Судороги рук, других мышц	Зуд, ощущение нагрева
	12-15	Сильные боли в руках, руки трудно оторвать от токоведущих частей. Состояние терпимо 5-10 с	Усиление ощущения нагрева
Неотпускающий ток	20-50	Руки парализуются, оторвать их от токоведущих частей невозможно. Сильные боли в мышцах. Дыхание затрудняется. Состояние терпимо не более 5 с	Усиление нагрева, незначительные сокращения мышц рук
Фибрилляционный (смертельный) ток	50-80	Паралич дыхания	Сильный нагрев. Сокращение мышц рук. Судороги. Затруднение дыхания
	90-110	Паралич дыхания. При контакте более 3 с – паралич сердца	Паралич дыхания
	300 и более	Паралич дыхания и сердца при контакте более 1 с	Поражение дыхания и сердца при контакте более 0,1 с

Пороговый *ощутимый ток* вызывает при прохождении его через организм ощутимые раздражения в форме легких покалываний, когда его величина достигает 0,5-1,5 мА (указанные пределы относятся к переменному току промышленной частоты 50 Гц). Постоянный ток вызывает такие же воздействия при больших значениях тока (6-7 мА). Ощутимый ток вызывает у человека малоболезненные раздражения, и самым главным является возможность человека самостоятельно освободиться от токоведущей части оборудования, находящейся под напряжением.

Неотпускающий ток при прохождении через человека приводит к возникновению неуправляемых судорожных сокращений мышц. Величина порогового неотпускающего тока составляет для переменного от 10 до 15 мА и для постоянного тока от 50 до 60 мА. Следует особо подчеркнуть, что при таких величинах тока человек уже не может целенаправленно управлять собственной мышечной системой и самостоятельно отключиться от электрической цепи.

Фибрилляционный ток вызывает при прохождении его через организм фибрилляцию сердца – хаотические сокращения волокон сердечной мышцы (фибрилл), при которых нарушается нормальный режим кровообращения. Пороговое значение фибрилляционного тока составляет 100 мА для переменного

и 300 мА для постоянного тока при длительности действия в интервале от 1 до 2 с по характерным схемам включения человека в электрическую цепь «рука – рука» или «рука – ноги».

Длительность воздействия электрического тока на человека существенным образом определяет величины допустимых значений напряжений прикосновения и токов. Предельно допустимые величины напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека, нормируются в зависимости от режима работы электроустановки – нормального (таблица 2.2) или аварийного (таблица 2.3), вида установок – бытовых или производственных.

Таблица 2.2

Допустимые напряжение прикосновения U_h и ток I_h , протекающие через тело человека в нормальном режиме работы электроустановки

Род и частота тока	U_h , В, не более	I_h , мА, не более
Переменный 50 Гц	2,0	0,3
Переменный 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Таблица 2.3

Допустимые напряжение прикосновения U_h и ток I_h , протекающие через тело человека при аварийном режиме работы бытовых электроустановок

Продолжительность воздействия t , с	Нормируемая величина		Продолжительность воздействия t , с	Нормируемая величина	
	U_h , В	I_h , мА		U_h , В	I_h , мА
0,01-0,08	220	220	0,6	40	40
0,1	200	220	0,7	35	35
0,2	100	100	0,8	30	30
0,3	70	70	0,9	27	27
0,4	55	55	1,0	25	25
0,5	50	50	свыше 1,0	12	2

В аварийном режиме бытовых электроустановок при длительности воздействия более 1 с допустимые величины напряжения 12 В и тока 2 мА. В аварийных режимах производственных электроустановок допустимые величины напряжения прикосновения и тока, проходящего через человека, несколько больше: переменный ток 50 Гц – 36 В, 6 мА; 400 Гц – 36 В, 8 мА; постоянный ток – 40 В, 15 мА при длительности воздействия более 1 с.

Сопротивление тела человека в отличие от обычных проводников обусловлено не только его физическими свойствами, но и взаимосвязанными биохимическими и биофизическими процессами, характерными только для живой материи. Поэтому сопротивление тела человека является нелинейной

переменной величиной, зависящей от комплекса факторов: состояния кожи, параметров полной электрической цепи, физиологических факторов и состояния окружающей среды.

Электрическое сопротивление различных тканей тела человека неодинаково: кожа, жировая ткань, сухожилия и кости имеют значительное сопротивление (103-104 Ом·м), а мышцы, кровь, лимфа, спинной и головной мозг – малое сопротивление (1-2 Ом·м) при промышленных частотах тока 50-60 Гц. Так как кожа обладает очень большим удельным сопротивлением, то ее конкретное сопротивление в момент поражения человека электрическим током является главным фактором, определяющим сопротивление тела человека в целом.

Кожа состоит из двух основных слоев: наружного, называемого эпидермисом, и внутреннего, являющегося собственно кожей и носящего название дермы. Сопротивление тела человека можно условно считать состоящим из трех последовательно включенных сопротивлений: двух одинаковых сопротивлений наружного слоя кожи, которые в совокупности составляют так называемое наружное сопротивление тела человека, и одного, называемого внутренним сопротивлением тела. Следует учитывать, что сопротивление кожи существенным образом зависит от ее состояния в момент поражения (сухая, увлажненная, переувлажненная, загрязненная токопроводящими материалами, смоченная растворами солей и поврежденная). Исключая емкостную составляющую сопротивления тела человека, в качестве расчетной величины при воздействии переменного тока промышленных частот принимают при расчетах систем защиты человека от поражения электрическим током значение активного сопротивления тела человека, равное 1000 Ом.

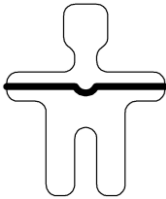
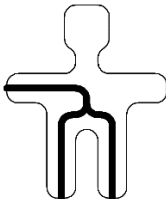
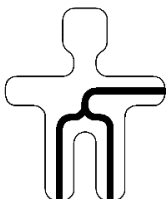
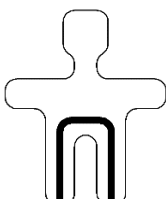
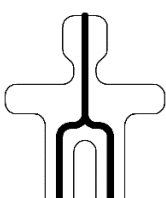
Род и частота электрического тока также оказывают существенное влияние на исход поражения человека электрическим током. При напряжении до 300 В постоянный ток является более безопасным (в 3-4 раза) по сравнению с переменным (50-60 Гц) током. При больших напряжениях опасность постоянного тока возрастает существенно, и он становится даже более опасным, чем переменный ток.

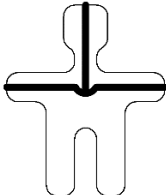
Для оценки опасности переменного тока следует учитывать его частоту, так как с увеличением частоты уменьшается величина полного сопротивления человека. Наибольшую опасность для человека представляет переменный ток промышленных частот (50-100 Гц). Начиная с частот 1-2 кГц, опасность переменного тока по сравнению с постоянным начинает уменьшаться и при частотах свыше 45 кГц практически выравнивается. Но при этом значительно возрастает опасность ожогов поверхностных покровов человека.

Путь прохождения электрического тока через тело человека зависит от схемы включения человека в электрическую цепь и определяет тяжесть электротравматизма. Путь прохождения тока (так называемая петля тока) через жизненно важные органы (головной мозг, сердце и легкие) является самым опасным для человека. Наиболее опасные характерные для производственной практики человека петли тока приведены в таблица 2.4.

Таблица 2.4

Характерные пути тока в теле человека

Наименование петли	Путь прохождения тока	Схема прохождения тока	Частота возникновения пути тока, %
Верхняя	Рука – рука		40,0
Правая полная	Правая рука – ноги		20,0
Левая полная	Левая рука – ноги		17,0
Нижняя	Нога – нога		6,0
Прямая вертикальная	Голова – ноги		5,0

Прямая горизонтальная	Голова – руки		4,0
--------------------------	---------------	--	-----

Наиболее опасные петли «голова – ноги» и «голова – руки» образуются достаточно редко, но они являются основой при проектировании и эксплуатации защитных устройств в электросистемах.

Индивидуальные свойства человека обуславливают индивидуальное сопротивление человека, которое изменяется при физической нагрузке, заболевании человека. Например, пол и возраст существенно сказываются на пороговом ощущаемом токе, для женщин он уменьшается в среднем на 30 %. Физически крепкие люди легче переносят воздействие электрического тока по сравнению с ослабленными различными заболеваниями. Лица, страдающие болезнями сердца, нервными заболеваниями, а также находящиеся в состоянии усталости или алкогольного опьянения, подвергаются большей опасности поражения электрическим током.

Состояние окружающей среды также сказывается на механизме поражения. Наличие в воздухе рабочих помещений химически активных и токсичных газов, попадающих в организм человека, снижает его полное электрическое сопротивление. Во влажных и сырых помещениях нарушается нормальный влагообмен человека, что приводит к увлажнению кожи, сопровождающемуся значительным уменьшением сопротивления кожного покрова. При работе в помещениях с высокой температурой окружающей среды или со значительной физической нагрузкой характерным является усиленное потовыделение, при этом электропроводимость кожного покрова увеличивается.

2.5 Промышленные электрические сети и их опасность

Для питания промышленных и бытовых объектов используют электрические сети различных типов. Наиболее характерными из них являются: трехфазная с изолированной нейтралью и трехфазная (четырёхпроводная) с заземленной нейтралью. Выбор схемы сети и режима нейтрали источника тока осуществляют в зависимости от технологических требований и условий безопасности обслуживающего персонала.

Исход поражения человека электрическим током, определяемый током, протекающим через тело человека, и напряжением прикосновения, существенно зависит от типа сети, питающей потребителя электроэнергии, и ее параметров, в

том числе: напряжения и частоты сети; режима нейтрали сети; схемы включения человека в электрическую цепь; сопротивления изоляции фазных проводов сети относительно земли; емкости фазных проводов сети относительно земли; режима работы сети.

В качестве типичного источника питания используются трехфазные трансформаторы, позволяющие получать требуемое для потребителя напряжение.

Трехфазная электрическая сеть с изолированной нейтралью, в которой источником питания является трехфазный трансформатор, имеющий три первичных обмотки (I) и три вторичных обмотки (II), представлена на рисунке 2.1. На первичные обмотки подается высокое напряжение (6-10 кВ), поступающее на объект или группу объектов, со вторичных обмоток более низкое напряжение (как правило, 380 В) подается на электроустановки. Нейтральная точка (N) соединения вторичных обмоток от земли изолирована. К потребителю поступает три фазы (А, В и С), напряжения между которыми равны и называются линейными напряжениями. Следует отметить, что реальные сети обладают двумя недостатками, которые существенно сказываются на безопасности работающих при различных схемах поражения человека.

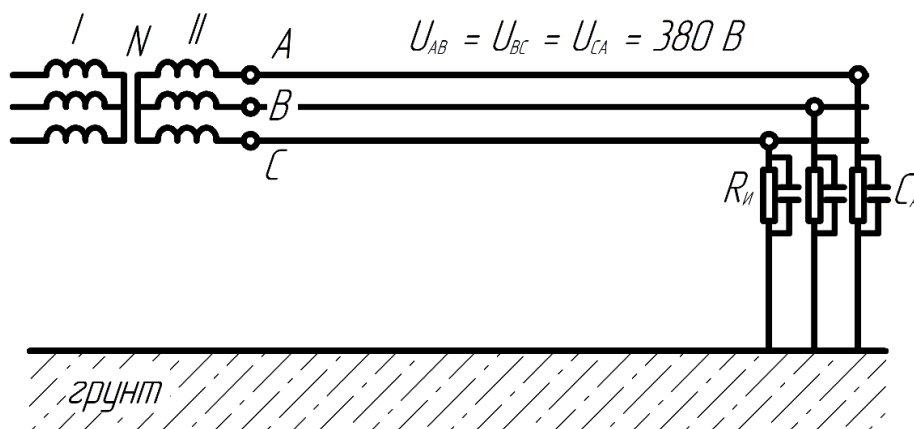


Рисунок 2.1 – Схема трехфазной сети с изолированной нейтралью

Первым недостатком вследствие большой протяженности линейных проводов и постоянного пребывания изоляционных материалов во влажной атмосфере является конечное значение сопротивления изоляции ($R_{и}$) линейных проводов относительно земли. Второй недостаток – образование значительной электрической емкости (C) линейных проводов с землей. Вследствие этого образуются возможные пути тока при различных схемах поражения человека.

Наиболее частым случаем включения человека в электрическую сеть является *однополюсное (однофазное) прикосновение* (рисунок 2.2) к токоведущим частям электрооборудования. При этом последовательно с

человеком включаются параллельные $R_{и}$, C элементы двух других фаз. Через человека протекают два равных по величине тока на две другие фазы (А и В). Исход поражения человека в этом случае определяется в совокупности качеством изоляции и емкостной проводимостью. В связи с этим электрические сети с изолированной нейтралью целесообразно применять при возможности выполнения высокого качества изоляции проводов относительно земли и при незначительной емкости фазных проводов относительно земли. Таким требованиям отвечают малоразветвленные сети в условиях сухих и неагрессивных сред при постоянном контроле качества изоляции.

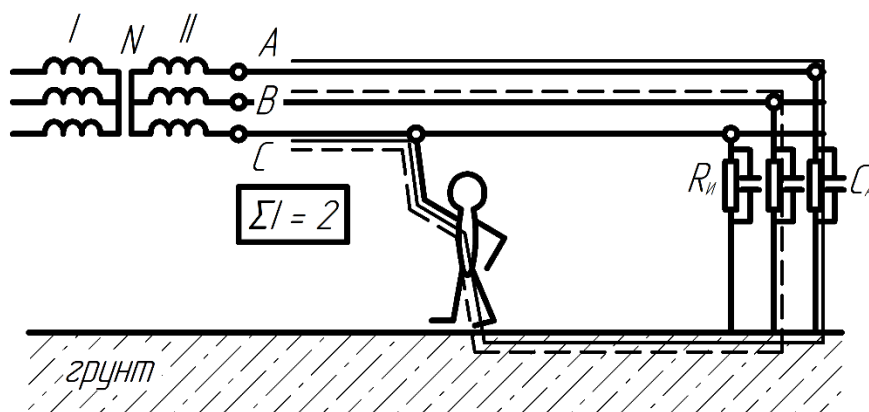


Рисунок 2.2 – Однофазное прикосновение человека к электрической сети с изолированной нейтралью (режим работы сети – нормальный)

Расследование случаев электротравматизма показывает, что при прочих равных условиях однофазное включение человека в сеть с изолированной нейтралью менее опасно, чем в сеть с заземленной нейтралью.

Значительно большую опасность представляет *двухфазное включение* (рисунок 2.3) человека в электрическую сеть, так как при этом к нему вне зависимости от режима нейтрали оказывается приложенным линейное напряжение. В этом случае при протекании тока по пути «рука – рука» его величина определяется только сопротивлением человека в момент поражения и не зависит от качества изоляции проводов и величины емкостной проводимости.

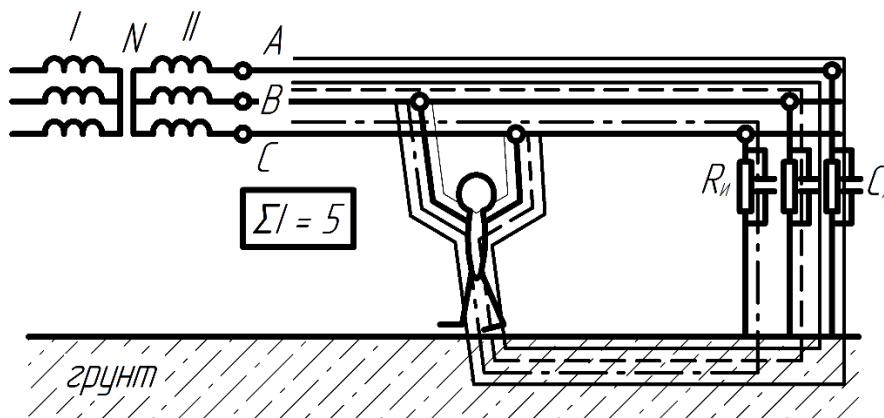


Рисунок 2.3 – Двухфазное прикосновение человека к электрической сети с изолированной нейтралью (режим работы сети – нормальный)

Из пяти протекающих через человека токов ток по пути «рука – рука» является максимальным и полностью определяющим исход электротравматизма.

Наиболее редким, но в то же время наиболее тяжелым по исходу является случай *трехфазного* включения человека в электрическую сеть. При таком включении человека через него протекают девять токов, наибольшую опасность из которых представляют три тока по путям «рука – рука» и «голова – рука».

Следует особо отметить, что в сетях с изолированной нейтралью особенно опасен аварийный режим, когда на землю замыкает одна из фаз, а человек прикасается к проводу исправной фазы. В этом случае к человеку оказывается приложенным почти полное линейное напряжение с вытекающими последствиями.

Наибольшее распространение в промышленности нашли *трехфазные электрические сети с заземленной нейтралью* (рисунок 2.4), позволяющие получать два различных напряжения от одного источника питания – линейное (380 В) и фазное (220 В). Линейное напряжение обычно используется для питания силового электрооборудования, а фазное применяют для осветительных установок, средств автоматизации, компьютеров и т.п.

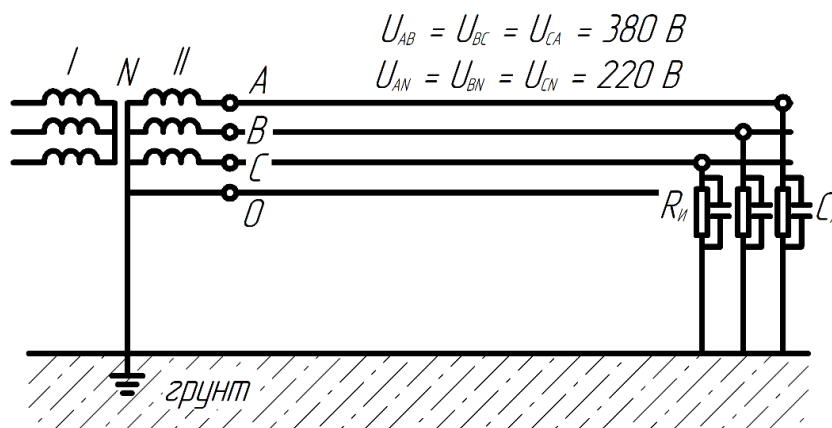


Рисунок 2.4 – Схема трехфазной сети с заземленной нейтралью

В таких сетях нейтральная точка (N) надежно заземляется в месте установки трансформатора и к потребителю поступает четвертый провод, называемый *нулевым* (0). Название указывает, что потенциал этого провода относительно земли равен нулю.

Напряжения между фазами А, В и С называются *линейными напряжениями*, а между каждой из фаз и нулевым проводом – *фазными*.

В сетях с заземленной нейтралью сопротивление заземления нейтральной точки достаточно мало (2-6 Ом) по сравнению с сопротивлением изоляции линейных проводов относительно земли (500 кОм и более).

Исходя из этого, даже *однофазное прикосновение* человека к фазе исправной сети с заземленной нейтралью (рисунок 2.5.) приводит к возникновению пути тока на нейтраль. Величина тока на нулевую точку является наибольшей (из трех токов, протекающих через человека) и определяется фазным напряжением, сопротивлением человека, его обуви, сопротивлением пола и сопротивлением заземления нейтральной точки.

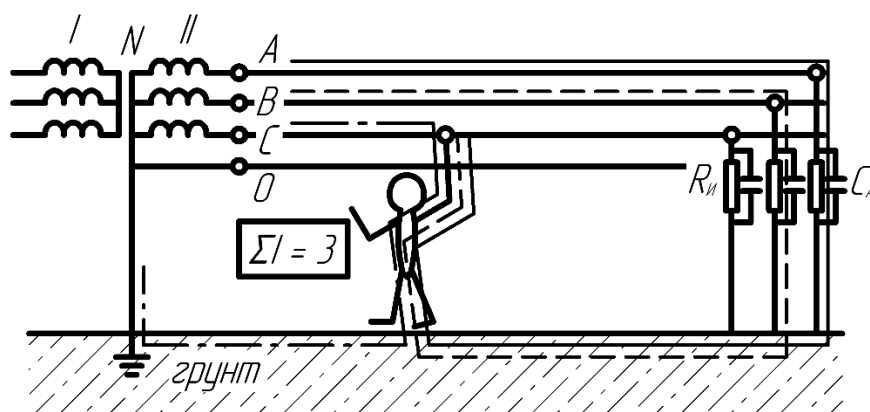


Рисунок 2.5 – Однофазное прикосновение человека к электрической сети с заземленной нейтралью (режим работы сети – нормальный)

При *двухфазном прикосновении* человека (рисунок 2.6) к исправной сети с заземленной нейтралью через него протекают семь токов, два из которых направлены на нулевую точку.

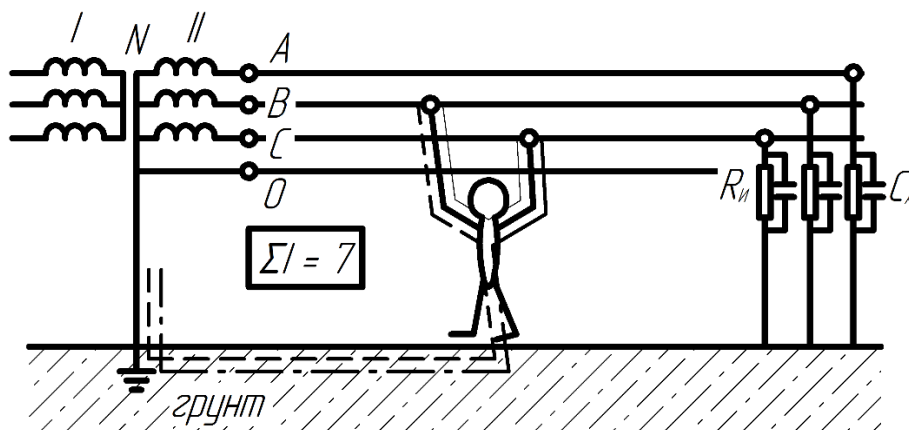


Рисунок 2.6 – Двухфазное прикосновение человека к электрической сети с заземленной нейтралью (режим работы сети – нормальный)

К человеку при таком включении приложено линейное напряжение (путь тока «рука – рука») и два фазных напряжения (путь тока «рука – нога»).

При *трехфазном прикосновении* человека к электрической сети с заземленной нейтралью через него протекают двенадцать токов, из которых наибольшую опасность представляют шесть токов, величины которых определяются только сопротивлением человека, его обуви и сопротивлением пола помещения.

Трехфазные сети с заземленной нейтралью применяют при недостаточно высоком уровне изоляции проводов относительно земли при работе во влажных или агрессивных средах и наличии больших емкостных токов.

2.6 Опасность замыкания токоведущих частей электроустановок на землю

В процессе эксплуатации электроустановок, контактирующих с грунтом, при аварийных ситуациях происходит замыкание их частей, находящихся под напряжением, на корпуса этих приборов, а, следовательно, на землю. Земля при этом становится участком электрической цепи тока замыкания. В трехфазных сетях с изолированной нейтралью эти токи направлены на две другие исправные фазы через сопротивления изоляции и емкости проводников относительно земли (рисунок 2.7). В трехфазных сетях с заземленной нейтралью токи замыкания на землю направлены на две другие исправные фазы через сопротивления изоляции и емкости проводников относительно земли и нулевую точку. При этом возникают отрицательные явления: появление потенциалов на корпусах электрооборудования и находящихся в контакте с ними металлических частях, а также на поверхности грунта вокруг места стекания тока в землю.

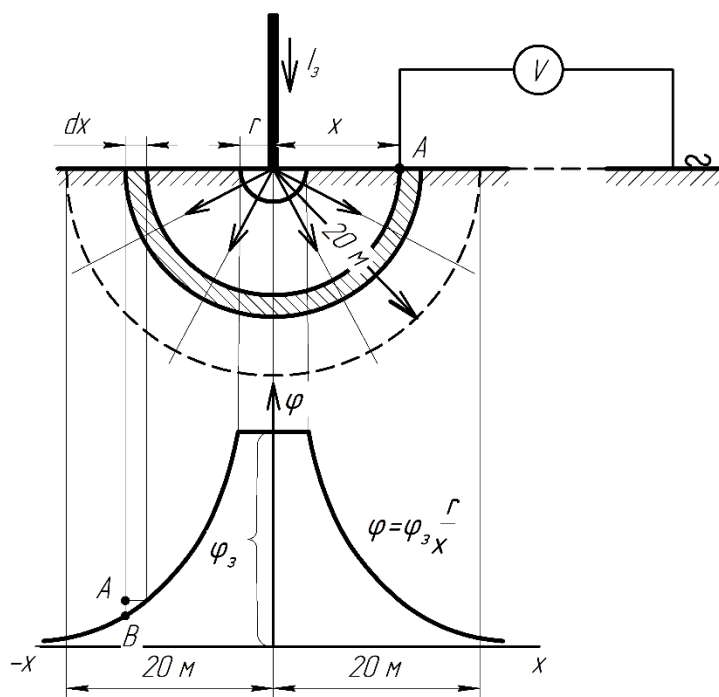


Рисунок 2.7 – Распределение потенциала на поверхности земли вокруг полушарового заземлителя

Характер распределения потенциалов на поверхности земли можно оценить при рассмотрении случая тока замыкания I_z , А, на землю через наиболее простой заземлитель – полушар радиусом r , м. Упростим задачу, принимая, что земля во всем своем объеме однородна, т.е. в любой точке обладает одинаковым удельным сопротивлением ρ , Ом·м.

В объеме земли, где проходит ток, возникает так называемое «поле растекания тока». Теоретически оно простирается до бесконечности. Однако в реальных условиях уже на расстоянии 20 м от заземлителя сечение слоя земли, по которому проходит ток, оказывается столь большим, что плотность тока здесь практически равна нулю. Следовательно, поле растекания можно считать распространяющимся лишь на расстояние 20 м от заземлителя.

При постоянном токе и при переменном с частотой 50 Гц поле растекания тока в проводящей однородной среде можно рассматривать как стационарное электрическое поле, напряженность которого E , В/м, связана с плотностью тока δ соотношением $\delta = E/r$, являющимся законом Ома в дифференциальной форме. На основании этого можно определить потенциал любой точки на поверхности земли, отстоящей от центра заземлителя на расстоянии x : $\varphi = \varphi_z r/x$.

Человек, находящийся в зоне растекания тока или контактирующий непосредственно с корпусами аварийных установок, подвергается двум видам опасности: напряжению шага и напряжению прикосновения.

Напряжение шага – напряжение между двумя точками цепи тока, находящимися одна от другой на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек. При этом длина шага a принимается равной 0,8 м.

Напряжение шага при замыкании на землю определяется отрезком AB , величина которого зависит от расстояния до точки замыкания и формы кривой распределения потенциала в данном месте. Максимальное значение шагового напряжения будет при наименьшем расстоянии от точки замыкания, т.е. когда человек одной ногой стоит непосредственно на точке замыкания, а другой – на расстоянии шага от него. Наименьшее значение шагового напряжения будет при большом удалении от заземлителя (> 20 м).

Напряжение прикосновения возникает между двумя потенциальными точками цепи, которых одновременно касается человек.

На рисунке 2.8 показана группа электрических приборов, контактирующих между собой. При замыкании фазного провода на корпус одного из этих приборов в точке контакта с землей появится потенциал φ_3 . Вокруг точки замыкания возникает характерное поле растекания тока.

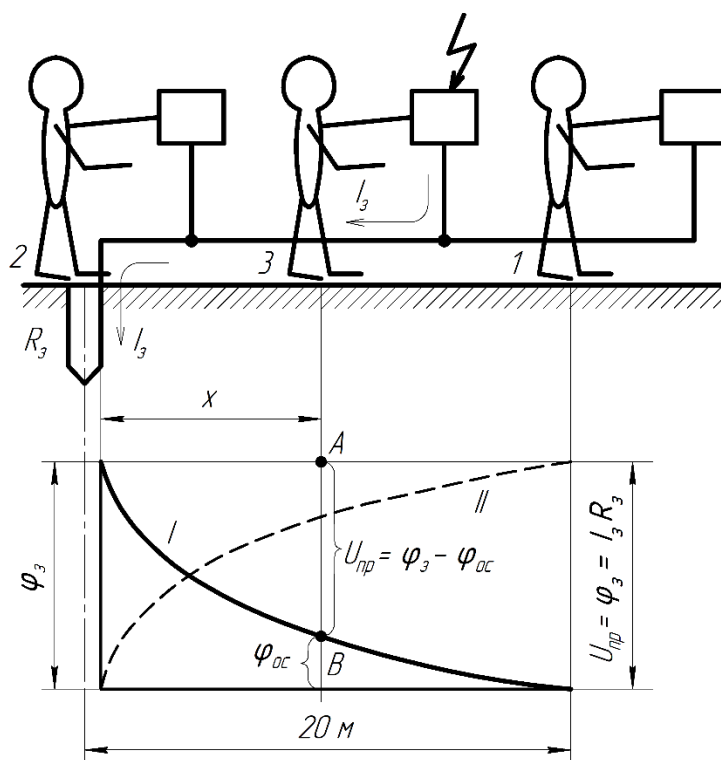


Рисунок 2.8 – Напряжение прикосновения при замыкании на корпус электроустановки, контактирующей с землей: I – потенциальная кривая растекания тока в земле; II – кривая, характеризующая изменение напряжения прикосновения $U_{пр}$ при изменении расстояния от заземлителя x

Напряжение прикосновения характеризуется отрезком AB и зависит от формы потенциальной кривой и расстояния x между человеком, прикасающимся

к оборудованию, и точкой замыкания: чем дальше от заземлителя находится человек, тем больше $U_{\text{пр}}$, и наоборот. Таким образом, при расстоянии $x = \infty$ напряжение прикосновения имеет наибольшее значение. Это наиболее опасный случай прикосновения. При $x = \min$ человек не подвергается воздействию напряжения, хотя и находится под потенциалом φ_3 .

Для устранения или уменьшения до безопасных значений величин шагового напряжения и напряжения прикосновения применяются различные способы защиты человека.

2.7 Основные промышленные способы защиты человека от поражения электрическим током

В соответствии с государственными стандартами по электробезопасности и ПУЭ номенклатура видов защиты от поражения электрическим током включает в себя следующие способы и средства защиты.

При прямых прикосновениях рекомендуется: применение защитных оболочек и ограждений; расположение токоведущих незаизолированных частей вне зоны досягаемости; применение изоляции (рабочей, дополнительной, усиленной) токоведущих частей; использование низкого напряжения, защитного отключения и блокировки опасных зон; применение предупредительной сигнализации и знаков безопасности; использование во время работ на сетях или электрооборудовании под напряжением средств индивидуальной защиты; контроль изоляции.

При косвенных прикосновениях необходимо использовать: зануление с использованием защитных проводников; заземление в комплексе с заземляющими контурами; системы выравнивания потенциалов; приборы защитного отключения; двойную изоляцию; контроль изоляции; электрическое разделение сети.

Технические способы и средства защиты применяются отдельно или в комплексе для получения оптимальной защиты. Для предотвращения случайного прикосновения человека к незаизолированным токоведущим частям или приближения к ним на опасное расстояние они должны располагаться в недоступном месте или на недосягаемой высоте. В противном случае токоведущие части закрываются ограждениями или заключаются в оболочки.

Изоляция токоведущих частей электрооборудования

Различают изоляцию рабочего места и изоляцию в электроустановках. На рабочем месте изолируются от земли пол, настил, площадка и т.п., а также все металлические детали, потенциал которых отличается от потенциала токоведущих частей, прикосновение к которым возможно.

В электроустановках применяются следующие виды изоляции:

- *рабочая изоляция* – электрическая изоляция токоведущих частей (проводов, шин и т.п.), обеспечивающая предотвращение коротких замыканий в электроустановке и защиту человека от поражения электрическим током;
- *дополнительная изоляция* – электрическая изоляция нетоковедущих в нормальном состоянии частей электроустановки, предусмотренная дополнительно к рабочей изоляции токоведущих частей для защиты человека в случае повреждения (пробоя) рабочей изоляции;
- *усиленная изоляция* – улучшенная рабочая изоляция с такой же степенью защиты от поражения электрическим током, как и у двойной изоляции.

Для защиты от прикосновения к частям, нормально или случайно находящимся под напряжением, применяется *двойная изоляция* – электрическая изоляция, состоящая из рабочей и дополнительной изоляции. Наиболее просто двойная изоляция осуществляется путем нанесения на металлические корпуса слоя электроизоляционного полимерного покрытия и применения изолирующих ручек. Более совершенный способ – изготовление корпуса из изолирующего мате-

риала. Такой корпус несет на себе все токоведущие части, металлические нетоковедущие части и механическую часть.

Наличие защитной двойной изоляции, разумеется, не исключает возможности поражения током при прикосновении к токоведущим частям в случаях разрушения основной фазной изоляции. Защитная двойная изоляция может обеспечить безопасность при эксплуатации любого электрооборудования. Однако из-за наличия некоторых недостатков у пластмасс, таких как недостаточная механическая прочность, возможность значительных остаточных деформаций, ненадежность соединений с металлом, изменение в сторону ухудшения механических свойств по мере старения, область применения двойной изоляции ограничивается электрооборудованием небольшой мощности: электрифицированный ручной инструмент, переносные устройства, бытовые приборы.

Применение безопасных напряжений

Малое напряжение – напряжение не более 42 В переменного и не более 100 В постоянного тока, применяется для уменьшения опасности поражения работающих электрическим током. Малое напряжение используется для питания ручного электрифицированного инструмента, переносных светильников для помещений с повышенной и особой опасностью, местного освещения на станках, светильников общего освещения при высоте их подвеса менее 2,5 м. Источниками малого напряжения являются гальванические элементы, аккумуляторы, понижающие трансформаторы, выпрямители и преобразователи.

Корпуса электроприемников малого напряжения не требуется занулять или заземлять, кроме электросварочных аппаратов и установок, работающих во взрывоопасных помещениях, а также при работах в особо опасных условиях.

В качестве источников пониженного напряжения 42, 36 и 12 В используют специальные *понижающие трансформаторы* с разнесенными обмотками. Чтобы исключить опасность поражения человека током в случае появления напряжения на корпусе трансформатора, корпус трансформатора заземляется и дополнительно заземляется один из проводов низковольтной обмотки.

Применение автотрансформаторов для этой цели категорически запрещено по причине гальванической связи с цепью высокого напряжения.

Следует представлять, что даже при напряжении 42 В при расчетном сопротивлении человека 1000 Ом ток, протекающий через человека, может достигать 42 мА. Поэтому для повышения безопасности при работе в помещениях с повышенной опасностью или в особо опасных помещениях дополнительно применяются другие защитные меры, в частности изоляция рабочего места, двойная изоляция и др.

Электрическое разделение сетей

Протяженные электрические сети, имеющие значительную емкость проводов относительно земли и невысокое качество изоляции, представляют значительную опасность для работающих. С целью исключения влияния этих составляющих на уровень безопасности работающих используют специализированные *разделительные трансформаторы* (коэффициент трансформации $k = 1$).

Такое включение разделительного трансформатора (рисунок 2.9) отделяет основную сеть (I) с изолированной или заземленной нейтралью и соответствующими недостатками от участка (II) сети, непосредственно питающей электроустановки. При этом связь между питающей сетью и сетью электроприемника осуществляется через магнитные поля, участок сети приемника и сам приемник не соединяются с землей. Вторичная сеть (II) имеет весьма короткие проводники, что позволяет относительно просто поддерживать высокое качество изоляции проводников относительно земли. Емкость фазных проводов при этом пренебрежимо мала. Указанное техническое решение существенно снижает опасность наиболее часто встречающегося однофазного прикосновения человека.

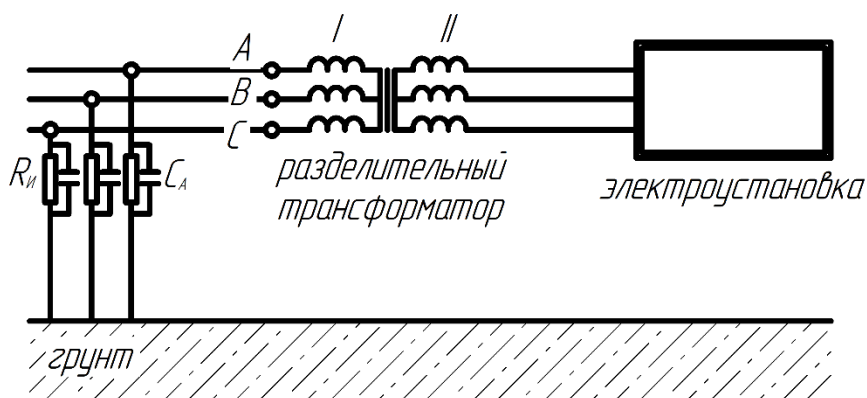


Рисунок 2.9 – Использование разделительного трансформатора в протяженных сетях для повышения уровня электробезопасности

При весьма протяженных сетях разделительные трансформаторы могут устанавливаться в количестве 3-5 штук, разделяя тем самым сети на ряд отдельных участков.

Защитное заземление

В электроустановках напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью для защиты работающих эффективно применяют защитное заземление в сочетании с контролем изоляции. Заземление предназначается для устранения опасности поражения человека электрическим током во время прикосновения к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением. Это достигается путем снижения до безопасных пределов напряжения прикосновения и шагового напряжения за счет малого сопротивления заземлителя.

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение нетоковедущих частей электроустановок с заземляющим контуром или его эквивалентом с целью значительного снижения шагового напряжения и напряжения прикосновения за счет поднятия потенциала земли до потенциала замыкания с образованием плоской потенциальной площадки. Заземление осуществляют с помощью заземляющего устройства.

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя (группы заземляющих электродов, соединенных между собой и находящихся в грунте) и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем. Электрический ток, проходящий через заземлитель в землю, преодолевает сопротивление, называемое сопротивлением растекания. Оно состоит из трех слагаемых: сопротивления самого заземлителя, переходного сопротивления между заземлителем и грунтом и сопротивления грунта. Две первые части малы по сравнению с третьей, ими пренебрегают, под сопротивлением заземлителя растеканию тока понимают сопротивление грунта растеканию тока. Полным сопротивлением заземления считают соответственно сопротивление между заземляющей шиной и «землей». Под «землей» в данном

случае понимается поверхность грунта вблизи заземлителя, потенциал которой равен нулю. Обычно такая поверхность находится на расстоянии 15-20 м от простейшего заземлителя.

Сопротивление растеканию любого заземлителя R_z , Ом, определяют как частное от деления потенциала заземлителя на ток I_z , протекающий в землю через заземлитель.

По условиям безопасности заземление должно обладать относительно малым сопротивлением. Поэтому на практике применяют, как правило, групповой заземлитель, т.е. заземлитель, состоящий из нескольких параллельно включенных одиночных электродов. При больших расстояниях между электродами (более 40 м) ток каждого электрода проходит по «своему» отдельному участку земли, в котором токи других заземлителей не проходят. В этом случае потенциальные кривые, возникающие вокруг каждого одиночного заземлителя, взаимно не пересекаются. При одинаковых размерах (сопротивлениях) сопротивление группового заземлителя $R_{гр}$ будет $R_{гр} = R_0/n$. При малых расстояниях между электродами (менее 40 м) поля растекания токов как бы накладываются одно на другое, а потенциальные кривые взаимно пересекаются и, складываясь, образуют суммарную потенциальную кривую (рисунок 2.10). В этом случае на общих участках земли, по которым проходят токи нескольких электродов, увеличивается плотность тока, что приводит к увеличению сопротивления растеканию заземлителей. Поэтому сопротивление группового заземлителя $R_{гр}$ выражается зависимостью $R_{гр} = R_0/n\eta$, где η – коэффициент, характеризующий уменьшение проводимости заземлителей и называемый коэффициентом использования группового заземлителя (коэффициентом экранирования). Потенциал любой точки поля в этом случае определяется как арифметическая сумма потенциалов, создаваемых в данной точке отдельными электродами.

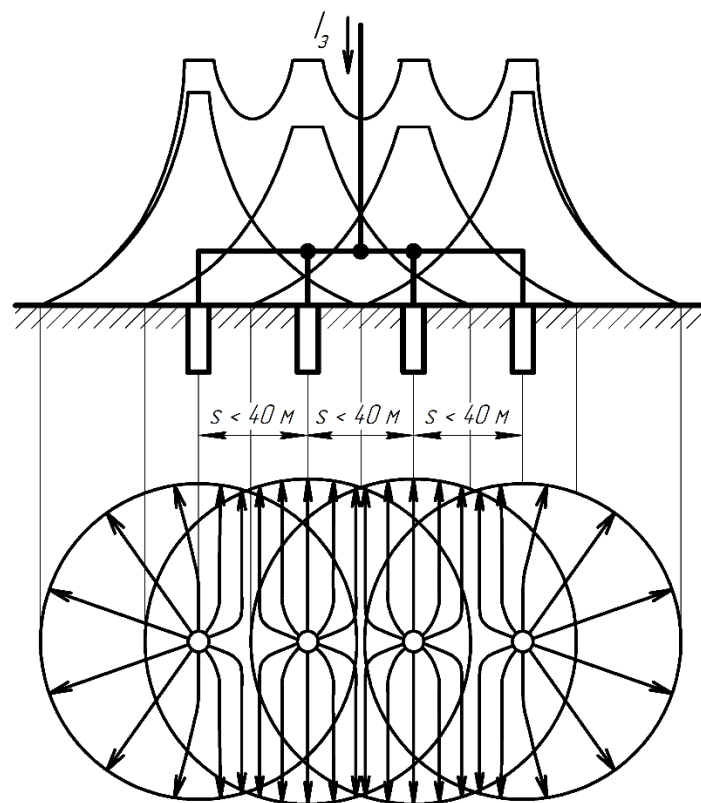


Рисунок 2.10 – Потенциальная кривая группового заземлителя и поле растекания тока при расстоянии между электродами $S < 40$ м

Каждая единица производственного оборудования соединяется с заземляющим устройством отдельным проводником. Последовательное включение заземляемого оборудования запрещается.

Соединение заземляющих проводников между собой, а также с заземлителями и заземляемыми конструкциями выполняется только сваркой, а с корпусами электрооборудования – сваркой или с помощью болтового соединения.

Защитному заземлению подлежат металлические нетоковедущие части электрооборудования, которые вследствие неисправности изоляции и других причин могут оказаться под напряжением и к которым возможно прикосновение людей и животных.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, а также в наружных установках заземление обязательно при номинальном напряжении электроустановки выше 42 В переменного и 110 В постоянного тока, а в помещениях без повышенной опасности – при напряжении 380 В и выше переменного и 440 В и выше постоянного тока.

В зависимости от места размещения заземляющего контура относительно производственного здания различают два вида заземляющих устройств: выносные и контурные.

Выносное заземляющее устройство отличается тем, что заземляющий контур расположен вне пределов площадки, на которой размещено заземляемое оборудование, или сосредоточен на некоторой части этой площадки. Поэтому выносное заземляющее устройство называют также сосредоточенным.

Основной недостаток выносного заземляющего устройства – отдаленность заземлителя от защищаемого оборудования, вследствие чего на защищаемой территории напряжение прикосновения может достигать значительных величин. В силу этого заземляющие устройства данного типа применяются только при малых токах замыкания на землю, в частности в установках до 1000 В, где потенциал заземлителя не превышает значения допустимого напряжения прикосновения. Весьма часто для повышения уровня электробезопасности в цепи заземлению устанавливают электронные реле тока, позволяющие фиксировать начало развития аварии и за короткий промежуток времени (0,05-0,1 с) отключать аварийные участки сетей.

К достоинствам данного типа заземляющего устройства можно отнести возможность его размещения в местах с наименьшим сопротивлением грунта.

Контурное заземляющее устройство отличается тем, что заземляющие электроды располагаются по периметру площадки, на которой находится заземляемое оборудование, а также в ряде случаев при значительных размерах производственной площади используется распределение электродов внутри этой площадки. Электроды распределяются на площадке по возможности равномерно, и такое контурное заземляющее устройство называется также распределенным.

Безопасность при распределенном заземляющем устройстве обеспечивается не только уменьшением потенциала заземлителя, но и выравниванием потенциала на защищаемой площади до такого значения, чтобы максимальные напряжения прикосновения не превышали допустимые. Такие условия достигаются при соответствующем размещении одиночных заземлителей на всей защищаемой территории.

Следует отметить, что контурное заземляющее устройство обеспечивает существенно лучшую степень защиты, чем выносное, за счет равномерного распределения заземлителей по всей защищаемой площади производственного здания и поднятия потенциала основания практически до потенциала замыкания. При этом шаговое напряжение и напряжение прикосновения во всех точках помещения не превышают допустимых значений.

Различают заземлители *искусственные*, предназначенные только для целей заземления, и *естественные* – находящееся в земле оборудование иного назначения.

В качестве искусственных заземлителей используют, как правило, вертикальные или горизонтальные электроды из стальных труб (диаметр 50-60 мм, с толщиной стенки не менее 3,5 мм), стального проката (уголки, швеллеры, двутавры и т.д.) или металлических полос толщиной не менее 4 мм. Длина вертикальных электродов обычно составляет 3-5 м. Глубина от поверхности земли до электродов устанавливается по нижней границе промерзания грунта, но не менее 0,7 м.

В качестве естественных заземлителей могут использоваться проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей и взрывоопасных газов), обсадные трубы артезианских колодцев, скважин, шурфов и т.п.; металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, имеющие соединения с землей; свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле, и т.п.

Недостатками естественных заземлителей являются доступность неэлектрическому персоналу и возможность нарушения целостности соединения заземлителей (при ремонтных работах и т.п.).

В качестве проводников, предназначенных для соединения заземленных частей с заземлителями, применяют полосовую сталь или сталь круглого сечения.

Электрическое сопротивление заземляющего устройства R_z определяется требованиями ПУЭ и в любое время года не должно превышать: 4 Ом – в установках напряжением до 1000 В; если мощность источника тока (генератора или трансформатора) 100 кВ·А и менее, то сопротивление заземляющего устройства допускается 10 Ом; 0,5 Ом – в установках напряжением выше 1000 В. В то же время сопротивление R_z не должно быть значительно меньше предельно допустимого во избежание неоправданно больших экономических затрат на сооружение заземляющего устройства.

Защитное зануление

Зануление – это преднамеренное электрическое соединение металлических частей электроустановок, не находящихся в нормальном режиме под напряжением, с глухозаземленной нейтральной точкой питающего устройства (трансформатор или генератор) в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Зануление необходимо для обеспечения защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении за счет снижения напряжения корпуса относительно земли и быстрого отключения электроустановки от сети.

Область применения зануления:

– электроустановки напряжением до 1000 В в трехфазных сетях переменного тока с заземленной нейтралью (обычно это сети 220/127, 380/220, 660/380 В);

– электроустановки напряжением до 1000 В в однофазных сетях переменного тока с заземленным выводом;

– электроустановки напряжением до 1000 В в сетях постоянного тока с заземленной средней точкой источника.

Нулевым защитным проводником называется проводник, соединяющий зануляемые части (открытые проводящие части) с глухозаземленной нейтральной точкой источника питания.

Нулевой защитный проводник следует отличать от нулевого рабочего проводника.

Нулевой рабочий проводник – проводник в электроустановках напряжением до 1000 В, предназначенный для питания электроприемников, соединенный с глухозаземленной нейтральной точкой генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока. *Совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник* – проводник в электроустановках напряжением до 1000 В, совмещающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводника.

Принцип действия зануления. При замыкании фазного провода на зануленный корпус электропотребителя образуется цепь тока однофазного короткого замыкания (т.е. замыкания между фазным и нулевым защитным проводниками). Ток однофазного короткого замыкания вызывает срабатывание максимальной токовой защиты, в результате чего происходит отключение поврежденной электроустановки от питающей сети. Кроме того, от начала развития аварии до срабатывания максимальной токовой защиты происходит снижение напряжения корпуса поврежденного электрооборудования относительно земли. Такое снижение напряжения (напряжения прикосновения человека, касающегося поврежденного оборудования) обусловлено защитным действием повторного заземления нулевого защитного проводника и соответствующим перераспределением напряжений в полной цепи протекания тока короткого замыкания.

Для защиты занулением необходимы: нулевой защитный проводник, глухое заземление нейтрали источника тока и повторное заземление нулевого защитного проводника. Рассмотрим назначение этих элементов применительно к наиболее распространенным электрическим сетям – трехфазным переменного тока.

Принципиальная схема трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью, от которой питаются две электроустановки, изображена на рисунке 2.11. Первая использует фазное напряжение (фаза С – рабочий ноль), на вторую подается три фазы (А, В и С). Для нормального режима работы первой установки используется нулевой рабочий проводник, по которому протекают рабочие токи подобных однофазных установок. Для нормальной работы второй установки (трехфазной) нулевой рабочий проводник не требуется.

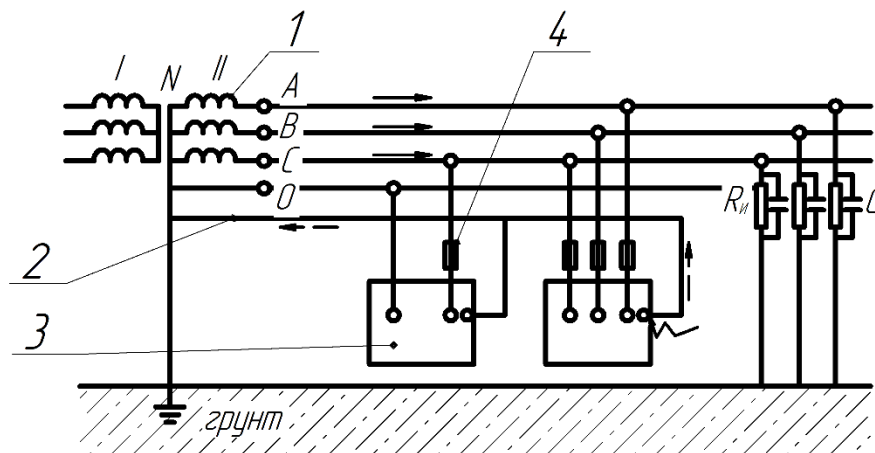


Рисунок 2.11 – Принципиальная схема зануления:

- 1 – питающий трехфазный трансформатор; 2 – защитный нулевой проводник;
3 – электроустановки; 4 – устройства защиты от токов короткого замыкания;
—→ — рабочие токи в номинальном режиме; —→ — ток короткого замыкания

Как показано на рисунке 2.11, электрическая сеть имеет дополнительный нулевой защитный проводник, по которому в нормальном режиме работы ток не протекает.

Нулевой защитный проводник в схеме зануления обеспечивает необходимое для отключения установки значение тока однофазного короткого замыкания путем создания для этого тока цепи с малым сопротивлением. Заземление нейтрали обмоток источника тока, питающего сеть до 1000 В, предназначено для снижения напряжения зануленных открытых проводящих частей и, соответственно, нулевого защитного проводника относительно земли до допустимого значения при замыкании фазного провода на землю. Предусмотренное повторное заземление нулевого защитного проводника практически не влияет на время отключения электроустановки от сети, но существенно увеличивает надежность защиты занулением. Так, например, при эксплуатации зануления могут возникнуть такие моменты, когда повторное заземление нулевого защитного проводника необходимо, например, при вероятности обрыва нулевого защитного проводника. При применении системы защиты занулением рекомендуется выполнять повторное заземление рабочих и

защитных проводников на вводе в здания, а также в других доступных местах. Для повторного заземления нулевых защитных проводников следует в первую очередь использовать естественные заземлители. В этом случае сопротивление растеканию тока заземлителя повторного заземления не нормируется.

Внутри больших и многоэтажных зданий аналогичную функцию выполняет уравнивание потенциалов посредством присоединения нулевого защитного проводника к главной заземляющей шине. Повторному заземлению подвергаются нулевые рабочие провода воздушных линий, которые одновременно используются как нулевые защитные проводники. При этом в соответствии с ПУЭ повторные заземления выполняются на концах линий или ответвлений длиной более 200 м. При этом в первую очередь следует использовать естественные заземлители, например, подземные части опор, а также заземляющие устройства, предназначенные для грозовых перенапряжений.

Надежность зануления определяется в основном надежностью нулевого защитного проводника. В связи с этим требуется тщательная прокладка нулевого защитного проводника, чтобы исключить возможность его обрыва. В нулевом защитном проводнике запрещается ставить устройства, способные нарушить его целостность (выключатели, предохранители, разъемы). Соединение нулевых защитных проводников между собой должно иметь надежный контакт. Присоединение нулевых защитных проводников к частям электроустановок, подлежащих занулению, осуществляется сваркой или болтовым соединением, причем значение переходного сопротивления между зануляющим болтом и каждой доступной прикосновению металлической нетоковедущей частью электроустановки, которая может оказаться под напряжением, не должно превышать 0,1 Ом. Присоединение должно быть доступно для осмотра. В процессе эксплуатации зануления сопротивление петли «фаза–нуль» может меняться, следовательно, необходимо периодически контролировать значение этого сопротивления. Измерения сопротивления петли «фаза–нуль» проводят как после окончания монтажных работ, т.е. при приемо-сдаточных испытаниях, так и в процессе эксплуатации в сроки, установленные в нормативно-технической документации, а также при проведении капитальных ремонтов и реконструкций сети. В качестве максимальной токовой защиты, обеспечивающей быстрое отключение электроустановок в аварийном режиме, используются плавкие предохранители, автоматические выключатели, магнитные пускатели со встроенной тепловой защитой, контакторы в сочетании с тепловыми реле и др.

Нулевой защитный проводник (см. рисунок 2.11) присоединяется к корпусам электроустановок для создания ждущей цепи короткого замыкания,

которая образуется и срабатывает только при аварийных режимах (пробой изоляции электроустановок и появление напряжения питающей сети на их корпусах). Фазные провода, идущие непосредственно к установкам, в обязательном порядке имеют защитные токовые элементы (плавкие вставки). Следует отметить, что в цепи рабочего нулевого проводника не допускается установка защитных элементов.

Для примера на рисунке 2.11 показано образование петли короткого замыкания при пробое фазы А на корпус трехфазной установки. При расчете зануления определяются условия, при которых оно надежно выполняет возложенные на него функции: быстрое отключение поврежденной установки от сети и в то же время обеспечение безопасности прикосновения человека к зануленному корпусу (снижение напряжения прикосновения) в аварийный период. В соответствии с этим зануление рассчитывают на отключающую способность. При этом в соответствии с ПУЭ должны выполняться требования по времени автоматического отключения питания, которое не должно превышать допустимых значений.

При расчете на отключающую способность согласно ПУЭ проводимость фазных и нулевых защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании фазы на корпус или на нулевой защитный проводник возникал ток короткого замыкания, превышающий не менее чем в 3 раза номинальный ток плавкого элемента ближайшего предохранителя (во взрывоопасных зонах в 4 раза); в 3 раза номинальный ток нерегулируемого расцепителя или уставку тока регулируемого расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику (во взрывоопасных зонах в 6 раз). При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель, проводимость проводников должна обеспечивать ток не ниже уставки тока мгновенного срабатывания, умноженной на коэффициент, учитывающий разброс (по заводским данным), и на коэффициент запаса 1,1. При отсутствии заводских данных для автоматических выключателей с силой номинального тока до 100 А кратность тока короткого замыкания относительно уставки следует принимать не менее 1,4, а для автоматических выключателей с силой номинального тока более 100 А – не менее 1,25.

Защитное отключение

Защитным отключением называется автоматическое отключение электроустановок при однофазном прикосновении к частям, находящимся под напряжением, недопустимым для человека, а также при возникновении в электроустановках токов утечки, превышающих заданные значения.

Область применения: электроустановки в сетях с любым напряжением и любым режимом нейтрали. Наибольшее распространение защитное отключение

получило в электроустановках, используемых в сетях напряжением до 1000 В как с заземленной, так и с изолированной нейтралью.

Основная цель защитного отключения – обеспечение электробезопасности человека, что достигается за счет ограничения времени воздействия опасного тока на организм человека. С этой целью применяются специальные устройства защитного отключения (УЗО), которые в постоянном режиме постоянно контролируют условия работы человека (контролируются токи утечки как в нормальном, так и в аварийном режимах). УЗО обеспечивают существенное повышение уровня защиты. Они срабатывают при непрямом контакте человека с электроустановкой и при его соприкосновении с не находящимися в нормальном режиме работы под напряжением частями электроустановки, на которых оно появилось вследствие повреждения изоляции. УЗО отслеживает величину тока, проходящего через тело человека, и реагирует на нее, обеспечивая мгновенное (не превышающее 0,02 с) автоматическое отключение всех фаз аварийного участка электроцепи.

УЗО как дополнительная защита обеспечивает:

- отключение участка сети при перепутывании фазного провода с проводом защитного зануления при неправильном монтаже;
- отключение оборудования или его поврежденной части.

В зависимости от наличия постоянной составляющей тока утечки УЗО могут быть двух классов: «АС» и «А». Наиболее распространенным считается класс «АС», обеспечивающий защиту от тока утечки синусоидальной переменной формы.

По конструкции различают электромеханические и электронные УЗО. *Электромеханическим УЗО* не требуется никакого питания, и для их срабатывания достаточно, чтобы появился дифференциальный ток. В *электронных* же устройствах защитного отключения присутствует электронная схема, и для ее функционирования нужно питание, получаемое либо от контролируемой сети, либо от внешнего источника. Электромеханические УЗО надежнее, так как они продолжают выполнять защитные функции даже при частичном обрыве проводников.

Принцип работы УЗО (рисунок 2.12) основан на измерении баланса токов между токоведущими проводниками с помощью дифференциального трансформатора тока, который в данном случае имеет две основные обмотки (специфическими обмотками являются участки силовых проводников, проходящие через кольцевой сердечник трансформатора). Сигнальная обмотка размещается на том же сердечнике трансформатора и содержит, как правило, значительное количество витков. УЗО измеряет алгебраическую сумму токов,

протекающих по контролируемым проводникам (двум для однофазного УЗО, четырем для трехфазного и т.д.).

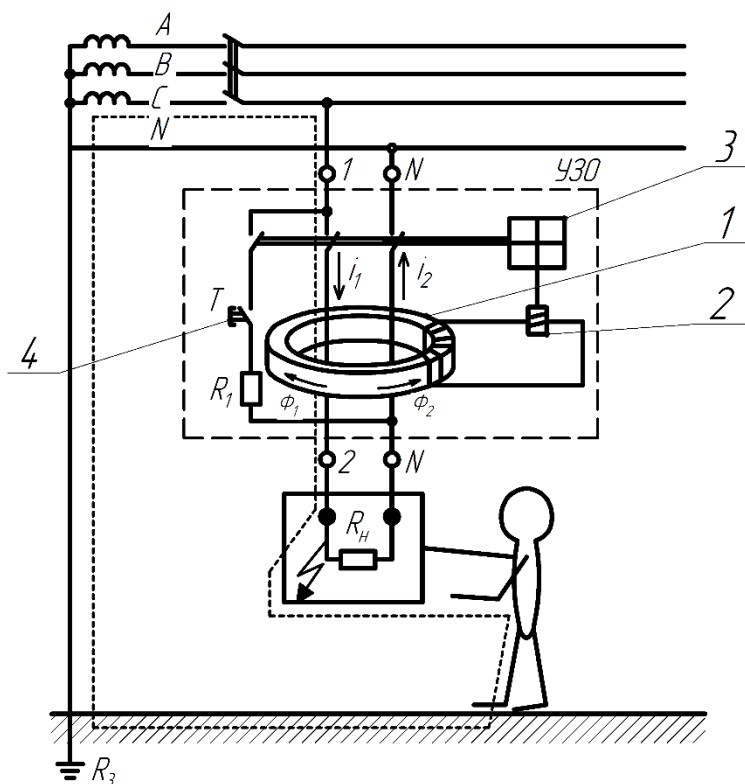


Рисунок 2.12 – Принципиальная схема устройства защитного отключения с использованием дифференциального трансформатора тока: 1 – дифференциальный трансформатор тока; 2 – электронный усилитель; 3 – исполнительное реле; 4 – кнопка проверки работоспособности действия УЗО; ----- – цепь тока утечки на землю

В исправном состоянии установки ток, «втекающий» по одним проводникам, должен быть равен току, «вытекающему» по другим, т.е. сумма токов, проходящих через УЗО, равна нулю (точнее, сумма не должна превышать допустимое значение). Следовательно, магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 , возникающие от двух основных обмоток, равновелики, направлены встречно и взаимно компенсируются. При таком условии на сигнальной обмотке не возникает напряжение. Если же сумма токов в силовых проводниках превышает допустимое значение, то это означает, что часть тока проходит помимо УЗО, т.е. контролируемая электрическая цепь неисправна – в ней имеет место утечка тока. Если баланс токов нарушен, то возникает суммарный магнитный поток, отличный от нуля. На сигнальной обмотке появляется напряжение, которое усиливается электронным усилителем (2, рисунок 2.12) с выдачей управляющего сигнала на исполнительное реле (3, рисунок 2.12). УЗО незамедлительно размыкает все входящие в него контактные группы, отключая таким образом контролируемые неисправные электрические приборы. С точки зрения электробезопасности УЗО принципиально отличаются от устройств защиты от

больших токов (предохранителей) тем, что УЗО предназначены именно для защиты человека от поражения электрическим током, поскольку они срабатывают при утечках тока, составляющих несколько десятков миллиампер. Обычные предохранители (плавкие вставки) не могут срабатывать при весьма малых увеличениях номинальных токов, причиной которых являются токи утечки на землю. УЗО должны срабатывать за время не более 25-40 мс, т.е. до того, как электрический ток, проходящий через организм человека, вызовет фибрилляцию сердца – наиболее частую причину смерти при поражениях электрическим током. Эти значения были установлены путем тестов при воздействии электрического тока с известными параметрами на человека.

Обнаружение токов утечки при помощи УЗО является дополнительным защитным мероприятием, а не заменой защите от сверхтоков при помощи предохранителей, так как УЗО никак не реагирует на неисправности, если они не сопровождаются утечкой тока (например, короткое замыкание между фазным и нулевым проводниками). УЗО с отключающим дифференциальным током порядка 300 мА и более иногда применяются для защиты больших участков электрических сетей (например, в компьютерных центрах), где низкий порог может приводить к ложным срабатываниям.

Такие низкочувствительные УЗО выполняют противопожарную функцию и не являются эффективной защитой от поражения электрическим током.

Рабочие параметры УЗО: номинальное напряжение, номинальный ток, номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка по току утечки). Эти параметры выбираются на основе технических параметров проектируемой электроустановки. Качество и надежность работы УЗО определяются рядом параметров, прежде всего номинальным условным током короткого замыкания (I_{nc}) и номинальной включающей и отключающей (коммутационной) способностью (I_m). *Номинальный условный ток короткого замыкания* – характеристика, определяющая надежность и прочность устройства, качество исполнения его механизма и электрических соединений (минимально допустимое значение $I_{nc} = 3$ кА). *Коммутационная способность УЗО*, согласно требованиям норм, должна быть не менее десятикратного значения номинального тока или 500 А. Качественные устройства имеют, как правило, гораздо более высокую коммутационную способность – 1000, 1500 А. Это означает, что такие устройства надежнее, и в аварийных режимах, например, при коротком замыкании на землю, устройства защитного отключения, опережая автоматические выключатели, гарантированно произведут отключение поврежденного участка электросети. Для наилучшей защиты в аварийных ситуациях целесообразно устанавливать отдельные УЗО или дифференциальные выключатели на каждую линию потребления тока с разными характеристиками

нагрузки. Например, в бытовых условиях для предотвращения пожара на кухне, на которой находится множество мощных электроприборов, потребуются менее чувствительные УЗО, но они не будут отключать электричество от каждого «броска» тока, вызванного включившимся холодильником. А для защиты отдельной выделенной линии (ванной или детской комнаты) нужно поставить самые чувствительные устройства с током утечки 10 мА.

На промышленных объектах в каждом распределительном щите устанавливаются УЗО с током срабатывания не более 30 мА. Практика показывает, что для обеспечения лучших условий электробезопасности и максимальной бесперебойности электроснабжения предпочтительна установка отдельного УЗО перед каждым автоматическим выключателем. Именно такое сочетание представляют собой автоматические выключатели дифференциального тока – УЗО и «автомат» в одном корпусе. Выбор устройства защитного отключения зависит от параметров сети (1 или 3 фазы и номинальный ток). Но основной показатель при выборе УЗО – это значение *тока утечки*. Суммарный ток утечки с учетом всех присоединяемых электроприемников в нормальном режиме работы не должен превышать $1/3$ номинального тока установленного УЗО. При отсутствии паспортных данных ток утечки электроприемников следует принимать из расчета 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а ток утечки сети – из расчета 10 мкА на 1 м длины фазного проводника. Приблизительные значения токов утечки, возникающих при использовании бытового и офисного электрооборудования, составляют: факс 0,5-1 мА; принтер < 1 мА; компьютер 1-2 мА; ксерокс 0,5-1 мА; маломощные (< 300 Вт) электробытовые приборы < 0,75 мА; настольные светильники < 1 мА.

Выравнивание потенциалов

Как известно, напряжение прикосновения или шага возникает тогда, когда существует разность потенциалов между основанием, на котором стоит человек, и корпусами оборудования, которых он может коснуться, или между ногами. Если соединить посредством дополнительных электродов и проводников места возможного касания телом человека, то не будет разности потенциалов и связанной с ней опасности. Выравнивание потенциалов применяется как дополнительный технический способ защиты при наличии зануления или заземления в помещениях с повышенной опасностью или особо опасных.

Выравнивание потенциалов корпусов электрооборудования и связанных с ним конструкций и основания осуществляется устройством *контурного заземлителя*, электроды которого располагаются вокруг здания или сооружения с заземленным или зануленным оборудованием. Внутри контурного заземлителя под полом помещения или площадки прокладываются горизонтальные

продольные и поперечные электроды, соединенные сваркой с электродами контура. При наличии зануления контур присоединяется к нулевому проводу.

Если заложить в землю металлические полосы и соединить их с другими заземлителями, то они приобретут общий потенциал. Поэтому в пределах расположения заземлителей разность потенциалов, напряжение прикосновения и напряжение шага будут малы.

Если металлические полосы сделать достаточно широкими и не соединять их с заземлителем, то потенциал на каждой полосе будет неизменным. Кривая распределения потенциала по защищаемой поверхности будет более пологой, а напряжение шага уменьшится. Аналогичного результата можно достичь, уменьшив сопротивление грунта его специальной обработкой. В ряде случаев прибегают к изоляции площадки нахождения работающих от основного грунта путем подсыпки материалов с низкой проводимостью (щебень, гравий и т.д.).

Молниезащита

Молния представляет собой электрический разряд длиной несколько километров, развивающийся между грозовым облаком и землей или каким-либо наземным сооружением.

Разряд молнии начинается с развития *лидера* – слабосветящегося канала с током в несколько сотен ампер. По направлению движения лидера от облака вниз или от наземного сооружения вверх молнии подразделяются на нисходящие и восходящие.

Лидер нисходящей молнии возникает под действием процессов между облаками, и его появление не зависит от наличия на поверхности земли каких-либо сооружений. По мере продвижения лидера к земле с наземных объектов могут возбуждаться направленные к облаку встречные лидеры.

Соприкосновение одного из них с нисходящим лидером (или касание последним поверхности земли) определяет место удара молнии в землю или какой-либо объект.

Развитие нисходящей молнии происходит следующим образом. После установления сквозного лидерного канала следует главная стадия разряда – быстрая нейтрализация зарядов лидера, сопровождающаяся ярким свечением и нарастанием тока до пиковых значений, варьирующихся от единиц до сотен килоампер. При этом происходит интенсивный разогрев канала (до десятков тысяч Кельвин) и его ударное расширение, воспринимаемое на слух как раскаты грома. Продолжительность вспышки составляет 0,2 с, а в редких случаях 1,0-1,5 с.

Заряд, переносимый в течение вспышки молнии, колеблется от единиц до сотен кулон. В большинстве случаев он имеет отрицательную полярность и примерно в 10 % случаев – положительную.

При расчетах молниезащиты сила тока при грозовом разряде принимается 100 кА, исходя из того, что этому условию соответствует 99 % поражений нисходящими молниями. Восходящие лидеры возбуждаются с высоких заземленных сооружений и с остроконечных элементов рельефа, у вершин которых электрическое поле во время грозы резко усиливается.

После того как лидер восходящей молнии достигнет грозового облака, начинается процесс разряда, сопровождающийся примерно в 80 % случаев токами отрицательной полярности. Переносимый заряд молнии может достигать до 40 кулон, а ток – до нескольких сотен ампер.

В горной местности восходящие молнии возникают чаще и характеризуются более высокими параметрами. На равнинной местности восходящие молнии поражают объекты выше 150 м (более чем в 90 % случаев), а в горных районах – с меньшей высоты.

Сила, создающая разность потенциалов, необходимая для пробоя атмосферы, т.е. для возникновения молнии, связана с разностью температур между поверхностью земли и верхними слоями атмосферы. Конвективные движения воздуха, вызванные этой разностью температур, и есть источник возникновения разности потенциалов между облаками или между облаком и землей. Поэтому в приполярных областях, где разность температур мала, а также в зимнее время года грозовые явления – редкость. Механизм возникновения электричества связан с парами воды, с процессами в отдельных каплях и кристаллах льда при их конденсации из атмосферной влаги. В горячих пустынях, несмотря на мощные конвективные потоки, грозы также редки. В то же время в тропической зоне грозы бывают почти ежедневно. В Центральной Европе в среднем случается от 15 до 25 грозовых дней. Ежедневно на Землю обрушивается около 45 тыс. гроз. По данным международной статистики, число жертв, связанных с молний, достигает 10 тыс. человек ежегодно.

Воздействия молнии принято подразделять на две основные группы:

- первичные, вызванные прямым ударом молнии;
- вторичные, индуцированные ее разрядами или занесенные в объект протяженными металлическими коммуникациями.

Прямой удар молнии вызывает следующее воздействие на объект:

- *электрические*, связанные с поражением людей или животных электрическим током и появлением перенапряжения в несколько мегавольт на пораженных элементах, в том числе опасные напряжения шага и прикосновения, «перекрытия» на другие объекты;

- *термические*, связанные с резким выделением теплоты при прямом контакте канала молнии с содержимым объекта и при протекании через объект

молнии. В 95 % случаев разрядов молнии эта энергия на два-три порядка превышает энергию воспламенения большинства газо-, паро- и пылевоздушных смесей, используемых в промышленности. Прямой контакт с каналом молнии может привести проплавлению корпусов взрывоопасных установок и вызвать пожары и взрывы;

– *механические*, обусловленные мощной ударной волной, распространяющейся от канала молнии, и электродинамическими силами, действующими на проводники с токами молнии. Это воздействие может быть причиной, например, сплющивания тонких металлических трубок и даже механических разрушений объектов. Вторичные проявления молнии связаны с действием на объект электромагнитного поля близких разрядов. Обычно это поле рассматривают в виде двух составляющих: первая обусловлена перемещением зарядов в лидере и канале молнии (электростатическая индукция), вторая – изменением тока молнии во времени (электромагнитная индукция).

Электростатическая индукция проявляется в виде перенапряжения (до сотен киловольт), возникающего на металлических конструкциях объекта и зависящего от тока молнии, расстояния до места удара и сопротивления заземлителя.

Электромагнитная индукция связана с наведением в металлических контурах электродвижущей силы величиной в несколько десятков киловольт. В местах сближения протяженных металлических конструкций, в разрывах незамкнутых контуров создается опасность перекрытий и искрений.

Еще одним видом опасного воздействия молнии является *занос потенциала* по вводимым в объект коммуникациям (кабелям, наземным и подземным конструкциям, трубопроводам, проводам воздушных линий электропередачи).

Об интенсивности грозовой деятельности в различных районах Земли судят по повторяемости и продолжительности гроз, регистрируемых в днях или часах за год по слышимому грому в начале и конце грозы. Однако более важной характеристикой для оценки возможного числа поражений объектов молнией является плотность ударов молнии в землю.

Плотность ударов молнии в землю, выраженная через среднегодовую продолжительность гроз в часах, определенную по региональным картам интенсивности грозовой деятельности (таблица 2.5), определяется по данным метеорологических наблюдений в месте расположения объекта.

Таблица 2.5

Укрупненные данные по грозовой активности на территории России

В районе городов	Среднегодовая продолжительность гроз, ч	Удельная плотность ударов молнии в землю n , $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$
Анадырь, Верхоянск, Магадан, Мурманск, Южно-Сахалинск, Норильск, Архангельск, Астрахань, Игарка	10-20	1
Иркутск, Казань, Калининград, Киров, Красноярск, Санкт-Петербург, Москва, Ульяновск	20-40	2
Волгоград, Нижний Новгород, Новосибирск, Псков, Ростов-на-Дону, Уфа, Чита, Екатеринбург, Челябинск	40-60	4
Брянск, Краснодар, Курск, Орел, Смоленск	60-80	5,5

При расчете числа поражений нисходящими молниями принимается, что возвышающийся объект принимает на себя разряды, которые в его отсутствие поразили бы поверхность земли определенной площади (так называемую поверхность стягивания). Эта площадь имеет форму круга для сосредоточенного объекта (вертикальной трубы или башни) и форму прямоугольника для протяженного объекта.

Имеющаяся статистика поражений объектов разной высоты в местностях с разной продолжительностью гроз позволила определить связь между радиусом стягивания (r_0) и высотой объекта (h_x); в среднем его можно принять $r_0 = 3h_x$.

Анализ показывает, что сосредоточенные объекты поражаются нисходящими молниями высотой до 150 м. Объекты выше 150 м на 90 %, как было отмечено ранее, поражаются восходящими молниями.

Защищаемые объекты разделены на категории по взрыво- и пожароопасности, отличающиеся тяжестью возможных последствий при поражении молнией (таблица 2.6).

Таблица 2.6

Классификация взрыво- и пожароопасных зон по ПУЭ

Класс зон	Характеристика
В-I	взрывоопасные смеси горючих газов (ГГ) или паров легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) с воздухом образуются при нормальной работе оборудования
В-Ia	взрывоопасные смеси ГГ или ЛВЖ с воздухом образуются при неисправности оборудования или вследствие аварии

В-Иб	то же, что и в В-Ia, но ГГ имеют нижний концентрационный предел воспламенения (НКПВ) 15 % и больше, резкий запах, а также производственные помещения, которые связаны с обращением водорода
В-Iг	пространства у наружных установок, содержащих ГГ или ЛВЖ
В-II	взрывоопасные смеси горючих пылей или волокон с воздухом образуются при нормальной работе оборудования
В-IIa	взрывоопасные смеси горючих пылей или волокон с воздухом образуются при неисправности оборудования или вследствие аварии
П-I	обрабатываются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С
П-II	выделяются горючие пыли или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м ³ к объему воздуха
П-IIa	обрабатываются твердые горючие вещества
П-III	обрабатываются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С или твердые горючие вещества

Комплекс средств молниезащиты зданий или сооружений включает в себя устройства защиты от прямых ударов молнии (внешняя молниезащитная система (МЗС)) и устройства защиты от вторичных воздействий молнии (внутренняя МЗС).

Средством защиты от прямых ударов молнии служит *молниеотвод* – устройство, рассчитанное на непосредственный контакт с каналом молнии и отводящее ее ток в землю.

Внешняя МЗС может быть изолирована от сооружения (отдельно стоящие стержневые молниеотводы (рисунок 2.13, а) или отдельно стоящие тросовые молниеотводы (рисунок 2.13, б), а также соседние сооружения, выполняющие функции естественных молниеотводов), также может быть установлена на защищаемом сооружении и даже быть его частью (в последнем случае они называются естественными молниеприемниками).

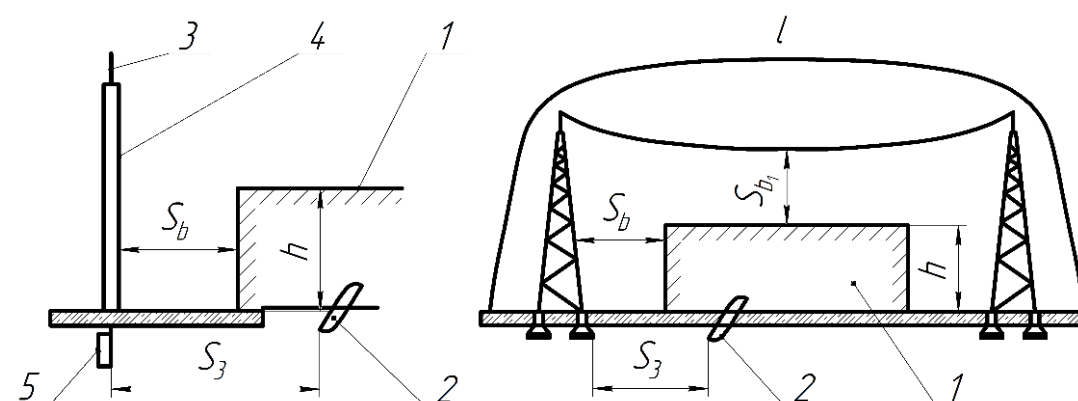


Рисунок 2.13 – Устройство молниеотвода: а – стержневого; б – тросового; 1 – защищаемый объект; 2 – металлические коммуникации; 3 – молниеприемник; 4 – токоотвод; 5 – заземлитель

Материал и сечения элементов внешней МЗС выбирают по таблице 2.7.

Таблица 2.7

Материал и минимальные сечения элементов внешней МЗС

Уровень защиты	Материал	Сечение, мм ²		
		Молниеприемника	Токоотвода	Заземлителя
I-IV	Сталь	50	50	80
I-IV	Алюминий	70	25	Не применяется
I-IV	Медь	35	16	50

Для зданий и сооружений с помещениями, требующими устройства молниезащиты I и II, или I и III, либо II и III категорий, молниезащиту всего здания или сооружения следует выполнять по более высокой категории.

Если площадь помещения I категории молниезащиты менее 30 % площади всех помещений зданий, молниезащиту всего здания допускается выполнять по II категории независимо от категории остальных помещений.

Аналогичное допущение справедливо и для II категории молниезащиты с переводом ее в третью.

В случае, если более 70 % общей площади не подлежит молниезащите, то независимо от категории защиты остальных помещений, все же должна быть предусмотрена защита от заноса высоких потенциалов по коммуникациям, вводимым в помещения, подлежащие молниезащите.

При строительстве объектов, начиная с высоты 20 м, необходимо предусматривать временные мероприятия по молниезащите.

При наличии на зданиях и сооружениях I категории молниезащиты труб для отвода газов, паров и взвесей взрывоопасной концентрации в зону защиты должно входить пространство над обрезом труб, ограниченное радиусом 5 м.

2.8 Средства защиты в электроустановках

При эксплуатации электроустановок зачастую возникают такие условия, при которых даже самые надежные способы защиты человека не обеспечивают безопасности работающих, и поэтому требуется применение специальных средств защиты, переносных приспособлений и устройств, служащих для защиты персонала, работающего в электроустановках, от поражения электрическим током. Эти средства не являются конструктивными частями электроустановок, а дополняют ограждения, блокировки, сигнализацию, защитное заземление, зануление, защитное отключение и другие стационарные защитные устройства.

Изолирующие защитные средства от поражения электрическим током в зависимости от рабочего напряжения электроустановок делятся на:

- основные защитные средства в электроустановках напряжением до 1000 В;
- дополнительные защитные средства в электроустановках напряжением до 1000 В;
- основные защитные средства в электроустановках напряжением выше 1000 В;
- дополнительные защитные средства в электроустановках напряжением выше 1000 В.

Основными называются такие защитные средства, изоляция которых надежно выдерживает рабочее напряжение в электроустановках и позволяет прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением.

Дополнительные защитные средства представляют собой средства, которые сами по себе не обеспечивают при данном напряжении безопасность от поражения электрическим током. Они являются дополнительной к основным средствам мерой защиты, а также служат для защиты от напряжения прикосновения, шагового напряжения, электрической дуги и продуктов ее горения. Применяемые изолирующие защитные средства от поражения электрическим током должны соответствовать государственным и отраслевым стандартам (ГОСТ, ОСТ), техническим условиям (ТУ), техническим описаниям (ТО). При проведении работ с использованием изолирующих защитных средств от поражения электрическим током должны строго соблюдаться правила техники безопасности.

К электрозащитным средствам относятся:

- изолирующие штанги;
- изолирующие клещи;
- указатели напряжения;
- сигнализаторы наличия напряжения индивидуальные и стационарные;
- устройства и приспособления для обеспечения безопасности работ при измерениях и испытаниях в электроустановках;
- диэлектрические перчатки, галоши, боты;
- диэлектрические ковры и изолирующие подставки;
- защитные ограждения;
- изолирующие накладки и колпаки;
- ручной изолирующий инструмент;
- переносные заземления;
- плакаты и знаки безопасности;
- гибкие изолирующие покрытия и накладки для работ под напряжением в электроустановках напряжением до 1000 В.

Изолирующие клещи предназначены для замены предохранителей в электроустановках до и выше 1000 В, а также для снятия ограждений и других аналогичных видов работ в электроустановках. Клещи состоят из рабочей части (губок клещей), изолирующей части и рукояток. *Изолирующие штанги* предназначены для оперативной работы и измерений, для наложения переносных заземлений, а также для освобождения пострадавшего от электрического тока. Штанга изолирующая выполнена из регламентированного изоляционного материала, позволяющего касаться частей электроустановок, находящихся под напряжением.

Указатели напряжения до 1000 В различаются по включению на двухполюсные и однополюсные. *Двухполюсные указатели* работают при протекании активного тока и предназначены для электроустановок переменного и постоянного тока. *Однополюсные указатели*, работающие при протекании емкостного тока, используются для электроустановок только переменного тока. Все указатели содержат элементы световой или звуковой индикации, выполненные, как правило, на газоразрядных лампах или светодиодах.

Сигнализаторы наличия напряжения индивидуальные выпускаются двух типов:

- автоматические сигнализаторы, предназначенные для предупреждения работающих о приближении на опасное расстояние к токоведущим частям под напряжением;
- сигнализаторы неавтоматические для предварительной оценки наличия напряжения на токоведущих частях электроустановок при расстояниях между ними и оператором, значительно превышающих безопасные.

Сигнализатор представляет собой устройство, реагирующее на напряженность электрического поля в конкретном месте нахождения работающего, и применяется в качестве вспомогательного защитного средства при работе в высоковольтных электрических сетях.

Перчатки диэлектрические предназначены для защиты рук от поражения электрическим током. Диэлектрические перчатки, рассчитанные на напряжение выше 1000 В, для электроустановок на это напряжение являются дополнительным электрозащитным средством и предназначаются для защиты работающих от воздействия дуги и от поражения током в случае снижения сопротивления изоляции основного средства. Диэлектрические перчатки в электроустановках до 1000 В могут применяться на это напряжение как основное электрозащитное средство и могут, в частности, предназначаться для выполнения работ на токоведущих частях без снятия напряжения. При работе в электроустановках разрешается применять только диэлектрические перчатки, изготовленные в соответствии с требованиями технических условий и имеющие

соответствующий штамп. Использование перчаток, предназначенных для других целей (перчатки для химического производства, медицинские и др.), в качестве электрозащитного средства запрещается. Отечественная промышленность выпускает диэлектрические перчатки двух типов: перчатки со швом (ТУ 38-105504-72) и бесшовные (ТУ 38-105977-76). Толщина слоя резины перчаток 1,2-1,25 мм. Общая длина перчатки не менее 350 мм. При работе диэлектрические перчатки нужно надевать поверх рукавов, для этого на конце перчатки имеется раструб. Перчатки сохраняют свойства в интервале температур от –40 до + 40 °С. Находящиеся в эксплуатации перчатки должны периодически проверяться на отсутствие повреждений путем сворачивания их в сторону пальцев и должны дезинфицироваться. В электроустановках выше 1000 В перчатки используются при выполнении операций с помощью изолирующих штанг или клещей, при работах с указателями напряжения, установке и снятии временных ограждений и т.д. Необходимо также применять перчатки при работах с ручным механическим приводом разъединителей и выключателей. При работах по перемещению кабеля, находящегося под напряжением, применение перчаток обязательно.

В электроустановках разрешается использовать только перчатки с маркировкой по напряжению (Эн – электроустановки ниже 1000 В и Эв – электроустановки выше 1000 В).

Перчатки должны применяться при определенных условиях работы с электроинструментом на случай пробоя изоляции на его корпус при отсутствии или нарушении заземления корпуса. Порядок применения изолирующих электрозащитных средств, главным образом диэлектрических перчаток, при работе с электроинструментом указан в таблице 2.8.

Таблица 2.8

Порядок применения электрифицированного инструмента
с защитными средствами

Категория помещения по опасности поражения электрическим током	Напряжение инструмента, В	Условия применения инструмента	
		с одинарной изоляцией	с двойной изоляцией
Без повышенной опасности	До 36	Без заземления корпусов, без изолирующих электрозащитных средств	-
	127-220	То же	Без заземления корпусов, без изолирующих электрозащитных средств

С повышенной опасностью и вне помещений	До 36	Без заземления корпусов, с изолирующими электрозащитными средствами	-
	127-220	С заземлением корпусов, с изолирующими электрозащитными средствами	Без заземления корпусов, с изолирующими электрозащитными средствами
Особо опасные	До 36	Без заземления корпусов, с изолирующими электрозащитными средствами	-
	127-220	Применять запрещается	Применять запрещается

Обувь специальная диэлектрическая (галоши, боты) является дополнительным электрозащитным средством при работе в закрытых, а при отсутствии осадков – в открытых электроустановках. Дополнительно диэлектрическая обувь защищает работающих от шагового напряжения. Диэлектрические боты могут применяться в качестве дополнительного электрозащитного средства в сетях выше 1000 В. Боты изготавливаются по ГОСТ 13385-78 с размерами от 9 до 16 из специальной резины светло-серого или бежевого цвета и не имеют лакового покрытия. Применение недиелектрических бот, предназначенных для других целей, не разрешается.

Боты используются вместо изолирующих подставок при выполнении оперативных переключений или иных работах, при которых требуется находиться на изолирующем основании, например, при установке временных ограждений, касающихся токоведущих частей.

Диэлектрические галоши могут применяться только в закрытых электроустановках до 1000 В и являются дополнительным электрозащитным средством. Галоши также изготавливаются в соответствии с ГОСТ 13385-78 из специальной резины. Они отличаются от обычных бытовых тем, что не имеют лакового покрытия и изготавливаются из резины бежевого или светло-серого цвета. Галоши изготавливаются с размерами от 2 до 14. Обычные галоши не могут применяться в качестве диэлектрических, так как резина вследствие содержания сажи не имеет необходимых диэлектрических свойств.

По ГОСТ 13385-78 ассортимент диэлектрической обуви расширен и дополнен диэлектрическими сапогами. Диэлектрические резиновые сапоги изготавливаются методом формования, а из поливинилхлорида – методом литья под давлением. Сапоги диэлектрические могут применяться как дополнительное

электрозащитное средство в электроустановках до 1000 В, при этом сапоги, изготовленные из поливинилхлорида, не должны применяться при температуре ниже 0 °С. Диэлектрические боты, галоши и сапоги защищают от шагового напряжения в электроустановках любого напряжения, в том числе и на высоковольтных линиях.

Диэлектрические перчатки, боты, галоши и сапоги при хранении необходимо защищать от прямого действия солнечных лучей и не допускать соприкосновения их с маслами, бензином, керосином, кислотами, щелочами и другими веществами, разрушающими резину и полимерные материалы.

Галоши применяют в электроустановках напряжением до 1000 В, боты – при всех напряжениях. Специальную обувь маркируют: Эн – галоши, Эв – боты.

Ковры диэлектрические резиновые и подставки изолирующие применяются как дополнительные электрозащитные средства в электроустановках до и выше 1000 В. Коврики применяют в закрытых электроустановках, кроме сырых помещений, а также в открытых электроустановках в сухую погоду.

Подставки применяют в сырых и подверженных загрязнению помещениях.

Ковры изготовляют в соответствии с требованиями государственного стандарта в зависимости от назначения и условий эксплуатации следующих двух групп.

Первая группа – обычного исполнения и вторая группа – маслобензостойкие.

Ковры изготовляются толщиной 6 ± 1 мм, длиной от 500 до 8000 мм и шириной от 500 до 1200 мм. Ковры должны иметь рифленую лицевую поверхность.

Изолирующая подставка представляет собой настил, укрепленный на опорных изоляторах высотой не менее 70 мм.

Настил размером не менее 500×500 мм следует изготовлять из хорошо просушенных строганых деревянных планок. Настил должен быть окрашен со всех сторон. Допускается изготовлять настил из синтетических материалов.

Подставки должны быть прочными и устойчивыми. В случае применения съемных изоляторов соединение их с настилом должно исключать возможность соскальзывания настила. Для устранения возможности опрокидывания подставки края настила не должны выступать за опорную поверхность изоляторов.

Инструменты с изолирующими рукоятками являются основным электрозащитным средством от поражения электрическим током при работах без снятия напряжения на электроустановках до 1000 В. Рукоятки специализированных инструментов покрываются гигростойким изоляционным

материалом со специальными упорами для предотвращения соскальзывания пальцев работающего на неизолированную часть инструмента. Изоляционный материал должен быть механически прочным и стойким против разъедания агрессивными жидкостями и растворителями. Изоляционное покрытие должно быть неснимаемым, плотно прилегать к металлическим частям инструмента и полностью изолировать ту его часть, которая во время работы находится в руке работающего.

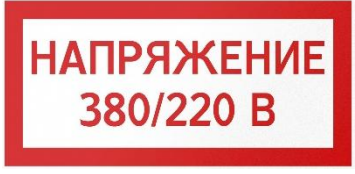
Плакаты и знаки безопасности (таблица 2.9) предназначены для:

- запрещения действий с аппаратами, при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на рабочее место работы (запрещающие плакаты);
- предупреждения об опасности приближения к частям электрооборудования, находящимся под напряжением (предупреждающие знаки и плакаты);
- разрешения конкретных действий только при выполнении определенных требований безопасности (предписывающие плакаты);
- указания местонахождения различных объектов и устройств.

Таблица 2.9

Знаки электробезопасности

Графическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
	Не включать. Работа на линии	Использовать в электроустановках (до 1000 В и выше), при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на воздушную или кабельную линию, на которой работают люди
	Не открывать. Работают люди	Использовать в электроустановках электростанций и подстанций, на вентилях и задвижках воздухопроводов, воздухоборниках, на пневматических приводах выключателей и разъединителей
	Не включать. Работают люди	Использовать в электроустановках (до 1000 В и выше), при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на воздушную или кабельную линию, на которой работают люди

	Стой. Напряжение	Использовать на оборудовании (узлах оборудования), дверцах электроприборов, электрощитах, в зонах опасности поражения электрическим током
	Не влезай. Убьет!	Использовать на оборудовании (узлах оборудования), дверцах электроприборов, электрощитах, в зонах опасности поражения электрическим током
	Испытание. Опасно для жизни	Использовать на оборудовании (узлах оборудования), дверцах электроприборов, электрощитах, в зонах опасности поражения электрическим током
	Напряжение 380/220 В	Использовать на оборудовании (узлах оборудования), дверцах электроприборов, электрощитах, источниках электропитания

По характеру применения плакаты могут быть постоянными и переносными, а знаки – постоянными.

Постоянные плакаты и знаки рекомендуется изготавливать из электроизоляционных материалов, а знаки на бетонные и металлические поверхности наносить красками с помощью трафаретов. *Переносные плакаты* следует изготавливать только из электроизоляционных материалов.

2.9 Первая помощь при поражении электрическим током

Порядок и правила оказания первой доврачебной помощи пострадавшему при поражении электрическим током должен знать каждый работающий с электроустановками. Она состоит из двух этапов: освобождение пострадавшего от действия тока и оказание ему доврачебной медицинской помощи. В связи с тем, что степень поражения током существенно зависит от длительности протекания тока через человека, очень важно, как можно быстрее прекратить действие тока и при необходимости незамедлительно приступить к оказанию медицинской помощи. Это требование относится и к случаю поражения током с явными признаками клинической смерти.

Клиническая смерть – обратимый этап умирания, переходный период между жизнью и смертью. На данном этапе прекращается деятельность сердца и дыхания, полностью исчезают все внешние признаки жизнедеятельности

организма. При этом гипоксия (кислородное голодание) не вызывает необратимых изменений в наиболее чувствительных к ней органах и системах. Данный период, за исключением редких случаев, в среднем продолжается не более 3-4 мин, максимум 5-6 мин (при исходно пониженной температуре тела).

К признакам клинической смерти относятся: кома, апноэ, асистолия. Данная триада касается раннего периода клинической смерти (когда с момента асистолии прошло несколько минут). Чем короче период между началом клинической смерти и началом проведения реанимационных мероприятий, тем больше шансов на жизнь у пораженного.

Кома диагностируется на основании отсутствия сознания и по расширенным зрачкам, не реагирующим на свет.

Апноэ регистрируется визуально, по отсутствию дыхательных движений грудной клетки. Не следует тратить время на прикладывание к носу и рту зеркала, так как неизвестна индивидуальная продолжительность клинической смерти пострадавшего.

Асистолия регистрируется по отсутствию пульса на сонной артерии. На определение пульса на лучевых артериях тратить время также не нужно.

При попадании под действие электрического тока весьма часто оказывается, что человек не может самостоятельно освободиться от действия электрического тока. Освобождение пострадавшего от действия тока можно произвести несколькими способами.

Наиболее надежный способ освобождения пострадавшего – это *снятие напряжения* с того участка электрической цепи, в котором произошло включение человека. Например, отключение электроустановок производится с помощью ближайшего рубильника, выключателя, а также путем снятия предохранителей, разделения разъемов и т.п. Следует помнить, если пострадавший находится даже на небольшой высоте, то необходимо предотвратить его падение при отключении тока.

Если быстрое отключение электроустановки невозможно, то для освобождения пострадавшего от токоведущих частей прибегают к другим способам, при проведении которых необходимо обеспечить собственную безопасность.

При напряжении в сети до 1000 В освобождение пораженного человека от токоведущих частей можно производить *удалением провода* или *оттаскиванием пострадавшего* от провода. Отбрасывание провода можно производить любым нетокопроводящим предметом (сухой палкой, доской, изделием из полимерных материалов и т.д.), рукой, обмотанной достаточно толстой (в несколько слоев) сухой тканью. Оттаскивать пострадавшего можно только за его сухую одежду, избегая прямого контакта с его телом. При отсутствии такой возможности руки

освобождающего необходимо надежно защитить от возможного действия электрического тока.

Если пострадавший сжимает рукой провод, находящийся под напряжением, то для освобождения его от действия тока можно *разжать его руку*, отгибая каждый палец в отдельности. Для этого оказывающий помощь должен иметь на руках специальные диэлектрические перчатки и стоять на надежном нетокопроводящем основании. Одним из эффективных приемов по прекращению протекания тока через пострадавшего является его изоляция от земли подкладкой изоляционных материалов (лист фанеры, линолеум, толстый брезент и т.п.). При возможности можно перерубить или перерезать провода топором с сухой ручкой или инструментом с изолированными рукоятками.

Высоковольтные установки представляют гораздо большую опасность, и освобождение пострадавшего можно производить только отключением электроустановки или применением *основных изолирующих средств* для сетей выше 1000 В (изолирующие штанги, изолирующие клещи) при обязательном использовании *дополнительных защитных средств* (диэлектрические перчатки, резиновые боты или галоши).

После прекращения действия тока пострадавшего укладывают на спину и незамедлительно проверяют *наличие дыхания и сердечных сокращений*.

Нарушенное дыхание характеризуется нечеткими или неритмичными подъемами грудной клетки или отсутствием видимых дыхательных движений грудной клетки. Все эти случаи расстройства дыхания приводят к тому, что кровь в легких недостаточно насыщается кислородом, наступает кислородное голодание тканей. Поэтому в этих случаях экстренно проводят искусственное дыхание.

Наличие сердечных сокращений свидетельствует о работе сердца, что определяется путем выслушивания сердечных тонов, приложив ухо к левой половине груди пострадавшего, или проверкой пульса на крупных артериях, где он более выражен (как правило, на сонной артерии). Проверка состояния пострадавшего должна производиться в течение 15-20 с.

Следует помнить, что отрицательное воздействие электрического тока на человека может сказаться не сразу, а спустя некоторое время (через несколько минут и даже часов).

Меры доврачебной помощи выбирают и оказывают по состоянию пострадавшего, если:

– пострадавший в сознании, с устойчивым дыханием и пульсом, его необходимо уложить на подстилку, расстегнуть одежду, стесняющую дыхание, дать приток свежего воздуха, согреть при охлаждении и обеспечить прохладу в жару;

– пострадавший находится в бессознательном состоянии при наличии дыхания и пульса, нужно наблюдать за его дыханием и приступить к приведению его в сознание доступными средствами и методами (нашатырной спирт, сбрызгивание лица холодной водой, согревание и растирание тела);

– у пострадавшего отсутствуют дыхание и пульс, то немедленно нужно приступить к его оживлению путем искусственного дыхания и наружного (непрямого) массажа сердца;

– пострадавший дышит редко и судорожно, но у него прощупывается пульс, начать делать искусственное дыхание.

Во всех случаях поражения человека током необходимо, не прерывая оказания ему первой помощи, вызвать врача и при необходимости оказать помощь по доставке в лечебное учреждение. Никогда не следует отказываться от оказания помощи пострадавшему и считать его мертвым из-за отсутствия дыхания, сердцебиения и других признаков жизни. Доврачебная помощь пострадавшему от электрического тока должна оказываться в соответствии с «Межотраслевой инструкцией по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве» (РД 153-34.0-03.702-99). Известно много случаев оживления людей, пораженных током, после нескольких часов, в течение которых непрерывно выполнялись искусственное дыхание и массаж сердца. Длительное отсутствие пульса при появлении дыхания и других признаков оживления организма указывает на фибрилляцию сердца. В этом случае необходимо произвести дефибрилляцию путем *непрямого массажа сердца*.

Рекомендуемый порядок проведения непрямого массажа сердца:

1. Убедиться в отсутствии пульса на сонной артерии. Нельзя терять время на определение признаков дыхания.

2. Освободить грудную клетку от одежды и расстегнуть поясной ремень. Нельзя наносить удар по груди и проводить непрямой массаж сердца, не освободив грудную клетку и не расстегнув поясной ремень.

3. Прикрыть двумя пальцами мечевидный отросток. Нельзя наносить удар по мечевидному отростку или в область ключиц.

4. Нанести удар кулаком по груди. Нельзя наносить удар при наличии пульса на сонной артерии.

5. Начать непрямой массаж сердца. Глубина продавливания грудной клетки должна быть не менее 3-4 см. Нельзя располагать ладонь на груди так, чтобы большой палец был направлен на спасателя.

6. Сделать «вдох» искусственного дыхания. Зажать нос, захватить подбородок, запрокинуть голову пострадавшего и сделать максимальный выдох

ему в рот. Нельзя делать «вдох» искусственного дыхания, не зажав предварительно нос пострадавшего.

7. Выполнять комплекс реанимации. При сужении зрачков, но отсутствии сердцебиения реанимацию нужно проводить до прибытия медперсонала:

- если оказывает помощь один спасатель, то 2 «вдоха» искусственного дыхания делают после 15 надавливаний на грудину;
- если оказывает помощь группа спасателей, то 2 «вдоха» искусственного дыхания делают после 5 надавливаний на грудину;
- для быстрого возврата крови к сердцу – приподнять ноги пострадавшего;
- для сохранения жизни головного мозга – приложить холод к голове.

После восстановления сердечной деятельности массаж сердца прекращается, при слабом дыхании продолжается проведение искусственного дыхания до восстановления полноценного дыхания. Искусственное дыхание и наружный массаж сердца следует проводить до появления самостоятельного дыхания и восстановления деятельности сердца или до передачи пострадавшего медицинскому персоналу.

В медицинских учреждениях дефибрилляция эффективно проводится путем кратковременного воздействия большого тока на сердце пострадавшего. В результате происходит одновременное сокращение всех волокон сердечной мышцы, которые до того сокращались хаотично. После этого могут восстановиться естественные сокращения сердца. Дефибрилляция производится с помощью специального прибора – *дефибриллятора*, основной частью которого является конденсатор значительной емкости с рабочим напряжением 6 кВ. Ток разрядки конденсатора при длительности 10 мкс достигает 15-20 А. Электрическую дефибрилляцию сердца может производить только квалифицированный врач.

Делая искусственное дыхание способом «изо рта в рот», оказывающий помощь располагается сбоку от головы пострадавшего, одну руку подсовывает под его шею, а ладонью другой руки надавливает на лоб, максимально запрокидывая голову. При этом корень языка поднимается и освобождает вход в гортань, а рот пострадавшего открывается.

Оказывающий помощь наклоняется к лицу пострадавшего, делает глубокий вдох открытым ртом, затем полностью плотно охватывает губами открытый рот пострадавшего и делает энергичный выдох; одновременно закрывает нос пострадавшего щекой или пальцами руки, находящейся на лбу. Как только грудная клетка пострадавшего поднялась, нагнетание воздуха приостанавливают, оказывающий помощь приподнимает свою голову, происходит пассивный выдох у пострадавшего. Для того чтобы выдох был более

глубоким, можно несильным нажатием руки на грудную клетку помочь воздуху выйти из легких пострадавшего.

Если у пострадавшего хорошо определяется пульс и необходимо проводить только искусственное дыхание, то интервал между вдохами должен составлять 5 с, что соответствует частоте дыхания 12 раз в минуту. Если рот пострадавшего открыть не удастся, следует проводить искусственное дыхание способом «изо рта в нос».

2.10 Электромагнитные поля и излучения промышленных электроприборов

В современных условиях развития общества при активном внедрении многих видов энергетики электромагнитные излучения (ЭМИ) приборов и устройств занимают одно из ведущих мест по своей значимости среди других факторов производственной среды.

В целом общий электромагнитный фон состоит из источников излучений *естественного* (электрические и магнитные поля Земли, атмосферные явления, радиоизлучения Солнца и галактик) и *искусственного* (антропогенного) происхождения (теле- и радиостанции, линии электропередачи, индукционные плавильные печи и др.). Уровень антропогенного электромагнитного фона, как правило, бывает на несколько порядков выше уровней ЭМИ, создаваемых естественными источниками. ЭМИ космического, околоземного и биосферного пространств играют определенную роль в организации жизненных процессов на Земле, и в ряде случаев выявляется их биологическая значимость. Антропогенные излучения в целом ряде случаев значительно превышают допустимые уровни.

В зависимости от энергии фотонов (γ -квантов) спектр электромагнитных колебаний принято подразделять на область ионизирующих и неионизирующих излучений (рисунок 2.14).

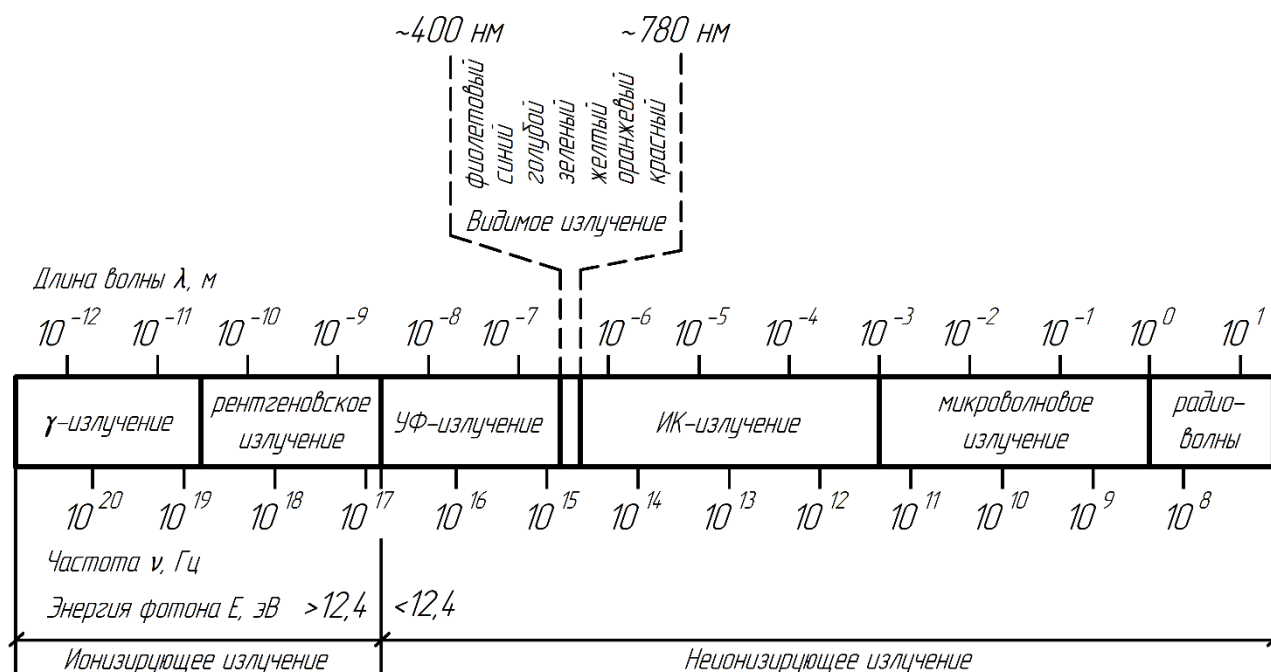


Рисунок 2.14 – Спектр электромагнитных колебаний

Ионизирующим излучением называется ЭМИ, которое при взаимодействии с веществом вызывает ионизацию составляющих его атомов и молекул. При ионизации атомы и молекулы становятся ионами, несущими положительный или отрицательный заряд. К ионизирующему излучению относятся корпускулярное излучение и коротковолновое ЭМИ. Очень небольшую ионизацию может вызывать и коротковолновое ультрафиолетовое излучение.

К *корпускулярным излучениям* относятся электроны и позитроны (β -частицы), протоны (ядра водорода), дейтроны (ядра дейтерия), α -частицы (ядра гелия) и тяжелые ионы (ядра других элементов), не имеющие заряда нейтроны и отрицательно заряженные мезоны, в частности π -мезоны. Отличительной особенностью корпускулярного излучения является то, что частицы обладают большим запасом кинетической энергии и способны с высокой скоростью перемещаться в пространстве, вызывая возбуждение и ионизацию атомов.

К ЭМИ относятся рентгеновское и γ -излучение, представляющие собой энергию электромагнитного поля, которая распространяется в пространстве со скоростью света. В зависимости от источника образования ЭМИ подразделяются на тормозное, характеристическое и γ -излучение. *Тормозное излучение* возникает при замедлении в электрическом поле (например, окружающем атомные ядра) ускоренных заряженных частиц. *Характеристическое излучение* обусловлено энергетическими перестройками внутренних электронных оболочек возбужденных атомов, а γ -излучение является продуктом ядерных превращений радиоактивных элементов (радиоизотопов). Совокупность тормозного и характеристического излучений называют *рентгеновским*

излучением. В земных условиях оно всегда имеет искусственное происхождение, в то время как γ -излучение может иметь как искусственное, так и естественное происхождение. Спектры рентгеновских и γ -лучей перекрываются, нет принципиальных различий между ними и по физическим свойствам.

Более удобно подразделять ионизирующие излучения по особенностям их взаимодействия с веществом. В этом случае различают электрически *нейтральные излучения* (рентгеновские, γ -лучи и нейтроны) и *ускоренные заряженные частицы* (все остальные, помимо нейтронов, разновидности корпускулярного излучения). *Ускоренные заряженные частицы* – это перемещающиеся в пространстве источники электрического поля (поток электронов – β -частиц, протонов, ядер атома гелия – α -частиц и др.). Естественными источниками ускоренных заряженных частиц являются некоторые из природных радиоизотопов. К искусственным источникам относятся искусственные радиоизотопы и ускорители заряженных частиц.

Ионизация и возбуждение атомов вещества является следствием взаимодействия ускоренной заряженной частицы с электронными оболочками этих атомов. Под действием электрического поля ускоренной заряженной частицы происходит возмущение электронных оболочек атомов с переходом в возбужденное или ионизированное состояние. Способность ускоренных заряженных частиц непосредственно взаимодействовать с электронными оболочками атомов позволила определить их как *первично или прямо ионизирующие излучения*. Рентгеновское и γ -излучение, как и нейтроны, относятся к *косвенно ионизирующим излучениям*, так как они возбуждают и ионизируют атомы и молекулы не сами, а посредством инициируемых ими ускоренных заряженных частиц (комптоновских электронов, ядер отдачи и т.п.).

Первичные изменения атомов и молекул качественно не зависят от вида действующего на них ионизирующего излучения. При одном и том же количестве энергии, поглощенной единицей массы вещества, микропространственное распределение этой энергии в облученном объеме различно. Это различие определяется *линейной передачей энергии (ЛПЭ)* – средним количеством энергии, передаваемой частицей веществу в среднем на единицу длины пройденного в нем пути:

$$\text{ЛПЭ} = \frac{dE}{dx}, \quad (2.3)$$

где E – энергия частицы, эВ; x – длина пробега частицы в веществе, мкм.

Скоростью потери энергии определяется еще одно важное свойство ионизирующих излучений – *проникающая способность*. Глубина проникновения ионизирующих излучений зависит, с одной стороны, от состава и плотности облучаемого объекта, а с другой стороны – от природы и свойств

излучения (рисунок 2.15). Она прямо пропорциональна энергии, массе и квадрату скорости частицы, обратно пропорциональна – абсолютной величине заряда. Чем больше величина ЛПЭ, тем меньше проникающая способность излучения в данном веществе.

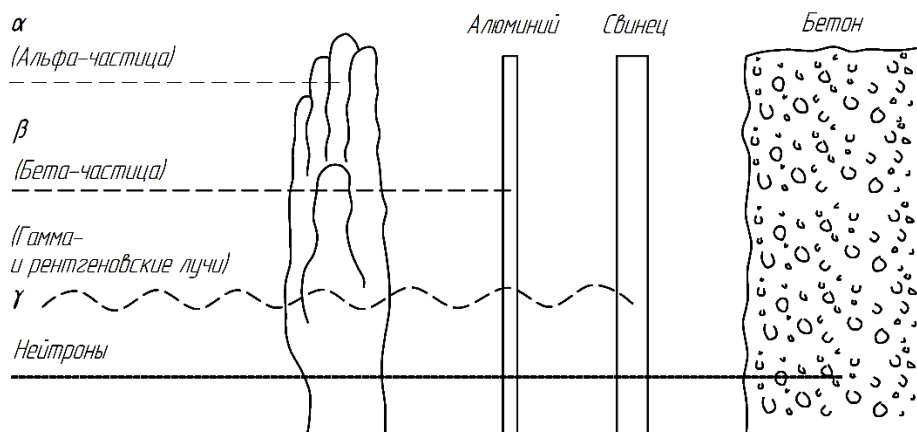


Рисунок 2.15 – Проникающая способность разных видов ионизирующих излучений

За меру проникающей способности для ускоренных заряженных частиц принимают расстояние, на котором частица замедляется до энергии, близкой к средней энергии теплового движения. Излучения с высокой проникающей способностью называют «жесткими». Если же проникающая способность мала, то такое излучение будут называть «мягким». Однако эти термины весьма относительны, т.к., например, β -излучение по сравнению с α -частицами будет жестким, а по сравнению с γ -лучами – мягким.

В зависимости от величины ЛПЭ все ионизирующие излучения делят на редко- и плотноионизирующие. К *редкоионизирующим* относят все виды излучения, имеющие ЛПЭ менее 10 кэВ/мкм: β -частицы, γ - и рентгеновские лучи, ионизирующее действие которых также осуществляется электронами. К *плотноионизирующим* (ЛПЭ более 10 кэВ/мкм) относят протоны, α -частицы и другие тяжелые частицы, а также нейтроны, биологическое действие которых реализуется за счет вторичных ускоренных заряженных частиц.

Редкоионизирующие виды излучений отличаются сравнительно высокой проникающей способностью, а плотноионизирующие (за исключением нейтронов) проникают в ткани на небольшую глубину.

Если источник ионизирующего излучения находится вне организма и облучает его снаружи, говорят о *внешнем облучении*. Если же источник ионизирующего излучения оказывается внутри организма (попадая туда с воздухом, пищей или водой), то он создает *внутреннее облучение*. И в том, и в другом случае величина любого эффекта, развивающегося в результате воздействия ионизирующих излучений, определяется, прежде всего,

количеством переданной облучаемому объекту, в том числе, организму человека, энергии. В связи с этим для количественной характеристики уровня воздействия ионизирующего излучения используют физические величины: доза, мощность дозы, активность.

Экспозиционная доза (X) – это суммарный заряд частиц с электрическим зарядом одного знака, образовавшихся в единичном объеме воздуха вследствие его ионизации излучением. Определяется она по формуле:

$$X = \frac{dQ}{dm}, \quad (2.4)$$

где Q – суммарный заряд всех ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении всех вторичных электронов, образованных фотонами ионизирующих излучений в малом объеме пространства, Кл; m – масса воздуха в этом объеме, кг.

В системе СИ единицей экспозиционной дозы является кулон, деленный на килограмм (Кл/кг). Более часто, однако, применяется внесистемная единица экспозиционной дозы – рентген (Р): $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$ и наоборот: $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.

Изменения, вызываемые излучением в воздухе и в других средах (в том числе в тканях организма), количественно различны. Это связано с разным количеством энергии, передаваемой излучением одинаковым по массе количеством разных веществ при одной и той же экспозиционной дозе, измеренной в воздухе. Кроме того, в единицах экспозиционной дозы может быть измерено лишь фотонное (рентгеновское и гамма) излучение. Учесть это можно, выражая количество ионизирующих излучений в единицах *поглощенной дозы* (D). Физический смысл поглощенной дозы – количество энергии, переданной излучением единичной массе вещества:

$$D = \frac{dE}{dm}. \quad (2.5)$$

В системе СИ поглощенную дозу выражают в джоулях на килограмм или греях (Гр): $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$.

Часто применяют внесистемную единицу поглощенной дозы – рад, являющуюся аббревиатурой слов «radiation adsorbed dose». Рад численно равен сантигрею ($1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$).

Для сравнительной оценки биологического действия различных видов ионизирующих излучений введено понятие *эквивалентной дозы* (H). Она определяется как поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения:

$$H = DQ, \quad (2.6)$$

где Q – средний коэффициент качества излучения, который устанавливается для каждого вида излучения в зависимости от его ЛПЭ.

В системе СИ единицей эквивалентной дозы служит зиверт (Зв), а внесистемной единицей является бэр (аббревиатура слов «биологический эквивалент рада»): $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$.

Следует также учитывать, что одни органы и ткани более чувствительны к действию радиации, чем другие. Например, при одинаковой эквивалентной дозе облучения вероятность возникновения рака в легких больше, чем в щитовидной железе. Облучение половых желез особенно опасно из-за риска генетических последствий. Поэтому дозы облучения органов и тканей также следует учитывать с различными коэффициентами. Это положение легло в основу определения эффективной дозы, которая также измеряется в зивертах (Зв). *Доза эффективная (E)* – это величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности.

Для характеристики интенсивности воздействия ионизирующих излучений используют величину мощности дозы излучения. *Мощность дозы (P)* понимают как дозу (экспозиционную, поглощенную или эквивалентную), регистрируемую за единицу времени.

Непосредственно измеряют, как правило, *мощность экспозиционной дозы*. Ее единицей в системе СИ является кулон, деленный на килограмм в секунду [Кл/(кг·с)], т.е. ампер на килограмм (А/кг). Весьма часто пользуются внесистемной единицей мощности экспозиционной дозы – рентген в час (Р/ч) и ее производными (мР/ч, мкР/ч). При хронических (в течение нескольких месяцев или лет) воздействиях недифференцированных потоков ионизирующих излучений используют единицы *мощности эквивалентной дозы*: зиверт в год (Зв/год) или бэр в год (бэр/год).

В основу измерения количеств радиоактивных веществ положено свойство *радиоактивности*, т.е. способности к испусканию ионизирующих излучений. В системе СИ за единицу радиоактивности принят распад в секунду (расп./с или с⁻¹) или беккерель (Бк), а традиционной единицей является кюри (Ки): 1 расп./с , или $1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$.

Искусственные источники ионизирующих излучений:

– *Источники ионизирующих излучений, использующиеся в медицине.* Основной вклад в дозу, получаемую человеком от техногенных источников радиации, в настоящее время вносят медицинские процедуры и методы лечения, связанные с применением ионизирующих излучений (рентгенодиагностика, радиационная терапия, ядерная медицина). Коллективная эквивалентная доза в

год для всего населения Земли оценивается в этом случае величиной 1,6 млн. Зв/человек, или около 1/5 дозы от естественного фона.

– *Ядерные взрывы.* Значительно меньше по сравнению с влиянием естественного фона и доза, получаемая от радиоактивных выпадений в результате испытаний ядерного оружия. Максимум этих испытаний пришелся на период с 1954 по 1958 г., когда взрывы проводили США, СССР и Великобритания. Высокодисперсные фракции продуктов ядерных взрывов поднимаются в верхние слои атмосферы и годами и даже десятилетиями циркулируют там, распространяясь вначале над своим полушарием, а затем и над всей территорией земного шара, и лишь постепенно выпадают на поверхность Земли.

– *Атомная энергетика.* Самые большие дозы облучения от всех техногенных источников радиации получают люди, работающие на объектах атомной энергетики. Профессиональные дозы почти повсеместно являются самыми большими из всех видов доз.

Оценки показывают, что доза, которую получают рабочие урановых рудников и обогатительных фабрик, составляет в среднем 1 Зв/человек на каждый ГВт/год электроэнергии. Примерно 90 % этой дозы приходится на долю рудников, причем персонал, работающий в шахтах, подвергается большему облучению. Коллективная эффективная доза от заводов, на которых получают ядерное топливо, составляет 1 Зв/человек на 1 ГВт/год.

Для людей, работающих с ядерными реакторами, индивидуальные дозы еще больше. Наиболее типичное значение среднегодовой коллективной эффективной дозы для этой категории профессионалов составляет 10 Зв/человек на 1 ГВт/год электроэнергии.

При действии на организм ионизирующих излучений развиваются различные *радиобиологические эффекты* – изменения, возникающие в биологических системах при действии на них ионизирующих излучений. Проявления этих эффектов, как и их выраженность, прямо зависят от физических факторов (или условий радиационного воздействия) и биологических факторов (или состояния организма).

Сложность организма, как биологической системы, предопределяет многообразие радиобиологических эффектов. Критериями их классификации служат уровень формирования, сроки появления, локализация, характер связи с дозой облучения, значение для судьбы облученного организма, возможность передачи по наследству последующим поколениям и др. (рисунок 2.16).

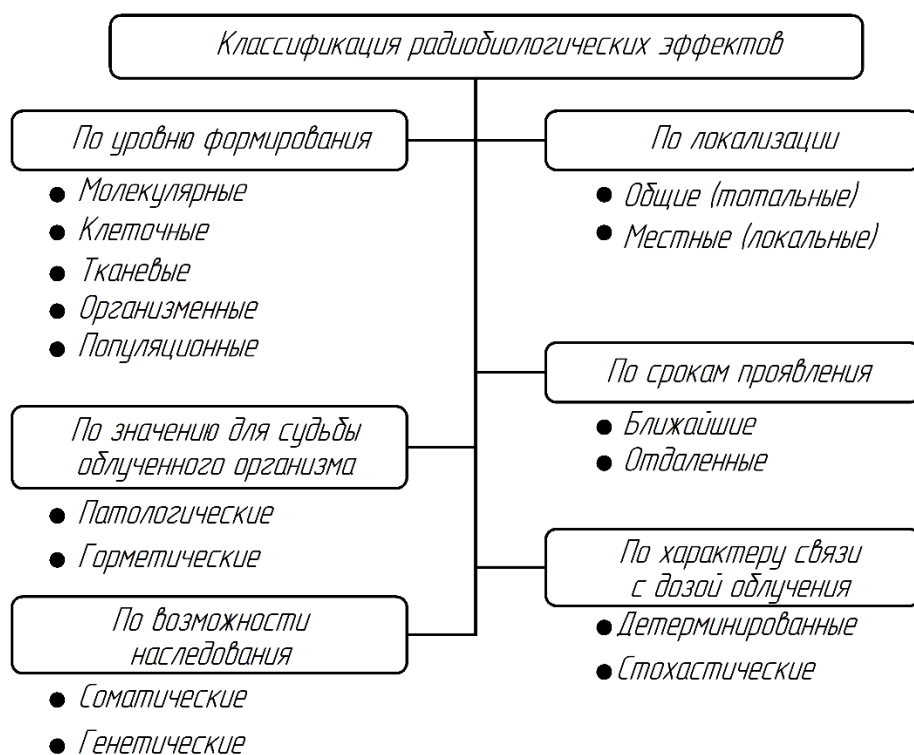


Рисунок 2.16 – Классификация радиобиологических эффектов

Радиобиологические эффекты можно классифицировать, прежде всего, *по уровню их формирования*.

На *молекулярном уровне* облучение биосистем вызывает набор характерных изменений, обусловленных взаимодействием биомолекул с самим излучением либо продуктами радиолитической воды. К таким изменениям относят разрывы, сшивки, изменения последовательности мономеров в молекулах биополимеров, потерю ими фрагментов, окислительную модификацию, образование аномальных химических связей с другими молекулами и др.

Наиболее важными являются повреждения ДНК и биологических мембран. Повреждения ДНК в дальнейшем проявляются хромосомными абберрациями, основными видами которых являются фрагментация хромосом, формирование хромосомных мостов, динентриков, кольцевых хромосом, внутри- и межхромосомных обменов и т.п.

На *клеточном уровне* воздействие ионизирующих излучений вызывает интерфазную или репродуктивную гибель клеток, временный блок митозов, нелетальные мутации и нарушения функциональной активности клеток.

На *уровне тканей, органов и систем* действие радиации характеризуется цитопеническим эффектом, в основе которого лежат, преимущественно, гибель клеток и радиационный блок митозов.

Радиобиологические эффекты, возникающие на *уровне организма*, проявляются в формировании различных заболеваний, а на *уровне популяции* – в изменении демографических характеристик и пр.

По значению для судьбы облученного организма радиобиологические эффекты можно разделить на патологические и горметические. Как правило, радиобиологические эффекты неблагоприятным образом сказываются на биологическом объекте. Исключением из этого правила является *горметический эффект*, который проявляется повышением жизнеспособности организмов под влиянием облучения в малых дозах. Этот эффект используют в медицине: прием радоновых ванн, сопровождающийся облучением организма в малых дозах, обладает положительным влиянием на функциональное состояние и резистентность организма.

По возможности передачи по наследству последующим поколениям радиобиологические эффекты делятся на соматические и генетические.

Изменения в генетическом аппарате клеток человеческого организма могут быть унаследованы потомством лишь при условии, что эти изменения возникают в половых клетках. Мутации соматических клеток в естественных условиях не наследуются (такая возможность создается лишь при клонировании организма). Поэтому практически важно разграничивать *соматические* (возникающие в соматических клетках) и *генетические* (индуцируемые при воздействии радиации на половые клетки) радиобиологические эффекты. При общем облучении организма можно ожидать появления как соматических, так и генетических эффектов.

Радиобиологические эффекты можно также классифицировать в зависимости от локализации, т.е. от органа или части тела, в которых они регистрируются. При *локальном облучении* органа или сегмента тела наиболее сильное поражающее действие радиации проявляется именно в нем (такой эффект называют местным действием). Однако изменения возникают и в необлученных тканях, в этом случае говорят о дистанционном действии излучений.

По срокам появления радиобиологические эффекты, возникающие в организме и популяции, принято подразделять на ближайшие и отдаленные.

Ближайшие эффекты проявляются в сроки до нескольких месяцев после облучения и связаны с развитием цитопенических состояний в различных тканевых системах организма. Примерами ближайших эффектов облучения могут быть острая лучевая реакция, острая лучевая болезнь, лучевая алопеция (облысение), лучевой дерматит.

Отдаленные эффекты возникают спустя годы после облучения, на фоне полной регрессии основных клинических проявлений острого поражения.

Примерами отдаленных последствий облучения являются опухоли, гемобластозы, гипопластические, дистрофические, склеротические процессы. Интегральным проявлением этих последствий служит сокращение продолжительности жизни организмов, перенесших острое лучевое поражение.

По характеру связи с дозой облучения радиобиологические эффекты подразделяются на стохастические (вероятностные) и нестохастические (детерминированные).

Стохастические эффекты облучения – это поражения, которые являются результатом повреждения одной клетки или небольшого их числа; дозовый порог для их возникновения отсутствует; от дозы зависит лишь вероятность возникновения поражения, но не его выраженность (степень тяжести).

Детерминированные (или нестохастические) эффекты облучения – это поражения, которые являются результатом коллективного повреждения значительного числа клеток облученной ткани или организма в целом; проявляются при превышении порога дозы; вероятность их возникновения и степень выраженности зависят от дозы облучения.

Для обнаружения и измерения ионизирующих излучений используются дозиметрические приборы, которые принципиально подразделяются на две группы: *измерители мощности дозы* (индикаторы радиоактивности, рентгенометры, радиометры) и *измерители дозы* (дозиметры) (рисунок 2.17).



а)



б)

Рисунок 2.17 – Дозиметрические приборы: а – дозиметр-радиометр МКС-07Н; б – дозиметр ДРГ-01Т

Основные дозовые пределы облучения установлены для следующих групп лиц:

1. Персонал:

- группа А – лица, постоянно или временно работающие непосредственно с источниками ионизирующих излучений;
- группа Б – лица, которые непосредственно не заняты работой с источниками ионизирующих излучений, но в связи с расположением рабочих

мест в помещениях или на промышленных площадках объектов с источниками ионизирующих излучений могут получать дополнительное облучение;

2. Население, включая лиц из персонала вне сферы и условий их производственной деятельности.

В качестве основных гигиенических критериев для оценки условий труда при работе с источниками ионизирующего излучения приняты:

- мощность максимальной потенциальной эффективной дозы;
- мощность максимальной потенциальной эквивалентной дозы в хрусталике глаза, коже, кистях и стопах.

Мощность потенциальной дозы излучения (МПД) для персонала определяется по формуле (2.7) для эффективной дозы и по формуле (2.8) – для эквивалентной дозы.

$$\text{МПД} = 1,7H^{\text{внеш.}} + 2,4 \cdot 10^6 \cdot \sum_{U,G} (C_{U,G} \varepsilon_{U,G}^{\text{внутр. перс.}}), \quad (2.7)$$

где $H^{\text{внеш.}}$ – мощность амбиентной дозы внешнего излучения на рабочем месте, определенная по данным радиационного контроля, мкЗв/ч; $C_{U,G}$ – объемная активность аэрозолей (газов) соединений радионуклида U типа соединения при ингаляции G на рабочем месте, определенная по данным радиационного контроля, Бк/м³; $\varepsilon_{U,G}^{\text{внутр. перс.}}$ – дозовый коэффициент для соединения радионуклида U типа соединения при ингаляции G ; 1,7 – коэффициент, учитывающий стандартное время облучения работников в течение календарного года (1700 часов в год для персонала группы А) и размерность единиц (10 мкЗв/мЗв); $2,4 \cdot 10^6$ – коэффициент, учитывающий объем дыхания за год ($2,4 \cdot 10^3$ м³/год для персонала группы А) и размерность единиц (10³ мкЗв/Зв). При этом под *амбиентной дозой* подразумевается эквивалент дозы, который был создан в шаровом фантоме Международной комиссией по радиационным единицам и измерениям на глубине d , мм, от поверхности по диаметру, параллельному направлению излучения в поле излучения, идентичному рассматриваемому по составу, флюенсу и энергетическому распределению.

$$\text{МПД}^{\text{орган.}} = 1,7\text{МД}^{\text{орган.}}, \quad (2.8)$$

где $\text{МД}^{\text{орган.}}$ – мощность амбиентной дозы внешнего облучения органа на рабочем месте, мкЗв/ч, определенная по данным радиационного контроля.

При расчете мощности максимальной потенциальной дозы продолжительность рабочего времени для персонала группы А принимается равной 1700 ч в год, для всех остальных работников – 2000 ч в год и, соответственно, в формулах (2.7) и (2.8) используется коэффициент 2,0 вместо 1,7.

Классы условий труда и степени вредности в зависимости от мощности потенциальной дозы представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10

Мощность потенциальной дозы для оценки классов и степеней условий труда
(в единицах ДМПД)

Мощность потенциальной дозы	Класс условий труда					
	допустимый	вредный				опасный
	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Эффективная	≤ 1	$> 1-2$	$> 2-4$	$> 4-10$	$> 10-20$	> 20
Эквивалентная в хрусталике глаза	≤ 1	$> 1-2$	$> 2-4$	$> 4-5$	$> 5-8$	> 8
Эквивалентная в коже, кистях и стопах	≤ 1	$> 1-2$	$> 2-4$	$> 4-5$	$> 5-8$	> 8

В таблице 2.10 значения среднегодовой мощности потенциальной дозы приводятся в единицах *допустимой мощности годовой потенциальной дозы (ДМПД)*, т.е. в относительных единицах, определяемых как отношение максимальной допустимой потенциальной эффективной (эквивалентной) дозы к стандартной продолжительности работы в течение года, которая принимается:

- для персонала группы А – 1700 ч/год;
- для персонала группы Б – 2000 ч/год;
- для работников, не относящихся к группам А и Б, в случае природного облучения в производственных условиях – 2000 ч/год.

Физические принципы защиты от действия ионизирующего излучения можно сформулировать следующим образом:

– *защита временем* связана с природой радионуклидов, а именно индивидуальной для каждого из них скоростью распада, что позволяет в случае малых значений периодов полураспада снизить активность до приемлемых уровней за счет «выдержки». Второй вариант защиты временем заключается в том, что при нахождении на загрязненной территории или в помещении с высоким уровнем радиации полученная доза будет определяться ее мощностью и временем, в течение которого человек подвергается ее воздействию. Таким образом, сокращение времени пребывания в активной зоне снижает дозовую нагрузку, а в некоторых случаях можно рассчитать время безопасного пребывания там человека, исходя из известной мощности дозы и допустимых уровней облучения;

– *защита расстоянием* основана на том, что интенсивность ионизирующего излучения без учета поглощения средой обратно пропорциональна квадрату расстояния от точечного источника, т.е. $A = A_0/r^2$,

где A_0 – интенсивность излучения на расстоянии от источника, равном r . Работает принцип следующим образом – чем дальше от источника, тем меньше мощность дозы. В то же время знание мощности источника ионизирующего излучения позволяет рассчитать расстояние, на котором мощность дозы не будет превышать допустимый уровень. Указанный принцип защиты относится преимущественно к γ -излучению, обладающему высокой проникающей способностью, и в некоторой мере к жесткому β -излучению, поскольку для последнего в качестве достаточно эффективного экранирующего средства выступает воздушная среда;

– *защита экранированием* основана на поглощении излучения материалом экрана. Ее используют в случае мощных потоков γ -излучения и высокоэнергичных β -частиц. В случае α -частиц, как правило, специального экранирования не требуется, т.к. их пробег в воздухе не превышает нескольких сантиметров. В случае излучателей β -частиц с высокой энергией, обладающих сравнительно высокой проникающей способностью, достаточно защиты из органического стекла или тонкого слоя алюминия. Эффект экранирования (поглощения) от нейтронного и γ -излучения, обладающих большой проникающей способностью, будет зависеть от плотности используемого для экрана материала, толщины его слоя и энергии γ -квантов и нейтронов. Интенсивность γ -излучения эффективно снижают материалы с высокой плотностью, такие как свинец, сталь, особо плотный бетон и т.п., а эффективное ослабление потока нейтронов происходит в материалах, основу которых составляют ядра легких элементов, при столкновении с которыми нейтроны теряют значительную часть своей энергии (вода, парафин, пластмассы, бетон и т.п.). Защита от тепловых нейтронов обеспечивается материалами, в состав которых входят элементы с ядрами, обладающими большими сечениями захвата, например, бор, кадмий.

Неионизирующее излучение – это любой тип ЭМИ, который не обладает достаточной энергией фотона для ионизации атомов или молекул. Вместо образования заряженных ионов при прохождении через вещество неионизирующее ЭМИ обладает достаточной энергией только для возбуждения (перехода электрона в состояние с более высокой энергией). Примерами неионизирующего излучения являются ближний ультрафиолет, видимый свет, инфракрасное излучение, микроволны, радиоволны, постоянные и переменные магнитные поля, электромагнитные поля промышленной частоты и электростатические поля.

Инфракрасное излучение

Инфракрасное излучение (ИКИ) – это разновидность ЭМИ, занимающего в спектре электромагнитных волн диапазон от 0,78 до 340 мкм. При этом диапазон от 0,78 до 15 мкм считается *коротковолновым*, от 15 до 100 мкм – *средневолновым*, а от 100 до 340 мкм – *длинноволновым*.

Невидимые инфракрасные лучи являются тепловыми и участвуют в переносе теплоты от одного тела к другому. Они появляются при нагреве какого-либо тела (например, куска металла) до температуры не выше 800 К. На шкале электромагнитных волн они занимают достаточно широкий диапазон между красным концом видимого спектра излучения света и коротковолновым радиоизлучением. ИКИ находит широкое применение в дефектоскопии, приборах ночного видения и ночного фотографирования, средствах скрытой сигнализации и т.д.

Для каждого вещества имеется определенная длина волн ИКИ, при которой происходит наиболее эффективный его нагрев. Воздух для инфракрасных лучей практически прозрачен, поэтому передача теплоты от источника ИКИ к нагреваемому объекту происходит без заметных потерь.

ИКИ подчинено ряду важных в гигиеническом отношении физических закономерностей:

– *Закон Кирхгофа*. Лучеиспускание обуславливается только состоянием излучающего тела и не зависит от температуры окружающей среды. Или другими словами, излучательная способность тела прямо пропорциональна его поглощательной способности. Именно поэтому никелированные или хромированные поверхности производственного оборудования излучают меньше тепла. На знании этого закона основана разработка защитной одежды, светофильтров, устройство приборов для измерения ИКИ.

– *Закон Стефана-Больцмана*. С повышением температуры излучающего тела мощность излучения увеличивается пропорционально четвертой степени его абсолютной температуры:

$$E = KT^4, \quad (2.9)$$

где E – мощность излучения, Вт; $K = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) – постоянная Стефана-Больцмана; T – абсолютная температура, К.

Таким образом, даже небольшое увеличение температуры приводит к значительному росту отдачи тепла излучением. Зная закон Стефана-Больцмана, возможно определить величину теплообмена излучением в производственных условиях, т.к. важное значение, наряду со спектральной характеристикой, имеет и интенсивность излучения.

– *Закон смещения Вина*. Длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела, обратно пропорциональна абсолютной температуре:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}, \quad (2.10)$$

где λ_{max} – длина волны излучения с максимальной интенсивностью, м; $b = 2,3 \cdot 10^{-3}$ м·К – постоянная Вина.

Или другими словами, с увеличением температуры тела изменяется длина волны, максимум энергии излучения смещается в сторону более коротких волн. Зная закон Вина и имея данные о температуре излучающего тела, можно составить представление о спектральной характеристике ИКИ и оценить его биологический эффект.

Искусственные источники инфракрасных лучей включают различные типы ламп накаливания, люминесцентные лампы и лампы с разрядом высокой интенсивности, нагревательные приборы, лучистое отопление, а также «холодную плазму», используемую в газоразрядных трубках, для резки, сварки металлов и в металлургии, и «горячую плазму» (термоядерные генераторы).

Искусственные установки ИКИ классифицируются по назначению:

- для сушки и нагрева материалов и изделий (инфракрасные излучатели);
- для контроля качества сырья и готовой продукции, а также для обнаружения дефектов в процессе производства (инфракрасные детекторы);
- для обнаружения утечек тепла в зданиях, машинах и других объектах, а также для идентификации целей в условиях низкой освещённости или задымлённости (тепловизоры);
- для медицинских целей (инфракрасные камеры для измерения температуры тела, выявления опухолей и других заболеваний, а также для контроля лечения пациентов).

Технологический процесс во многих производствах основан на термической обработке металла и других твердых, жидких и газообразных тел. Тепло в такие производственные помещения поступает от нагретых предметов и поверхностей, раскаленных и расплавленных масс. Большое значение для формирования нагревающего микроклимата имеет ИКИ от предметов, нагретых до 500-1300 °С и больше. На рабочих местах горновой площадки доменного цеха завода черной металлургии интенсивность лучистого тепла достигает 15,0 кал/см²·мин. Рабочие мартеновского цеха подвергаются воздействию лучистого тепла до 18 кал/см²·мин.

Интенсивное ИКИ наблюдается в литейных цехах машиностроительной промышленности, где происходит плавка, заливка металла, нагрев и литье, и кузнечных цехах, где нагревают металл с последующей обработкой.

Воздействие ИКИ на организм человека проявляется общими и местными реакциями. *Местная* – выражена сильнее при длинноволновом облучении, поэтому при одной и той же интенсивности облучения время переносимости в этом случае короче, чем при коротковолновом излучении. *Общая* – коротковолновая область спектра ИКИ проникает на большую глубину в ткани тела, вызывая повышение температуры кожи, тела. При воздействии ИКИ изменяется состояние сердечно-сосудистой и дыхательной систем. При этом наблюдается резкое учащение сердцебиений, повышение систолического и понижение диастолического артериального давления, учащение дыхания, повышение температуры тела и усиление потоотделения.

Инфракрасные лучи, воздействуя на глаз, могут вызвать целый ряд патологических изменений, а именно: конъюнктивиты, помутнение и васкуляризацию роговицы, депигментацию радужки, спазм зрачков, помутнение хрусталика, ожог сетчатки и хориоретинит. Они являются причиной конъюнктивитов пекарей, литейщиков и кузнецов.

При интенсивном прямом инфракрасном коротковолновом облучении (0,76-1,4 мкм) головы может развиваться тяжелое поражение оболочек мозга и мозговой ткани, вплоть до выраженного менингита и энцефалита, что получило название *теплового удара*. Подобное патологическое состояние может возникнуть при выполнении работ на открытом воздухе (строители, геологи, сельскохозяйственные рабочие и т.д.).

В документах санитарного законодательства ИКИ нормируется и оценивается как *интенсивность теплового облучения* $I_{то}$, Вт/м², с учетом спектрального состава излучения и размера облучаемой поверхности тела.

При наличии источников ИКИ его интенсивность на рабочем месте необходимо измерять от всех источников. Измерения следует проводить на высоте 0,5; 1,0 и 1,5 м от пола или рабочей площадки. Величина интенсивности инфракрасного облучения оценивается по его максимальному значению.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до температуры не более 600 °С должны, в зависимости от процента облучаемой поверхности тела, соответствовать значениям, приведенным в таблице 2.11.

Таблица 2.11

Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ²
50 и более	35
25-50	70

не более 25	100
-------------	-----

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (более 600 °С – раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.) не должны превышать 140 Вт/м². При этом облучению не должно подвергаться более 25 % поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Тепловое облучение тела человека, превышающее 140 Вт/м² характеризует условия труда как вредные и опасные независимо от площади облучаемой поверхности тела. В этих условиях, наряду с интенсивностью теплового облучения $I_{то}$, требуется принимать во внимание связанный с ним параметр – экспозиционная доза теплового облучения ДЭО, Вт·ч, определяемую по формуле:

$$ДЭО = I_{то} S \tau, \quad (2.11)$$

где $S \approx 1,8 \text{ м}^2$ – облучаемая площадь поверхности тела; τ – продолжительность облучения за рабочую смену, ч. При определении облучаемой поверхности тела учитывают долю каждого участка тела: голова и шея – 9 %, грудь и живот – 16 %, спина – 18 %, руки – 18 %, ноги – 39 %.

При превышении допустимых значений интенсивности облучения и его дозы классы условий труда определяют по таблице 2.12.

Таблица 2.12.

Класс условий труда по показателям интенсивности теплового облучения и его дозы

Показатель	Класс условий труда					
	допустимый	вредный				опасный
	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Интенсивность теплового облучения $I_{то}$, Вт/м ²	140	1500	2000	2500	2800	> 2800
Экспозиционная доза теплового облучения ДЭО, Вт·ч	500	1500	2600	3800	4800	> 4800

Для измерения теплового излучения от производственных источников используются *актинометры*. Актинометры имеют широкий диапазон показаний, портативны и малоинертны. Но следует учитывать их пониженную чувствительность в видимом и наиболее коротком участке инфракрасного спектра (до 1,16 мкм), что ограничивает их применение при измерениях от источников с температурой более 2200 °С. Недостаточная чувствительность приборов не позволяет измерять и малые величины ИКИ на уровне предельно-

допустимых величин. Малую интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляции на рабочих местах можно определять измерителями тепловой облученности «ТКА-ИТО» (диапазон измерений от 10 до 3500 Вт/м²) или измерителями плотности теплового потока ИПП-2 (диапазон измерений от 10 до 2000 Вт/м²) (рисунок 2.18).



Рисунок 2.18 – Приборы для измерения интенсивности теплового облучения: а – измеритель тепловой облученности «ТКА-ИТО», б – измеритель плотности теплового потока ИПП-2

Ведущая роль в профилактике вредного влияния ИКИ принадлежит *технологическим мероприятиям*: замена старых и внедрение новых технологических процессов и оборудования, способствующих оздоровлению неблагоприятных условий труда (например, замена кольцевых печей для сушки форм и стержней в литейном производстве туннельными; применение штамповки вместо поковочных работ; применение индукционного нагрева металлов токами высокой частоты и т.д.). Внедрение автоматизации и механизации дает возможность пребывания рабочих вдали от источника радиационной и конвекционной теплоты.

К группе *санитарно-технических и организационных мероприятий* относится применение коллективных средств защиты: локализация тепловыделений, теплоизоляция горячих поверхностей, экранирование источников либо рабочих мест; воздушное душирование.

Уменьшению поступления теплоты в цех способствуют мероприятия, обеспечивающие герметичность оборудования (*локализация тепловыделений*). Плотнo подогнанные дверцы, заслонки, блокировка закрытия технологических

отверстий с работой оборудования – все это значительно снижает выделение теплоты от открытых источников, позволяя достичь облученности на рабочих местах не более 350 Вт/м^2 и температуру поверхности оборудования не выше 308 К (35°C) при температуре внутри источника до 373 К (100°C) и не выше 318 К (45°C) при температурах внутри источника выше 373 К (100°C).

Теплоизоляция поверхностей источников излучения (печей, сосудов и трубопроводов с горячими газами и жидкостями) снижает температуру излучающей поверхности и уменьшает как общее тепловыделение, так и радиационное. Кроме улучшения условий труда, тепловая изоляция уменьшает тепловые потери оборудования, снижает расход топлива (электроэнергии, пара) и приводит к увеличению производительности агрегатов.

Конструктивно теплоизоляция может быть мастичной, оберточной, засыпной, из штучных изделий и смешанной. *Мастичная изоляция* осуществляется нанесением мастики (штукатурного раствора с теплоизоляционным наполнителем) на горячую поверхность изолируемого объекта. Эту изоляцию можно применять на объектах любой конфигурации. *Оберточную изоляцию* изготавливают из волокнистых материалов – асбестовой ткани, минеральной ваты, войлока и др. Устройство оберточной изоляции проще мастичной, но на объектах сложной конфигурации ее труднее закреплять. Наиболее пригодна оберточная изоляция для трубопроводов. *Засыпную изоляцию* применяют реже, так как необходимо устанавливать кожух вокруг изолируемого объекта. Эту изоляцию используют в основном при прокладке трубопроводов в каналах и коробах, там, где требуется большая толщина изоляционного слоя, или при изготовлении теплоизоляционных панелей. *Теплоизоляцию штучными или формованными изделиями*, скорлупами применяют для облегчения работ. *Смешанная изоляция* состоит из нескольких различных слоев. В первом слое обычно устанавливают штучные изделия. Наружный слой изготавливают из мастичной или оберточной изоляции. Целесообразно устраивать алюминиевые кожухи снаружи теплоизоляции.

Теплозащитные экраны применяют для локализации источников лучистой теплоты, уменьшения облученности на рабочих местах и снижения температуры поверхностей, окружающих рабочее место. Ослабление теплового потока за экраном обусловлено его поглотительной и отражательной способностью. В зависимости от того, какая способность экрана более выражена, различают *теплоотражающие*, *теплопоглощающие* и *теплоотводящие* экраны.

Теплоотражающие экраны используют для локализации тепловыделений от поверхностей печей, покрытия наружных поверхностей кабин, постов управления кранов. В качестве материалов для непрозрачных теплоотражающих экранов используют асфоль (алюмиевая фольга), алюминий листовой, белую

жесть, алюминиевую краску. Эффективность теплозащиты таких экранов достигает 80-98 %.

Теплопоглощающие экраны применяются как переносные (при ремонтных работах), а при наличии пауз в технологическом процессе (необходимых для охлаждения экрана) и как стационарные. Прозрачные теплопоглощающие экраны изготавливаются из различных бесцветных или окрашенных стекол: силикатное – для защиты от источников с температурой до 700 °С; органическое – для защиты от источников с температурой до 900 °С. Эффективность теплозащиты стекол зависит от температуры источника излучения, так при $T = 1000$ °С она достигает 86 %.

Теплоотводящие экраны представляют собой полые сварные конструкции, по которым циркулирует вода или воздушно-водяная смесь. В качестве полупрозрачных теплоотводящих экранов (для наблюдения или ввода через него материалов или инструмента) используют металлические сетки с размером ячейки

3-3,5 мм, цепные завесы, армированное металлической сеткой стекло. Металлические сетки применяют при интенсивностях облучения 350-1050 Вт/м². Эффективность экранов из однослойной сетки – 33-50 %, двухслойной – 57-74 %. Цепные завесы и армированное металлической сеткой стекло с эффективностью до 70 % применяют при интенсивности облучения 700-5000 Вт/м². Для повышения эффективности тепловой защиты устанавливают двойные экраны или применяют орошение экранов водяной пленкой.

По степени прозрачности экраны делят на три класса: *непрозрачные, полупрозрачные и прозрачные.*

К первому классу относят металлические водоохлаждаемые и футерированные асбестовые, альфалиевые, алюминиевые экраны; ко второму – экраны из металлической сетки, цепные завесы, экраны из стекла, армированного металлической сеткой; все эти экраны могут орошаться водяной пленкой. Третий класс составляют экраны из различных стекол: силикатного, кварцевого и органического, бесцветного, окрашенного и металлизированного, пленочные водяные завесы, свободные и стекающие по стеклу, вододисперсные завесы.

При воздействии на работающего теплового облучения интенсивностью 0,35 кВт/м² и более, а также 0,175-0,35 кВт/м² при площади излучающих поверхностей в пределах рабочего места более 0,2 м² применяют *воздушное душирование* (подачу воздуха в виде воздушной струи, направленной на рабочее место). Воздушное душирование устраивают также для производственных процессов с выделением вредных газов или паров и при невозможности устройства местных укрытий.

Охлаждающий эффект воздушного душирования зависит от разности температур тела работающего и потока воздуха, а также от скорости обтекания воздухом охлаждаемого тела. Для обеспечения на рабочем месте заданных температур и скоростей воздуха ось воздушного потока направляют на грудь человека горизонтально или под углом 45° , а для обеспечения допустимых концентраций вредных веществ ее направляют в зону дыхания горизонтально или сверху под углом 45° .

В потоке воздуха из душирующего патрубка должны быть обеспечены равномерная скорость и одинаковая температура. Расстояние от кромки душирующего патрубка до рабочего места должно быть не менее 1 м. Минимальный диаметр патрубка принимают равным 0,3 м; при фиксированных рабочих местах расчетную ширину рабочей площадки принимают равной 1 м.

Ультрафиолетовое излучение

Ультрафиолетовое излучение (УФИ) – не видимое глазом ЭМИ, занимающее спектральную область между видимым и рентгеновским излучением в диапазоне длин волн 400-10 нм. Вся область УФИ условно делится на *ближнюю* (400-200 нм) и *дальнюю*, или вакуумную (200-10 нм).

Любое тело, нагретое до температуры, превышающей 2500 К содержит заметную долю УФИ непрерывного спектра, интенсивность которого растет с увеличением температуры.

Искусственные источники УФИ могут быть сгруппированы следующим образом:

- *газоразрядные источники* – ртутные лампы низкого давления, ртутные лампы высокого давления, металлические галогеновые, ксеноновые лампы, натриевые лампы высокого давления, водородные и дейтериевые лампы, дуговая сварка, флуоресцентные лампы;

- *источники накаливания* – углеродная дуга, оксиацетиленовое пламя. Большинство источников УФИ на производстве принадлежат к так называемым температурным излучателям.

Искусственные установки УФИ классифицируются по назначению:

- для обеззараживания воздуха, поверхностей, жидкостей (бактерицидные облучатели);

- для фотополимеризации в промышленности (сушка защитных покрытий, лаков, красок, фоторезисторов для печатных плат и т.п.);

- для контроля качества изделий (контроль качества интегральных схем и печатных плат в электронной промышленности, обнаружение загрязнений пищевых продуктов, контроль оттенков белой продукции, контроль подлинности подписей, банкнот и др.);

– для облучения растений в оранжереях и теплицах, для облучения животных при безвыгульном содержании скота и птицы, для обработки посевного материала и т.п.;

– для медицинских целей (облучательные установки для лечения и диагностики);

– для профилактического облучения людей с целью борьбы с синдромом «светового голодания» (эритемные облучатели).

В промышленности одним из основных источников УФИ являются *электрические дуги*. Они могут применяться без арматуры (сварочные работы), или с арматурой в виде различных экранов с отверстиями (фотоцинкография, светокопировальные работы). Дополнительно к арматуре могут использоваться рефлекторы в виде различных зеркал сзади дуги, усиливающих ультрафиолетовый поток (прожекторы военные и светолечебных кабинетов). Интенсивность и спектр УФИ от электрической дуги зависит от диаметра электрода, силы тока, состава электрода, а также от наличия того или иного вида обмазки (при сварочных работах).

В условиях производства ультрафиолетовому облучению подвергаются рабочие, занятые электросваркой, автогенной резкой и сваркой, дефектоскопией; технический и медицинский персонал, работающий с ртутно-кварцевыми лампами при светокопировании, стерилизации воды и продуктов, персонал физиотерапевтических кабинетов; рабочие, занятые плавкой металлов и минералов с высокой температурой плавления на электрических, диабазовых, стекольных и других печах. Сельскохозяйственные, строительные, дорожные рабочие и другие профессиональные группы подвергаются действию УФИ солнечного спектра, особенно в весенне-летний период года.

Большая протяженность спектра ультрафиолетовых лучей обуславливает разнообразие их действия как физико-химического, так и биологического характера, что вызывает необходимость разделения их на отдельные области:

- область *УФ-А* с длиной волны 400-315 нм;
- область *УФ-В* с длиной волны 315-280 нм;
- область *УФ-С* с длиной волны 280-200 нм.

Волны короче 200 нм не оказывают биологического воздействия, т.к. лучи этого диапазона поглощаются в атмосферном воздухе.

Все виды действия УФИ на биологические объекты можно разделить на две основные группы: *деструктивного (разрушающего)* и *фотохимического характера*.

При действии ультрафиолетовых лучей на организм человека непосредственному их влиянию подвергается кожа и глаза, в клетках которых

под воздействием кванта энергии происходит разложение белковой молекулы – *денатурация белка*; последний подвергается ферментативному расщеплению. В результате этого образуется ряд высокоактивных веществ, к которым относят гистамин и гистаминоподобные вещества, содержащиеся в наибольшем количестве в месте облучения. Отсюда они разносятся по всему телу, в чем проявляется прямое и косвенное фотобиологическое действие ультрафиолетовых лучей.

УФИ от производственных источников, в первую очередь электросварочных дуг, может стать причиной острых и хронических профессиональных поражений. Наиболее подвержен действию УФИ зрительный анализатор. Острые поражения глаз, так называемые *электроофтальмии*, представляют собой острый конъюнктивит или кератоконъюнктивит. Заболеванию предшествует латентный период, продолжительность которого зависит от дозы облучения и чаще всего составляет 12 часов. Проявляется заболевание ощущением постороннего тела или песка в глазах, светобоязнью, слезотечением, блефароспазмом. Нередко обнаруживается эритема кожи век и лица. Обычно заболевание длится 2-3 суток и заканчивается без каких-либо осложнений.

Повторные воздействия УФИ на глазные среды могут приводить к развитию катаракты. В отношении этого действия наиболее эффективны длины волн УФИ, которые вызывают эритему. Возникновение катаракты связывают с нарушением синтеза белков под влиянием УФИ.

Важное гигиеническое значение имеет способность УФИ (область УФ-С) производственных источников изменять газовый состав воздуха вследствие его ионизации. При этом в воздухе образуются озон и окислы азота. Эти газы, как известно, обладают высокой токсичностью и могут представлять большую профессиональную опасность, особенно при выполнении сварочных работ, сопровождающихся УФИ, в ограниченных, плохо проветриваемых помещениях или в замкнутых пространствах.

Интенсивность УФИ на рабочих местах промышленных предприятиях регламентируется действующими санитарными правилами и нормативами с учетом спектрального состава излучения и площади незащищенных участков поверхности кожи работников.

Измерения следует производить на рабочем месте на высоте 0,5-1,0 и 1,5 м от пола, размещая приемник перпендикулярно максимуму излучения источника. При наличии нескольких источников следует проводить аналогичные измерения от каждого из них (с последующей суммацией) или через каждые 45 ° по окружности в горизонтальной плоскости. Измерения производятся в областях УФ-А, УФ-В, УФ-С.

При оценке результатов измерений следует исходить из того, что интенсивность облучения работающих в любой точке рабочей зоны не должна превышать *допустимой интенсивности излучения ДИИ*, Вт/м² – величина облучения, которая при воздействии на человека в течение рабочей смены и в процессе трудовой деятельности не вызывает у работающих функциональных, а также острых повреждений, приводящих к нарушению состояния здоровья непосредственно в период работы или в отдаленные сроки.

При наличии у работающих незащищенных участков поверхности кожи не более 0,2 м² и продолжительности облучения до 5 мин с общей продолжительностью воздействия за смену до 60 мин, допустимая интенсивность облучения не должна превышать: для УФ-А – 50,0 Вт/м²; для УФ-В – 0,05 Вт/м²; для УФ-С – 0,001 Вт/м².

При общей продолжительности воздействия излучения 50 % рабочей смены и длительности однократного облучения свыше 5 мин и более, а также при наличии у работающих незащищенных участков поверхности кожи не более 0,2 м² интенсивность облучения не должна превышать 10,0 Вт/м² – для области УФ-А; 0,01 Вт/м² – для области УФ-В; излучение в области УФ-С при указанной продолжительности не допускается.

При использовании специальной одежды и средств защиты лица и рук, не пропускающих излучение, допустимая интенсивность облучения в области УФ-В и УФ-С не должна превышать 1 Вт/м².

Условия труда при воздействии УФИ относят к тому или иному классу вредности и опасности в соответствии с таблицей 2.13.

Таблица 2.13

Классы условий труда при действии неионизирующих ЭМИ оптического диапазона (УФИ)

Показатель		Класс условий труда					
		допустимый	вредный				опасный
		2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
УФИ	при наличии производственных источников УФ-А+УФ-В, УФ-С, Вт/м ²	ДИИ	> ДИИ	–	–	–	–
	при наличии источников УФИ профилактического назначения (УФ-А), мВт/м ²	9-45	–	–	–	–	–

Определить уровни УФИ возможно с помощью радиометров: Аргус-04, Аргус-05, Аргус-06, АТТ-1515, ТКА-ПКМ 12 и др. (рисунок 2.19).



Рисунок 2.19 – УФ-радиометр ТКА-ПКМ 12

Мероприятия по предупреждению электроофтальмии сводятся к применению *светозащитных очков* или *щитков* при электросварочных и других работах.

Для защиты кожи от УФИ используется *защитная одежда*, *противосолнечные экраны (навесы)*, *специальные покровные кремы*.

При ионизации воздуха ультрафиолетовыми лучами с целью профилактики отравлений окислами азота и озоном соответствующие помещения должны быть оборудованы *местной вытяжной* или *общеобменной вентиляцией*, а при производстве сварочных работ в замкнутых объемах (отсеках кораблей, различных емкостях) необходимо подавать свежий воздух непосредственно под щиток или шлем.

При использовании в производственном помещении сразу нескольких ультрафиолетовых генераторов возникает отраженное действие излучения на работающих, которое можно значительно ослабить путем *окраски стен* с учетом коэффициента отражения. Для защиты от повышенной инсоляции применяются различные типы защитных *экранов* в виде преград, загораживающих или рассеивающих свет. Защитным действием обладают *защитные кремы*, содержащие поглощающие ингредиенты, например, бензофенон.

Защитная одежда из поплина или других подобных тканей имеет длинные рукава и капюшон. Глаза защищаются специальными очками со стеклами, содержащими оксид свинца, но и обычные стекла не пропускают ультрафиолетовые лучи с длиной волны короче 315 нм.

Лазерное излучение

Лазерное излучение представляет собой электромагнитные колебания оптического диапазона с монохроматичностью (одночастотность волн), временной и пространственной когерентностью (совпадение всех фаз световых волн в пространстве и времени), малой расходимостью пучка, высокой яркостью, поляризацией (совпадение векторов электрического и магнитного полей

излученной волны и волны, вызвавшей это излучение). Их источником являются *оптические квантовые генераторы (ОКГ) – лазеры*.

Излучение существующих ОКГ охватывает диапазон длин волн от ультрафиолетовой (0,2 мкм) до инфракрасной области спектра (102 мкм). Области излучений лазеров, получивших распространение в промышленности и научных исследованиях, представлены в таблице 2.14.

Таблица 2.14

Области излучения лазеров

Вид излучения	Область спектра	Длина волны	Вид ОКГ
УФИ	С В А	0,2-0,4 мкм	Азотный (ультрафиолетовый) лазер 0,33 мкм
Видимый свет	Фиолетовый Синий Голубой Зеленый Желтый Оранжевый Красный	0,4-0,76 мкм	Аргоновый лазер 0,49 мкм; Гелий-неоновый лазер 0,63 мкм; Рубиновый лазер 0,69 мкм
ИКИ	А В С	0,76-346 мкм	Лазер на арсениде галлия 0,84 мкм; Лазер на неодимовом стекле 1,06 мкм; Лазер на стекле с присадкой эрбия 1,54-1,63 мкм; Лазер на CO ₂ и N ₂ 10,6 мкм.

Лазеры классифицируются по физической характеристике активного элемента:

а) *твердотельные* – лазеры, активная среда которых представляет собою кристалл. Наиболее известны рубиновые твердотельные лазеры. В них активной средой является кристалл корунда Al_2O_3 с добавкой Cr_2O_3 . Цвет кристалла изменяется от почти бесцветного к красному и затем к зеленому в зависимости от концентрации Cr_2O_3 . Кроме рубина в качестве активной среды используют гранат, сапфир и другие. Главный способ накачки – оптический;

б) *газовые* – лазеры, активная среда которых представляет собой газ или смесь газов (He-Ne (гелий-неон), углекислый газ, аргон, криптон). Особенности газовых лазеров большей частью обусловлены тем, что они в подавляющем большинстве случаев являются источниками излучения, использующими атомные или молекулярные спектры излучения. Газовые лазеры обладают уникальной собственной шириной излучаемой линии. Кроме того, в газовых

смесях можно многообразными способами создавать инверсную населенность. Эти механизмы возбуждения позволяют реализовать генерацию при малых значениях мощности накачек;

в) *жидкостные* – лазеры, активная среда которых представляет собой органические и неорганические красители (раствор анилиновых красок в воде, спирте, кислоте и других растворителях). Энергия молекулы красителя накачивается оптически с помощью рубинового или газового лазера. Лазеры на красителях обладают одной особенностью: в молекулах органических красителей вынужденное излучение возникает сразу в широкой полосе длин волн. Чтобы добиться монохроматичности, на пути луча ставится светофильтр, представляющий собой оптическую систему, пропускающую излучение строго определенной длины волны. Параметрами фильтра можно управлять. В результате получается перестраиваемый лазер, т.е. лазер, у которого можно легко изменять частоту генерируемого излучения. Для перестройки частоты в широких пределах можно менять раствор красителя, получая лазер, генерирующий свет на всем диапазоне волн от ультрафиолета до инфракрасного излучения. Так, например, работает перестраиваемый лазер «Радуга»;

г) *полупроводниковые* – лазеры, активная среда которых представляет собой соединение полупроводников с разными типами проводимости (чаще используется арсенид галлия GaAs или кристалла $Ga_{1-x}Al_xAs$ с длиной волны 0,89 мкм, т.е. инфракрасные). При прохождении через p-n переход тока будет наблюдаться рекомбинация электронов и дырок, что приведет к излучению электромагнитных волн. На этом принципе и устроены полупроводниковые лазеры. Параметрами излучения полупроводниковых лазеров можно управлять в весьма широких пределах. Причем мощность излучения весьма значительна при миниатюрных размерах. Их крошечные размеры позволяют использовать их в электронных устройствах и переносных установках;

д) *экимерные лазеры* – лазеры, работающие на смеси газа (галогена с ксеноном или криптоном с хлором).

Области применения ОКГ:

– *Обработка сверхтвердых и высокопрочных материалов* (сталь, сплавы, алмазы). Лазерная резка стальных листов толщиной до 6 мм по сложному контуру является наиболее распространенным технологическим процессом лазерной обработки в промышленности. Ее применяют для вырезки таких деталей, как прокладки, кронштейны, панели, приборные щитки, двери, декоративные решетки, дисковые пилы.

– *Средства связи*. Инфракрасные устройства для передачи информации в специальных системах применялись широко, однако вследствие некогерентности излучения и тем самым сильно ограниченной дальности

действия (недостаточная направленность светового пучка) и модуляционной способности подобные системы передачи не получили широкого распространения. Лишь с разработкой лазера в распоряжении специалистов оказался источник света с отличными когерентными свойствами. Так как лазер может излучать очень узкий спектр волн, то появилась возможность в одной и той же среде организовывать множество каналов связи.

– *Средства хранения информации.* Оптическая память чаще всего представляет собою диск, покрытый светоотражающим материалом, на поверхности которого нанесены концентрические метки. Метки могут быть самыми разнообразными: области с большим коэффициентом поглощения, выпуклости, углубления. Весь диск покрывается прозрачным слоем лака, который защищает поверхность диска от физического повреждения. Методы записи на такой диск различны и зависят от типа меток, которые используются для записи. Например, с помощью лазера (чаще всего полупроводникового) генерируется импульс мощности до 15 мВт и длительности около 50 нс, который прожигает в тонком слое теллура отверстие диаметром около 1 мкм. Считывание информации производится тем же лазерным лучом, только его мощность снижается до 1 мВт.

– *Лазерные дальномеры.* Лазерные дальномеры нашли широкое применение в геодезии и географии. С их помощью была установлена геоидная форма земного шара, были измерены с очень большой точностью относительные высоты основных точек поверхности Земли, определены многие расстояния. Сегодня с помощью лазерных дальномеров ученые следят за движением материков и подвижками земной коры.

– *Медицина.* Возможность концентрации лазерного излучения на очень малые участки живой ткани позволяет вызывать в них те или иные физико-химические превращения, что привело к внедрению лазеров в медицину и биологию. Многообразный терапевтический эффект излучения гелий-неонового лазера связан с воздействием на мембраны клеток. Т.к. взаимодействие излучения с веществом наиболее выражено на поверхностях раздела, структура мембран делает более вероятными эффекты, при которых изменения небольшого звена приводят к существенным сдвигам в системе в целом. Это нашло отражение при лечении таких заболеваний, как ишемическая болезнь сердца (облучение зон Захарьина-Геда монохроматическим красным светом гелий-неонового лазера), окклюзирующие заболевания артерий, остеомиелит, гнойные раны и др. Использование импульсных лазеров в микрохирургии глаза обеспечивает эффективное лечение глаукомы, позволяет производить восстановление отслоившейся сетчатки, разрушать мелкие глазные опухоли. В

качестве бескровного скальпеля лазеры широко применяются в хирургии, нейрохирургии, отиатрии и других областях медицины.

В зависимости от специфики технологического процесса работа с лазерами может сопровождаться воздействием на персонал отраженного и рассеянного излучения. Энергия излучения лазеров в биологических объектах может претерпевать различные превращения и вызывать органические изменения в тканях, неспецифические изменения функционального характера.

Общее действие излучения проявляется функциональными расстройствами в деятельности центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы, неврозами астенического типа, вегетативно-сосудистыми дисфункциями, астеновегетативными синдромами, изменениями периферической крови (снижение гемоглобина и тромбоцитов, повышение эритроцитов и ретикулоцитов), изменением всех видов обмена и др.

Местное действие излучения выражается в поражении различных отделов глаз и кожи.

В настоящее время имеются ОКГ, излучения которых полностью поглощаются прозрачными средами глаза, содержащими большое количество жидкости. В основе повреждающего действия этого излучения лежит выраженный термический эффект, вследствие чего на месте повреждения нарушается прозрачность (таблица 2.15).

Таблица 2.15

Зависимость повреждения органа зрения от спектральных характеристик лазерных излучений

Область спектра	Область основного поглощения энергии лазерного излучения	Характер повреждения
УФИ А В, С	Кожа век Конъюнктивы, роговица	Эритема кожи век Конъюнктивиты, кератиты (лазерная УФ-офтальмия)
Видимая область	Хрусталик	Катаракта
ИКИ А В, С	Радужная, сетчатая и сосудистая оболочки Кожа век, конъюнктивы, роговица	Хориоретинальные ожоги различной степени тяжести Ожоги кожи век, конъюнктивы, роговицы

Степень воздействия лазерного излучения на кожу определяется как параметрами излучения лазера, так и пигментацией кожи и состоянием ее кровоснабжения. Пигментированная кожа значительно больше поглощает лазерных лучей, чем светлая. Отсутствие пигментации способствует более глубокому проникновению лучей в кожу и под кожу, поэтому поражения могут

носить более выраженный характер. Повреждение кожи напоминает термический ожог, который имеет четкие границы и окружен небольшой зоной покраснения. Различают 4 степени поражения кожи:

- I. Ожоги эпидермиса (эритема, десквамация эпидермиса).
- II. Не глубокие ожоги дермы (пузыри, деструкция поверхностных слоев).
- III. Глубокие ожоги дермы (деструкция до глубоких слоев).
- IV. Деструкция всей толщи кожи, подкожной клетчатки и подлежащих тканей.

Гигиенические нормативы учитывают не только прямое повреждающее действие на отдельные структуры глаза, но и работу глаза как сложной оптической системы. В санитарных правилах отсутствуют конкретные значения *предельно допустимых уровней (ПДУ)* лазерного излучения, они определяются для каждого режима работы, однократного или хронического воздействия, спектрального диапазона по специальным формулам и таблицам. При этом различают следующие спектральные диапазоны:

- $180 < \lambda \leq 380$ нм;
- $380 < \lambda \leq 1400$ нм;
- $1400 < \lambda \leq 105$ нм.

Требуется большое количество информации для получения ПДУ (диаметр ограничивающей апертуры, длительность и частота повторения импульсов и др.).

Предельно допустимые уровни лазерного излучения при хроническом воздействии (ПДУ₁) – уровни излучения, воздействие которых при работе установленной продолжительности в течение всего трудового стажа не приводит к травме (повреждению), заболеванию или отклонению в состоянии здоровья работающего в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколения. То же – для предельной суточной дозы излучения в диапазоне 1.

Предельно допустимые уровни лазерного излучения при однократном воздействии (ПДУ₂) – уровни излучения, при воздействии которых существует незначительная вероятность возникновения обратимых отклонений в организме работающего. То же – для предельной однократной суточной дозы излучения в диапазоне от 180 до 380 нм.

Следует различать понятия:

Апертура – любое отверстие в корпусе или защитном устройстве лазерного изделия, через которое проходит лазерное излучение и, следовательно, возникает возможность доступа человека к этому излучению.

Ограничивающая апертура – круглая площадка, по которой проводится усреднение облученности и энергетической экспозиции.

Дозиметрия лазерного излучения – комплекс методов и средств определения значений параметров лазерного излучения в заданной точке пространства с целью выявления степени опасности и вредности для организма человека.

Гигиеническая оценка результатов измерений должна осуществляться с учетом погрешности используемого средства метрологического контроля. Для лазерной дозиметрии используют лазерные дозиметры (измерители лазерного излучения) (рисунок 2.20).



Рисунок 2.20 – Дозиметр лазерного излучения

Измерения проводятся на постоянных рабочих местах и в местах возможного нахождения людей. В случае отсутствия постоянного рабочего места выбирается несколько точек в пределах рабочего помещения, в которых работник проводит не менее 50 % времени смены. Все точки вносятся в протокол с указанием их расположения. Обязательно проводятся измерения в области расположения глаз и рук работника.

Отнесение условий труда к тому или иному классу вредности и опасности при воздействии лазерного излучения осуществляется в соответствии с таблицей 2.16.

Таблица 2.16

Классы условий труда при действии неионизирующих ЭМИ оптического диапазона (лазерное)

Показатель	Класс условий труда					
	допустимый	вредный				опасный
	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Лазерное излучение	ПДУ ₁	> ПДУ ₁	–	–	–	–
	ПДУ ₂	> ПДУ ₂	≤ 10 ПДУ ₂	< 10 ² ПДУ ₂	< 10 ³ ПДУ ₂	≥ 10 ³ ПДУ ₂

Профилактика воздействия лазерного излучения на организм работающих включает систему мер:

1. *Планировочные мероприятия.* Размещение действующих ОКГ разрешается только в специально оборудованных помещениях. Помещения оборудуются комбинированным освещением. Стены и потолки окрашиваются матовой краской с малой отражательной способностью. Для фона мишени рекомендуется темная краска с высоким коэффициентом поглощения, а для окружающей площади – светлая.

2. *Организационные мероприятия.* При работе нескольких ОКГ в одном помещении их следует разместить так, чтобы исключить возможность попадания излучения на персонал и рабочие места. Для предотвращения поражения прямым или зеркально отраженным лучом ОКГ предусматривают ограждения, исключающие возможность выхода луча за пределы установки закрытого типа и возможность проникновения человека в зону прохождения луча. На дверях помещений, в которых расположены ОКГ, устанавливается предупредительная сигнализация в виде световых табло: «Идет работа», «Опасно», «Не входить». На открытых площадках, где размещены ОКГ, обозначается зона повышенной плотности энергии излучения, и устанавливаются экраны, предотвращающие распространения излучения за пределы площадки.

3. *Инженерно-технические меры,* в том числе методы коллективной и индивидуальной защиты. Конструкция лазерных изделий должна обеспечивать защиту персонала от лазерного излучения. Лазер оснащается защитным корпусом, который должен иметь защитную блокировку. Для лазеров необходим пульт управления, должны быть оборудованы световые сигнальные устройства. Все оптические системы наблюдения лазеров должны обеспечивать снижение энергии проходящего через них излучения до ПДУ. Наряду с разработкой требований к конструкциям лазерных установок и условиям их эксплуатации, созданы специальные светофильтры для использования в средствах коллективной и индивидуальной защиты от лазерного излучения. Индивидуальные средства защиты применяются только в том случае, если технически совершенные коллективные средства защиты не обеспечивают снижение уровней лазерного излучения до ПДУ, или технология работ не позволяет применить коллективные средства защиты. Работа современных лазеров в широком диапазоне длин волн, использование в процессе работы одновременно нескольких типов лазеров требуют универсальных светофильтров, т.е. защиты от лазерного излучения на нескольких длинах волн.

4. *Лечебно-профилактические мероприятия* направлены на выявление признаков неблагоприятного воздействия лазерного излучения на организм работников. При приеме на работу с источниками ЭМИ оптического диапазона

учитываются медицинские противопоказания – болезни хрусталика, сосудистой оболочки, сетчатки; глаукома. Периодичность медицинских осмотров устанавливается 1 раз в 2 года (дерматовенеролог, офтальмолог; офтальмоскопия глазного дна, биомикроскопия сред глаза, визометрия).

Электромагнитные поля радиочастотного диапазона

Электромагнитное поле (ЭМП) – особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между электрически заряженными частицами.

ЭМП в воздушном пространстве распространяется в виде электромагнитных волн с конечной скоростью, близкой к скорости света.

Основными параметрами электромагнитных колебаний являются: длина волны λ , м, частота колебаний f , Гц, скорость распространения в среде c , м/с (для света в воздухе $c = 3 \cdot 10^8$ м/с), которые связаны соотношением:

$$\lambda = \frac{c}{f \sqrt{\varepsilon' \mu'}}, \quad (2.12)$$

где $\varepsilon' \approx 1$ – диэлектрическая проницаемость воздуха, Ф/м; $\mu' \approx 1$ – магнитная проницаемость воздуха, Гн/м.

ЭМП состоит из составляющих электрического и магнитного поля. Любое изменение магнитного поля в пространстве вызывает появление в этом пространстве электрического поля и наоборот. Переменное ЭМП, представляет собой совокупность электрического и магнитного полей, и распространяется в пространстве в виде электромагнитных волн.

Основными параметрами, характеризующими электрическое поле, является напряженность поля E , В/м.

Существуют две характеристики магнитного поля: индукция B , Тл, и напряженность H , А/м. Магнитная индукция зависит от свойств среды, в которой существует магнитное поле. Напряженность магнитного поля определяется силой, действующей в поле на проводник с током, не зависимо от свойств среды.

Свойства ЭМП меняются по мере удаления от источника. Распространяясь вокруг источника излучения в пространстве, ЭМП условно делится на три зоны:

- *ближнюю* – зону индукции (ее размер выражается отношением $r < \frac{\lambda}{2\pi}$, где r – радиус сферы, центром которой является источник, м; λ – длина волны, м. Таким образом, зона индукции составляет меньше одной шестой длины волны);

- *промежуточную* – зону интерференции (ее размер выражается отношением $\frac{\lambda}{2\pi} < r < 2\pi\lambda$, т.е. ее размер – от одной шестой длины волны до шести длин волн);

▪ *дальнюю* – волновую зону (ее размер выражается отношением $r < 2\pi\lambda$, т.е. больше чем шесть длин волн).

Соотношения электрической и магнитной составляющих в этих зонах не одинаковы. В *зоне индукции* работающие подвергаются воздействию различных по величине электрических и магнитных полей, поэтому их интенсивность оценивается отдельно – измеряют величины напряженности электрической E и магнитной H составляющей для электрического и магнитного полей соответственно. Эти поля имеют место при работе с источниками низко-, высоко- и ультравысокочастотных излучений.

В *волновой зоне*, где ЭМП сформировалось, напряженность электрического и магнитного полей совпадают по фазе, поэтому достаточно измерить одну составляющую для оценки гигиенической ситуации – *плотность потока энергии (ППЭ)*, т.е. количеством энергии, падающей на единицу поверхности. В этом случае ППЭ выражается в Вт/м² или в производных единицах мВт/см², мкВт/см².

Классификация ЭМИ по диапазонам частот и длинам волн представлена в таблице 2.17.

Таблица 2.17

Классификация ЭМИ по диапазонам частот и длин волн

№ диапазона	Диапазон частот		Диапазон длин волн	
	границы диапазона	обозначения	границы диапазона	обозначения
I	3-30 Гц 3·10 ¹ Гц	Крайне низкие (КНЧ)	10 ⁸ -10 ⁷ м	Декаметровые
II	30-300 Гц 3·10 ¹ -3·10 ² Гц	Сверхнизкие (СНЧ)	10 ⁷ -10 ⁶ м	Метровые
III	0,3-3 кГц 3·10 ² -3·10 ³ Гц	Инфранизкие (ИНЧ)	10 ⁶ -10 ⁵ м	Гектокилометровые
IV	3-30 кГц 3·10 ³ -3·10 ⁴ Гц	Очень низкие (ОНЧ)	10 ⁵ -10 ⁴ м	Мириаметровые
V	30-300 кГц 3·10 ⁴ -3·10 ⁵ Гц	Низкие (НЧ)	10 ⁴ -10 ³ м	Километровые (длинные ДВ)
VI	0,3-3 МГц 3·10 ⁵ -3·10 ⁶ Гц	Средние (СЧ)	10 ³ -10 ² м	Гектаметровые (средние СВ)
VII	3-30 МГц 3·10 ⁶ -3·10 ⁷ Гц	Высокие (ВЧ)	10 ² -10 ¹ м	Декаметровые (короткие КВ)
VIII	30-300 МГц 3·10 ⁷ -3·10 ⁸ Гц	Очень высокие (ОВЧ)	10 ¹ -10 ⁰ м	Метровые (ультракороткие УКВ)
IX	0,3-3 ГГц 3·10 ⁸ -3·10 ⁹ Гц	ультравысокие (УВЧ)	10 ⁰ -10 ⁻¹ м	Дециметровые
X	3-30 ГГц 3·10 ⁹ -3·10 ¹⁰ Гц	сверхвысокие (СВЧ)	10 ⁻¹ -10 ⁻² м	Сантиметровые

XI	30-300 ГГц $3 \cdot 10^{10}$ - $3 \cdot 10^{11}$ ГГц	крайне высокие (КВЧ)	10^{-2} - 10^{-3} м	Миллиметровые
XII	300-3000 ГГц $3 \cdot 10^{11}$ - $3 \cdot 10^{12}$ ГГц	гипервысокие (ГВЧ)	10^{-3} - 10^{-4} м	Децимиллиметровые

Основные источники и использование ЭМИ в промышленности:

– *Индукционный нагрев.* Электромагнитная энергия частотой 1-12 кГц широко используется в промышленности (сталевары, нагревательные). Источниками энергии высокой и ультравысокой частоты являются ламповые генераторы, которые используются для высокочастотного нагрева. Индукционный нагрев используется для высокочастотной плавки металла, термообработки заготовок, деталей, элементов электровакуумных приборов, металлических изделий. Энергия электромагнитного поля индуктора применяется для получения плазменного состояния вещества.

– *Диэлектрический нагрев.* Диэлектрический нагрев используется для сушки влажных материалов, склейки древесины, нагрева, сварки, термофиксации, сварки терморезистивных материалов, в том числе пластмасс, и др. Для его получения применяются установки в диапазоне частот от 3 до 150 МГц, мощностью 1-30 кВт. Источниками излучения могут быть неэкранированные рабочие электроды, фидерные линии, настроечные конденсаторы, неплотности соединения волновых трактов, отсутствие или некачественное экранирование в блоках генераторов и передатчиков, разделительных фильтров.

– *Эксплуатация передатчиков на передающих радио- и телецентрах.* В генераторных залах передающих радио- и телецентров оборудуется до 20 передатчиков различных диапазонов и мощностей. На передающих радиоцентрах (морской, рыбный, речной флот) передающие устройства (ВЧ- и УВЧ-диапазонов) создают ЭМП напряженностью от нескольких десятков до нескольких сотен В/м. При одновременной работе нескольких передатчиков напряженность поля значительно увеличивается.

– *Радиотехнические устройства (диапазон СВЧ).* Энергия диапазона СВЧ используется в радиолокации, радионавигации, метеорологии, астрономии, радиоспектроскопии, геодезии, ядерной физике и др. Также электромагнитные поля могут образовываться при испытании электровакуумных УВЧ-приборов, конструировании и опытной эксплуатации радиопередающих устройств.

– *Медицина.* В физиотерапевтических кабинетах для диатермии и индуктотермии используются генераторы высоких частот: УДЛ-200М, УДЛ-300М, ДКВ-1, ДКВ-2, для УВЧ-терапии – аппараты типа УВЧ-2М, УВЧ-300, для микроволновой терапии – сверхвысокочастотные аппараты «Луч-58»,

«Микротерм», «Волна». Установки работают в диапазоне частот от 1,6 до 2456 МГц, их мощность 20-350 Вт. Основными источниками ЭМП при работе высокочастотной аппаратуры являются электроды и фидеры, излучатели различного типа.

Биологический эффект ЭМП зависит от диапазона частот, интенсивности воздействующего фактора, продолжительности облучения, характера излучения (непрерывное, модулированное), режима облучения (непрерывный, прерывистый), комбинированного действия с другими производственными факторами (повышенная температура воздуха, наличие рентгеновского излучения, шума, вибрации и др.), свойств облучаемых тканей.

Наиболее биологически активен диапазон СВЧ, затем УВЧ и менее активен ВЧ, т.е. с укорочением длины волны биологическая активность почти всегда возрастает.

Механизм биологического действия ЭМП радиочастот связывают с тепловым и нетепловым эффектом.

Тепловое действие характеризуется повышением температуры тела, локальным избирательным нагревом тканей, органов, клеток вследствие перехода электромагнитной энергии в тепловую за счет диэлектрических потерь в них. Диэлектрические потери в тканях увеличиваются с возрастанием частоты колебаний. Тепловой эффект зависит от интенсивности облучения.

Пороговые интенсивности теплового действия электромагнитных волн на организм характеризуются следующими параметрами: для диапазона средних волн – 800 В/м, коротких – 2250 В/м, ультракоротких – 150 В/м, дециметровых – 40 мВт/см², сантиметровых – 10 мВт/см², миллиметровых – 7 мВт/см².

ЭМП низкой интенсивности обладают *нетепловым действием*. При хроническом воздействии ЭМП радиочастот характерен кумулятивный биологический эффект.

Данные клинических исследований позволяют выделить три характерных синдрома действия радиочастотных излучений: астенический, астеновегетативный и диэнцефальный.

Расстройства в состоянии здоровья рабочих, обусловленные функциональными нарушениями в деятельности нервной, сердечно-сосудистой систем, следует относить к одним из первых проявлений профессиональной патологии (повышенная утомляемость, раздражительность, ухудшение памяти, расстройство сна, жалобы на головные боли, боли в области сердца.). Нередко *астеновегетативный синдром* протекает по гипотоническому типу (гипотония, брадикардия).

В более выраженной стадии *астенический (неврастенический) синдром* с вегетососудистой дисфункцией развивается по гипертоническому типу, иногда с

церебральными кризами симпатико-адреналового характера. Отмечается усиление жалоб, и появляются ангиоспастические реакции: сужение артерий сетчатки, в момент приступа – дрожь, бледность или покраснение лица, гипергидроз, резкая слабость, повышение температуры тела, повышение артериального давления и др.

Функциональные расстройства не ограничиваются нервной и сердечно-сосудистой системами, параллельно наблюдаются:

- нарушения в деятельности органов пищеварения (желудка, печени, поджелудочной железы с патологией секреторной, моторной, экскреторной деятельности);

- сдвиги в эндокринной системе (усиление функции щитовидной железы, недостаточность системы гипофиз – гипоталамус – кора надпочечников, расстройства овариально-менструального цикла у женщин, снижение потенции у мужчин);

- изменения в составе периферической крови (эритропения или эритроцитоз, лейкопения или лейкоцитоз, эозинофилия и др.);

- неспецифические сдвиги в состоянии различных обменных процессов;

- поражение органа зрения (хронический конъюнктивит; профессиональные «тепловые» катаракты, которые могут возникнуть сразу после облучения или в течение ближайших 3-6 дней, или постепенно развиваться, когда процесс катарактогенеза растягивается на несколько лет. В основе катарактогенеза лежит нагрев хрусталика до температур, превышающих допустимые физиологические пределы);

- локальные поражения (синдром вегетативного полиневрита, периферический вазо-вегетативный синдром).

В качестве критерия вредности при экспериментальном обосновании ПДУ должен использоваться порог вредного действия фактора с введением коэффициентов гигиенического запаса.

Порог вредного действия – такое сочетание нормируемых параметров, при котором в организме возникают изменения, характеризующиеся наличием модного или совокупности следующих признаков:

- количественной перестройки протекания жизненных процессов;

- любых количественных изменений состояния жизненных процессов, выходящих за пределы колебаний физиологической нормы;

- развития явлений суммации предшествующих эффектов воздействия, имеющих характер кумулятивных и приводящих при продолжении воздействия к развитию сдвигов состояния жизненных процессов, выходящих за пределы количественных изменений.

При переходе от порога вредного действия к ПДУ целесообразно использовать коэффициенты гигиенического запаса, дифференцированных с учетом категории облучения (профессионалы, непрофессионалы) и биологической активности воздействия.

Оценка интенсивности ЭМП разных диапазонов радиочастот неодинакова. В диапазонах СНЧ, НЧ, СЧ, ВЧ, ОВЧ рабочее место находится в зоне индукции, интенсивность излучения выражается напряженностью электрического и магнитного полей; в диапазонах УВЧ, СВЧ, КВЧ – в волновой зоне, и его воздействие оценивается величиной ППЭ.

Оценка и нормирование ЭМП диапазона частот ≥ 10 -30 кГц осуществляется отдельно по напряженности электрического E и магнитного H полей. В зависимости от времени воздействия, ПДУ напряженности электрического и магнитного полей при влиянии в течение всей смены составляет 500 В/м и 50 А/м соответственно. ПДУ напряженности электрического и магнитного поля при продолжительности воздействия до 2-х часов за смену составляет 1000 В/м и 100 А/м, соответственно.

Оценка и нормирование ЭМП диапазона частот ≥ 30 кГц-300 ГГц осуществляется по величине энергетической экспозиции (ЭЭ).

ПДУ ЭЭ на рабочих местах за смену представлены в таблице 2.18.

Таблица 2.18

ПДУ ЭЭ ЭМП диапазона частот ≥ 30 кГц-300 ГГц

Параметр	ЭЭ _{пду} в диапазонах частот (МГц)				
	$\geq 0,03$ -3,0	$\geq 3,0$ -30,0	$\geq 30,0$ -50,0	$\geq 50,0$ -300,0	$\geq 300,0$ -300000
ЭЭ _Е , (В/м) ² · ч	20000	7000	800	800	-
ЭЭ _Н , (А/м) ² · ч	200	-	0,72	-	-
ЭЭ _{ППЭ} , (мкВт/см ²) · ч	-	-	-	-	200

Максимально допустимые уровни напряженности электрического и магнитного полей, ППЭ не должны превышать значений, представленных в таблице 2.19.

Таблица 2.19

Максимальные ПДУ напряженности и плотности потока энергии ЭМП
диапазона частот ≥ 30 кГц-300 ГГц

Параметр	Максимально допустимые уровни в диапазонах частот (МГц)				
	$\geq 0,03$ -3,0	$\geq 3,0$ -30,0	$\geq 30,0$ -50,0	$\geq 50,0$ -300,0	$\geq 300,0$ -300000
Е, В/м	500	300	80	80	-
Н, А/м	50	-	3,0	-	-
ППЭ, мкВт/см ²	-	-	-	-	1000

					5000 *
--	--	--	--	--	--------

* для условий локального облучения кистей рук.

Измерения уровней ЭМП проводится для всех рабочих режимов установок при максимальной используемой мощности. Не подлежат контролю используемые в условиях производства источники ЭМП, если они не работают на открытый волновод, антенну или другой элемент, предназначенный для излучения в пространство, и их максимальная мощность, согласно паспортным данным, не превышает: 5,0 Вт – в диапазоне частот ≥ 30 кГц–3 МГц; 2,0 Вт – в диапазоне частот ≥ 3 МГц–30 МГц; 0,2 Вт – в диапазоне частот ≥ 30 МГц–300 ГГц.

Контроль интенсивности ЭМП в случае локального облучения рук персонала следует дополнительно проводить на уровне кистей, середины предплечья.

В диапазоне частот ≥ 30 кГц–3 МГц и 30–50 МГц учитываются ЭЭ, создаваемые как электрическим (ЭЭ_Е), так и магнитным полями (ЭЭ_Н), при этом суммарный индекс поля не должен превышать 1:

$$\frac{\text{ЭЭ}_E}{\text{ЭЭ}_{E_{\text{ПДУ}}}} + \frac{\text{ЭЭ}_H}{\text{ЭЭ}_{H_{\text{ПДУ}}}} \leq 1. \quad (2.13)$$

При облучении от нескольких источников ЭМП, работающих в частотных диапазонах, для которых установлены разные ПДУ, должны соблюдаться следующие условия:

$$\frac{\text{ЭЭ}_{E_1}}{\text{ЭЭ}_{E_{\text{ПДУ}_1}}} + \frac{\text{ЭЭ}_{E_2}}{\text{ЭЭ}_{E_{\text{ПДУ}_2}}} + \dots + \frac{\text{ЭЭ}_{E_n}}{\text{ЭЭ}_{E_{\text{ПДУ}_n}}}, n > 1; \quad (2.14)$$

$$\frac{\text{ЭЭ}_E}{\text{ЭЭ}_{E_{\text{ПДУ}}}} + \frac{\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}}}{\text{ЭЭ}_{\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}}}} \leq 1. \quad (2.15)$$

При облучении работающего от нескольких источников ЭМП РЧ, для которых установлены единые ПДУ, ЭЭ за рабочий день определяется путем суммирования ЭЭ, создаваемые каждым источником.

Измерения в каждой точке проводятся на высоте 0,5; 1,0 и 1,7 м (рабочая поза «стоя») и 0,5; 1,0 и 1,4 м (рабочая поза «сидя») от пола (опорной поверхности). Определяющим в данной точке является максимальное измеренное значение интенсивности ЭМИ РЧ.

Для измерения интенсивности ЭМП в диапазоне частот до 300 МГц используются приборы, предназначенные для определения среднеквадратического значения напряженности электрического и (или) магнитного полей. Для измерений уровней ЭМП в диапазоне частот ≥ 300 МГц-

300 ГГц используются приборы, предназначенные для оценки средних значений плотности потока энергии (рисунок 2.21).



Рисунок 2.21 – Приборы для измерения интенсивности ЭМП радиочастотного диапазона: а – измеритель плотности потока энергии ПЗ-33М; б – измеритель параметров электромагнитных полей ПЗ-31

Отнесение условий труда к тому или иному классу вредности и опасности при воздействии ЭМП радиочастотного диапазона осуществляется в соответствии с таблицей 2.20.

Таблица 2.20

Классы условий труда при действии ЭМП радиочастотного диапазона

Показатель	Класс условий труда						
	оптимальный	допустимый	вредный				опасный
	1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
ЭМИ радиочастотного диапазона	Превышение ПДУ (раз)						
0,01-0,03 МГц	естественный фон	$\leq$ ПДУ	≤ 5	≤ 10	> 10	-	-
0,03-3,0 МГц	естественный фон	$\leq$ ПДУ	≤ 5	≤ 10	> 10	-	-
3,0-30,0 МГц	естественный фон	$\leq$ ПДУ	≤ 3	≤ 5	≤ 10	> 10	-
30,0-300,0 МГц	естественный фон	$\leq$ ПДУ	≤ 3	≤ 5	≤ 10	> 10	> 100
300,0-300,0 ГГц	естественный фон	$\leq$ ПДУ	≤ 3	≤ 5	≤ 10	> 10	> 100

Организация и проведение защитных и профилактических мероприятий требует, прежде всего, наличия научно обоснованных гигиенических норм облучения и специальной радиоизмерительной аппаратуры, с помощью которой

можно определить электромагнитные излучения на рабочих местах и необходимость проведения тех или иных защитных мероприятий.

1. *Организационные мероприятия.* Предусматривают как при проектировании, так и на действующих объектах оптимальные взаимные расположения облучающих и облучаемых объектов, разработку режимов труда и отдыха, при которых возможны снижения до минимума времени нахождения людей под облучением и предотвращение попадания людей в зоны с высокой напряженностью ЭМП.

2. *Инженерно-технические мероприятия,* в т.ч. средства коллективной и индивидуальной защиты. Электрогерметизация элементов схем, блоков, узлов, установки в целом с целью снижения или устранения электромагнитного излучения; защита рабочего места от облучения или удаление его на безопасное расстояние от источника излучения; применение индивидуальных средств защиты (стационарные и переносные экранирующие устройства, экранирующая одежда).

3. *Лечебно-профилактические мероприятия.* В целях предупреждения и раннего обнаружения изменений состояния здоровья все лица, профессионально связанные с обслуживанием и эксплуатацией источников ЭМП РЧ проходят предварительный при поступлении на работу и периодические (1 раз в 2 года) профилактические медосмотры.

Электромагнитные поля промышленной частоты

ЭМП промышленной частоты являются частью сверхнизкочастотного диапазона радиочастотного спектра, наиболее распространенной как в производственных условиях, так и в условиях быта. Диапазон промышленных частот представлен в нашей стране частотой 50 Гц. В пространстве ЭМП распространяется в виде электромагнитной волны, основными параметрами которой являются длина волны λ – расстояние, на которое распространяется волна за один период (T), частота (f) – число периодов колебаний за 1 с, скорость распространения (c) равная λ/T (108 м/с).

Поскольку длина волны при частоте 50 Гц составляет 6000 км, человек подвергается воздействию фактора в ближней зоне, гигиеническая оценка ЭМП промышленной частоты осуществляется отдельно по электрическому и магнитному полям.

Основными источниками ЭМП промышленной частоты, создаваемых в результате деятельности человека, являются различные типы производственного и бытового электрооборудования переменного тока, в первую очередь подстанции и воздушные линии электропередачи (ЛЭП) сверхвысокого напряжения, открытые распределительные устройства (ОРУ). Расстояния, на которые распространяются ЭМП промышленной частоты достигают десятков

метров. Чем выше класс напряжения ЛЭП, тем больше зона повышенного уровня электрического поля, при этом размеры зоны не изменяются в течение времени работы ЛЭП. Непрерывно изменяющиеся нагрузка линии и величина протекающего тока влекут за собой изменение размера зоны влияния магнитного поля. Ремонтные работы на ЛЭП и ОРУ выполняются в условиях повышенной напряженности электрического и магнитного полей. В зависимости от характера проводимых работ (строительные, монтажные, наладочные) время облучения персонала может составлять от нескольких минут до нескольких часов за смену.

На рабочих местах источниками ЭМП промышленной частоты являются силовое и электrorаспределительное оборудование, трансформаторы, электропечи и электротехническое оборудование промышленного, научного и медицинского назначения.

Мощным источником магнитного поля в диапазоне 0-1000 Гц является транспорт на электрической тяге – электропоезда, вагоны метрополитена, троллейбусы, трамваи и т.п.

Взаимодействие внешних ЭМП с биологическими объектами происходит путем наведения внутренних полей и электрических токов, величина и распределение которых в теле человека зависит от ряда параметров – размер, форма, анатомическое строение тела, электрические и магнитные свойства тканей (диэлектрическая и магнитная проницаемость и удельная проводимость), ориентация тела относительно векторов электрического и магнитного полей, характеристик ЭМП (частота, интенсивность, модуляция, поляризация и др.). Низкочастотные электрическое и магнитное поля создают в теле человека наведенные токи (рисунок 2.22).

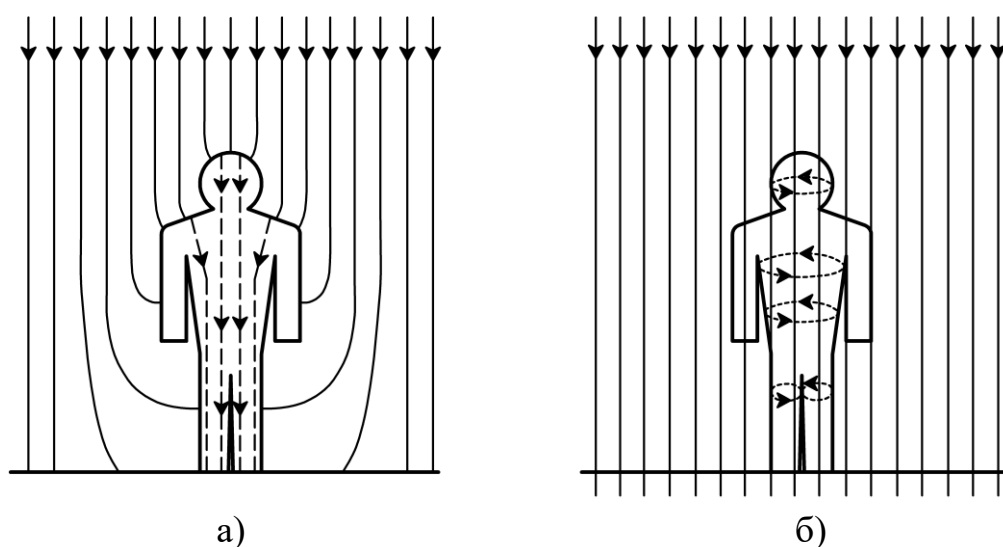


Рисунок 2.22 – Схема взаимодействия электрического (а) и магнитного (б) полей с телом человека

Основную опасность для организма представляет влияние наведенного электрического тока на возбудимые структуры (нервная, мышечная ткань). Параметром, определяющим степень воздействия, является *плотность наведенного в теле вихревого тока*. При этом для электрического поля характерно слабое проникновение в тело человека, для магнитного поля организм практически прозрачен. Основным механизмом биологического действия магнитного поля являются вихревые токи, которые индуцируются им в теле человека. При этом реакции организма имеют неспецифический характер, проявляющийся в возникновении изменений функционального состояния нервной, сердечно-сосудистой, иммунной систем.

Гигиеническая регламентация ЭМП промышленной частоты осуществляется отдельно для электрического и магнитного полей. Нормируемым параметром электрического поля является его напряженность E , В/м, магнитного поля – его напряженность H , А/м, или магнитная индукция B , мкТл, при этом $1 \text{ А/м} \approx 1,25 \text{ мкТл}$, $1 \text{ мкТл} \approx 0,8 \text{ А/м}$. Нормирование ЭМП промышленной частоты на рабочих местах персонала дифференцировано в зависимости от времени пребывания в ЭМП.

ПДУ напряженности электрического поля промышленной частоты на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м. При напряженностях в интервале от 5 до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания в электрическом поле T , ч, рассчитывается по формуле:

$$T = \left(\frac{50}{E} \right)^2, \quad (2.16)$$

где E – напряженность электрического поля в контролируемой зоне, кВ/м.

Время пребывания персонала в течение рабочего дня в зонах с различной напряженностью электрического поля $T_{\text{пр}}$, ч, вычисляют по формуле:

$$T_{\text{пр}} = 8 \left(\frac{tE_1}{TE_1} + \frac{tE_2}{TE_2} + \dots + \frac{tE_n}{TE_n} \right), \quad (2.17)$$

где tE_1, tE_2, tE_n – время пребывания в контролируемых зонах с напряженностью $E_1, E_2, \dots, E_n$, ч; TE_1, TE_2, TE_n – допустимое время пребывания для соответствующих контролируемых зон, ч. Количество контролируемых зон определяется перепадом уровней напряженности электрического поля на рабочем месте. Различие в уровнях напряженности электрического поля контролируемых зон устанавливается 1 кВ/м.

ПДУ напряженности магнитного поля промышленной частоты устанавливаются для условий общего (на все тело) и локального (на конечности) воздействия (таблица 2.21).

Таблица 2.21

ПДУ воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания (час)	Допустимые уровни магнитного поля, H [А/м] / B [мкТл] при воздействии	
	общем	локальном
≤ 1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

Отнесение условий труда к тому или иному классу вредности и опасности при воздействии ЭМП промышленной частоты осуществляется в соответствии с таблицей 2.22.

Таблица 2.22

Классы условий труда при действии ЭМП промышленной частоты

Показатель	Класс условий труда						
	оптимальный	допустимый	вредный				опасный
	1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
	Превышение ПДУ (раз)						
Электрические поля промышленной частоты (50 Гц)	естественный фон	$\leq$ ПДУ	≤ 5	≤ 10	> 10	-	> 40
Магнитные поля промышленной частоты (50 Гц)	естественный фон	$\leq$ ПДУ	≤ 5	≤ 10	> 10	-	-

Для контроля уровней ЭМП промышленной частоты используются расчетные методы и инструментальные измерения.

Расчетные методы используются при проектировании новых и реконструкции действующих энергообъектов высокого, сверхвысокого, ультравысокого напряжения, а также для условий выполнения работ под напряжением. При расчетах на основании учета технических характеристик строят общие профили напряженностей электрического и магнитного полей с использованием усовершенствованных программ.

Для действующих объектов контроль электрического и магнитного полей промышленной частоты осуществляется посредством инструментальных измерений приборами направленного действия (однокоординатными) и оснащенными изотропными датчиками и др. (рисунок 2.23).



а)



б)

Рисунок 2.23 – Приборы для измерения параметров ЭМП промышленной частоты: а – измеритель параметров ЭМП промышленной частоты ВЕ-50; б – измеритель напряженности ЭМП промышленной частоты ПЗ-50

Контроль за электромагнитной обстановкой осуществляется на рабочих местах персонала, обслуживающего электроустановки переменного тока (ЛЭП, распределительные устройства и др.), электросварочное оборудование, высоковольтное электрооборудование промышленного, научного и медицинского назначения и др. во всех зонах возможного нахождения человека при выполнении им работ. Измерения уровней ЭМП промышленной частоты на рабочих местах осуществляется после выведения работника из зоны контроля. Измерения напряженности электрического и магнитного полей частотой 50 Гц проводят на высоте 0,5; 1,5 и 1,7 м от поверхности земли, пола помещения или площадки обслуживания оборудования и на расстоянии 0,5 м от оборудования и конструкций, стен зданий и сооружений.

При разработке профилактических мероприятий используют *принцип «защиты расстоянием»* – создание санитарных разрывов и строгое соблюдение требований, регламентирующих их использование. При организации работы в пределах санитарных разрывов для снижения уровня напряженности электрического поля промышленной частоты движущиеся машины и механизмы оснащают надежным электрическим контактом с землей, защитными экранами и козырьками, при проведении строительно-монтажных работ протяженные металлические изделия заземляют в местах работы и не менее чем в двух точках в разных местах. Здания защищают заземленным экраном.

На действующих объектах, в основном, реализуется *принцип «защиты временем»*. В действующих нормативно-методических документах ограничивается продолжительность пребывания работника в условиях воздействия ЭМП промышленной частоты.

Инженерно-технические мероприятия должны обеспечивать снижение уровней ЭМП на рабочих местах путем внедрения новых технологий и применения средств коллективной и индивидуальной защиты (когда

фактические уровни ЭМП на рабочих местах превышают ПДУ, установленные для производственных воздействий).

Коллективные средства защиты от электрического поля промышленной частоты подразделяют на *стационарные* (различные заземленные металлические конструкции – щитки, козырьки, навесы) и *передвижные* (съемные экраны).

Средства защиты работающих от воздействия магнитного поля промышленной частоты могут быть выполнены в виде *пассивных* или *активных экранов*.

Эффективность средств защиты определяется по степени ослабления интенсивности ЭМП, выражающейся *коэффициентом экранирования* (коэффициент поглощения или отражения), и должна обеспечивать снижение уровня излучения до безопасного в течение времени, определяемого назначением изделия.

Постоянное магнитное поле

Постоянное магнитное поле (ПМП) создается постоянным электрическим током или веществами, имеющими свойства постоянных магнитов. Основными физическими параметрами, характеризующими ПМП, являются магнитная индукция B , Тл, напряженность магнитного поля H , А/м, магнитный поток Φ , Вб.

Применение ПМП в технологических процессах основано на том, что магнитное поле взаимодействует практически со всеми веществами. Наиболее сильное взаимодействие оказывает ПМП на ферромагнитные материалы, которые, подвергаясь его влиянию, сами становятся источниками ПМП, т.е. намагничиваются (производство постоянных магнитов, запоминающие логические устройства в вычислительной технике и др.).

В ПМП происходит изменение направления движения и скорости заряженных частиц под действием так называемых сил Лоренца. На этом свойстве основано применение магнитов в электродвигателях и генераторах постоянного тока, в магнетронах (СВЧ-генераторах), в устройствах фокусировки электронного луча и электронно-оптических приборах, в магнитных бесконтактных муфтах. На том же свойстве основано применение магнитов в электромагнитной защите от проникающих излучений, в том числе космических.

Постоянные магниты представляют собой намагниченные заготовки из ферромагнитных материалов и подразделяются на литые и керамические. *Литые* представляют собой намагниченные слитки ферромагнитных сплавов (обычно сталь с добавками кобальта или никеля). *Керамические* изготавливаются путем спекания или прессования порошка, содержащего наполнитель (окись бария, двуокись кремния) и ферромагнитные вещества (железная окалина, никель,

кобальт). Создаются магниты и из соединений редкоземельных элементов с кобальтом, которые находят широкое применение в приборостроении.

Поле постоянных магнитов является фактором производственной среды при их изготовлении, в контроле качества, сборке магнитных систем из отдельных магнитов, монтаже различных устройств с магнитными деталями (генераторов и двигателей постоянного тока, измерительных приборов). Из постоянных магнитов изготавливают магнитные плиты для крепления деталей некоторых типов шлифовальных станков.

Электромагниты используются при изготовлении постоянных магнитов (в составе устройств для намагничивания). Широко распространено применение приспособлений из электромагнитов для крепления деталей в металлообработке. Электромагниты используются в качестве шайб подъемных кранов, в магнитных сепараторах, в устройствах фокусировки электронного луча.

С магнитным полем взаимодействуют также парамагнитные и диамагнитные вещества, к которым относится большинство природных веществ. Это свойство используется при магнитной обработке воды для предотвращения накипи в котлах и улучшения качества бетона, при исследовании веществ методами ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), а также в физиотерапевтической практике. В установках магнитного резонанса, пациенты подвергаются воздействию ПМП до 2 Тл и более.

Взаимодействие движущихся зарядов с МП обуславливает магнитогидродинамический эффект, на основе которого происходит выработка электроэнергии в магнитогидродинамическом (МГД) генераторе. Персонал, обслуживающий МГД-генераторы и термоядерные устройства, подвергается воздействию ПМП до 50 мТл.

Помимо электромагнитов и постоянных магнитов, источниками ПМП являются электролизные ванны (электролизеры), линии передачи постоянного тока (до 20 мкТл), шинопроводы и другие электротехнические устройства, по которым течет постоянный ток. Высокие уровни ПМП (10-100 Тл) создаются в салонах транспортных средств на магнитной подушке.

Принято считать, что наиболее чувствительными к воздействию ПМП являются системы, выполняющие регуляторные функции (нервная, сердечно-сосудистая).

Изучение биологических эффектов ПМП на млекопитающих и других животных, показало подавление условно-рефлекторной деятельности, снижение импульсации нейронов коры головного мозга с увеличением числа медленных волн и появлением всплеск веретенообразной активности.

В исследованиях, проведенных на добровольцах, выполнявших ряд операторских задач, было показано, что ПМП увеличивало время решения задач, латентные периоды сенсорно-моторных реакций на звук и свет. ПМП вызывают дезактивацию нервных процессов, сопровождающихся определенными морфологическими изменениями по типу деструкции отдельных нервных элементов.

Также были обнаружены депрессивные реакции сердечно-сосудистой системы лабораторных животных на действие ПМП (снижение артериального давления, брадикардия, синусовая аритмия, изменение зубцов ЭКГ и др.) и некоторые морфологические и биохимические нарушения миокарда.

Многочисленные исследования влияния ПМП на другие органы и системы организма свидетельствуют об уменьшении количества эритроцитов и гемоглобина и о волнообразных изменениях в содержании лимфоцитов за счет нейтрофилов во время и после воздействия (100 мТл). Изменяется и свертывающая система крови: ПМП удлиняет время свертывания крови или уменьшает этот показатель.

В экспериментах на животных показано неблагоприятное влияние ПМП на половую функцию животных. Было изучено влияние ПМП на эмбриогенез животных, в результате чего обнаружили, что ПМП вызывает неблагоприятный эффект: увеличение эмбриональной смертности, снижение массы и размеров эмбрионов, увеличение числа плодов с дефектами развития.

Оценка и нормирование ПМП осуществляется дифференцировано в зависимости от времени его воздействия на работника за смену для условий общего (на все тело) и локального (кисти рук, предплечье).

Уровень ПМП оценивают в единицах напряженности магнитного поля (H) в А/м или в единицах магнитной индукции (B) в мТл. ПДУ напряженности (индукции) ПМП на рабочих местах представлены в таблице 2.23.

Таблица 2.23

Значения ПДУ ПМП

Время воздействия за рабочий день	Условия воздействия			
	общее		локальное	
	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл
0-10	24	30	40	50
11-60	16	20	24	30
60-480	8	10	12	15

При необходимости пребывания персонала в зонах с различной напряженностью (индукцией) ПМП общее время выполнения работ в этих зонах не должно превышать предельно допустимое для зоны с максимальной напряженностью. Контроль осуществляется на постоянных рабочих местах персонала или в случае отсутствия постоянного рабочего места в нескольких точках рабочей зоны, расположенных на разных расстояниях от источника ПМП при всех режимах работы источника или только при максимальном режиме. Определяющим является наибольшее из всех зарегистрированных значений.

Измерения выполняются при работе источника с максимальной мощностью и после выведения работника из зоны контроля.

Контроль уровней ПМП на рабочих местах не осуществляется при значении B на поверхности магнитных изделий ниже ПДУ.

Измерения проводят на высоте 0,5; 1,0 и 1,7 м (рабочая поза «стоя») и 0,5; 0,8 и 1,4 м (рабочая поза «сидя») от опорной поверхности.

Контроль уровней ПМП для условий локального воздействия производится на уровне конечных фаланг пальцев кистей, середины предплечья, середины плеча. В случае непосредственного контакта рук человека измерения магнитной индукции ПМП производятся путем непосредственного контакта датчика средства измерения с поверхностью магнита.

Для измерения магнитных полей промышленной частоты используются измеритель напряженности магнитного поля, измеритель магнитной индукции промышленной частоты и др. (рисунок 2.24).



Рисунок 2.24 – Измеритель магнитной индукции ИМП-2

Отнесение условий труда к тому или иному классу вредности и опасности при воздействии ПМП осуществляется в соответствии с таблицей 2.24.

Таблица 2.24

Классы условий труда при действии ПМП

Показатель	Класс условий труда			
	оптимальный	допустимый	вредный	опасный

	1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
	Превышение ПДУ (раз)						
ПМП	естественный фон	$\leq$ ПДУ	≤ 5	> 5	-	-	-

Защита от воздействия ПМП сводится к защите расстоянием и экранированию. Экран следует изготавливать из магнитомягких материалов, причем он должен быть замкнутым. Вместе с тем, ПМП быстро убывает по мере удаления от источника. Вот почему при работах с постоянными магнитами, магнитными дефектоскопами, станками с магнитным креплением обрабатываемых деталей защита в ряде случаев сводится к выведению работающего из зоны повышенного магнитного поля.

В различных электромагнитных устройствах возможно применение дистанционного управления (магнитные дефектоскопы и другие источники ПМП, магнитоимпульсные установки – МИУ и электрогидравлические установки – ЭГУ). Если невозможно дистанционное управление МИУ и ЭГУ, предлагается снижать напряженность поля при помощи экранирования установки или рабочего места.

Установки для намагничивания и размагничивания следует обесточивать при внесении в них деталей; наилучшим решением при этом является автоблокировка. На участках с магнитными установками и материалами надо избегать появления дополнительных источников ПМП. Для этого легко намагничивающиеся (магнитомягкие) материалы следует располагать не ближе 1 м от имеющихся источников ПМП.

Лечебно-профилактические мероприятия направлены на выявление признаков неблагоприятного воздействия ПМП. При приеме на работу учитываются медицинские противопоказания. Периодичность медицинских осмотров устанавливается 1 раз в 2 года. Стажированные работники раз в 5 лет проходят обследования в Центрах профпатологии.

Электростатическое поле

Электростатические поля (ЭСП) наиболее распространенный класс стационарных физических полей в энергетических установках и электротехнических процессах. В зависимости от источников образования они могут существовать в виде собственно ЭСП (поле неподвижных зарядов) или стационарного электрического поля (электрическое поле постоянного тока).

Под *статической электризацией* принято понимать возникновение избытка электрических зарядов одного знака на поверхности проводника при проведении операций, связанных с относительным перемещением двух тел, находящихся в тесном контакте. В процессе электризации при достижении определенной плотности зарядов на диэлектрике начинает появляться силовое

взаимодействие между отдельными частями перерабатываемого материала, нарушающее нормальный ход технологического процесса. При этом максимальная величина зарядов, возникающих на диэлектриках и изолированных проводниках, ограничивается электрической прочностью воздуха, при повышении которой происходит искровой разряд статического электричества.

Электростатическое поле – вид материи, посредством которой осуществляется связь и взаимодействие между электрическими зарядами – телами, имеющими электрический заряд. Основные параметры, характеризующие ЭСП: напряженность поля и потенциал его отдельных точек.

Напряженность ЭСП – векторная величина, определяемая отношением силы F , Н, действующей в поле на точечный заряд, к величине этого заряда q , Кл:

$$E = \frac{F}{q}. \quad (2.18)$$

Единица напряженности ЭСП – вольт на метр (В/м). Величина и конфигурация ЭСП обусловлена характером распределения заряда по поверхности или в объеме наэлектризованного тела, его электропроводностью и геометрическими размерами.

Энергетические характеристики ЭСП определяются *потенциалами точек поля*. Потенциал любой точки электростатического поля равен энергии, которую необходимо затратить для того, чтобы переместить единицу электрического заряда одного знака с зарядом, создаваемым электрическим полем из бесконечности в данную точку поля. При этом потенциал (φ) бесконечно удаленных точек принимается равным нулю.

Обычно за поверхность нулевого потенциала принимают поверхность земли и проводящие тела, связанные с землей. Практической единицей потенциала является вольт (В).

Поверхности, расположенные в пространстве, окруженном электростатическими зарядами, на которых потенциалы всех точек равны, называются *поверхностями равного потенциала* или *эквипотенциальными*.

Величина потенциала определяется зарядом и электрической емкостью тела:

$$\varphi = \frac{q}{c}, \quad (2.19)$$

где q – заряд, Кл; c – электрическая емкость, Ф.

Электрическая емкость тела (c) зависит от геометрических параметров заряженного объекта, от расстояния до поверхности земли или другой поверхности нулевого потенциала окружающей среды, где существует ЭСП.

Совокупность неподвижных электрических зарядов и образованного ими поля называется *статическим электричеством*.

Практическое использование ЭСП в производственных процессах находит широкое применение: электрогазоочистка, электростатическая сепарация руд и материалов, электростатическое нанесение лакокрасочных и полимерных материалов, электроворсование и др.

Источниками ЭСП также является оборудование, накапливающее электростатические заряды вследствие электризации перерабатываемого продукта при изготовлении, обработке и транспортировке диэлектрических материалов в текстильной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, химической и других отраслях промышленности. Человек может подвергаться воздействию ЭСП при изготовлении и эксплуатации полупроводниковых микросхем и приборов, эксплуатации изделий из полимерных материалов, при эксплуатации и ремонтно-профилактическом обслуживании энергосистем постоянного тока высокого напряжения (электроустановки, распределительные устройства и линии электропередачи), при эксплуатации вычислительной и множительной техники.

Текстильная промышленность. Электростатические помехи в текстильном производстве обусловлены широким использованием химических волокон, обладающих высокими диэлектрическими свойствами и интенсификацией процессов их переработки. Образование электростатических зарядов вследствие электризации текстильных волокон наблюдается практически по всему технологическому циклу. Причиной возникновения электростатических зарядов в прядении и ткачестве является трение и контакт нитей между собой и нитепроводящей гарнитурой. Уровни напряженности электростатического поля на различных видах прядильного и ткацкого оборудования достигают 20-60 кВ/м и выше. Наиболее интенсивная генерация электростатических зарядов отмечается в отделочном производстве и на сушильно-ширильных, термофиксационных, печатных и других машинах. Основные места образования электростатических зарядов – каландр, накат и направляющие валики. Уровни напряженности ЭСП могут превышать 120-160 кВ/м.

Деревообрабатывающая промышленность. Специфической особенностью технологического процесса в данной отрасли является использование древесины низкой влажности, электрофизические свойства которой определяются высокими значениями диэлектрической проницаемости и удельного электрического сопротивления. Все это способствует значительной электризации изделий из древесины при ее обработке и образованию ЭСП непосредственно в рабочей зоне. Основным опасным электростатическим

оборудованием являются шлифовальные станки различных модификаций и полировальные станки. Уровни напряженности ЭСП могут быть до 120-140 кВ/м.

Целлюлозно-бумажная промышленность. При проведении технологического процесса основа для выпуска бумаги (целлюлоза, канифоль, парафин, древесная масса и др.) подвергается механической обработке в виде давления, перемещения и других операций, обуславливающих возникновение электростатических зарядов. Основные операции, где наблюдается электризация: сушка, отделка и намотка бумаги в рулоны; каландрирование бумаги; перематка бумаги на сортировочных станках. Наиболее интенсивная генерация электростатических зарядов имеет место при сходе полотна с холодного цилиндра и намотки в рулоны. Уровни напряженности ЭСП находятся в диапазоне 60-150 кВ/м.

Химическая промышленность. ЭСП образуются при производстве бумажного пластика, линолеума, шинного корда, полистирольных пленок; уровни напряженности ЭСП составляют 240-500 кВ/м. В процессе обработки пластмассовых застежек «молний» выявлены напряженности ЭСП от единиц до сотен кВ/м. Уровни напряженности на пультах управления при электростатической окраске изделий в изолированных камерах достигают 10 кВ/м. При строительстве высоковольтных линий электропередачи постоянного тока напряженностью 400, 750 и 1150 кВ расчетные величины напряженности ЭСП на уровне земли будут составлять 10-50 кВ/м.

Систематическое воздействие на организм человека электростатического поля высокой напряженности может вызвать функциональные изменения со стороны центральной нервной системы, сердечно-сосудистой, нейрогуморальной и других систем организма. Выявляемые у работающих в условиях воздействия ЭСП нарушения носят функциональный характер и протекают по типу астеноневротического синдрома и вегетососудистой дистонии. В симптоматике преобладают субъективные жалобы невротического характера – головная боль, раздражительность, нарушение сна и др. Наряду с неврастеническими жалобами могут быть своеобразные «фобии», связанные с боязнью ожидаемого разряда и удара электричеством.

Оценка и нормирование электростатического поля осуществляется по уровню электрического поля дифференцированно в зависимости от времени его воздействия на работника за смену. ЭСП оценивают в единицах напряженности электрического поля (E) в кВ/м.

При воздействии 8 ч за смену ПДУ ЭСП составляет 20 кВ/м; при воздействии ≤ 1 ч за смену – 60 кВ/м.

При воздействии ЭСП более 1 часа за смену определяются предельно допустимые уровни напряженности ЭСП ($E_{пду}$) по формуле:

$$E_{пду} = \frac{60}{\sqrt{t}}, \quad (2.20)$$

где t – время воздействия, ч.

Измерение напряженности ЭСП проводится на постоянных рабочих местах и в местах возможного нахождения людей у электризованных поверхностей. В случае отсутствия постоянного рабочего места выбирается несколько точек в пределах рабочей площадки, на которой работник проводит не менее 50 % рабочего времени. При обнаружении превышения ПДУ в зоне нахождения работника необходимо определить расстояние от источника ЭСП, то есть зону безопасных условий труда.

Измерения проводят на высоте 0,5; 1,0 и 1,7 м (рабочая поза «стоя») и 0,5; 0,8 и 1,4 м (рабочая поза «сидя») от опорной поверхности. При гигиенической оценке напряженности ЭСП на рабочем месте определяющим является наибольшее из всех зарегистрированных значений.

Контроль напряженности ЭСП осуществляется посредством средств измерения (рисунок 2.25), позволяющих определять величину E в свободном пространстве: измерители напряженности электростатического поля, измерители напряженности электростатического потенциала.



Рисунок 2.25 – Измеритель напряженности электростатического поля ЭСПИ-301

Отнесение условий труда к тому или иному классу вредности и опасности при воздействии ЭСП осуществляется в соответствии с таблицей 2.25.

Таблица 2.25

Классы условий труда при действии ЭСП

Показатель	Класс условий труда						
	оптимальный	допустимый	вредный				опасный
	1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
	Превышение ПДУ (раз)						

ЭСП	естественный фон	$\leq$ ПДУ	≤ 5	> 5	-	-	-
-----	------------------	------------	----------	-------	---	---	---

Выбор наиболее эффективных мер защиты от ЭСП определяется с учетом реальных условий конкретного производства.

Одним из распространенных средств защиты от статического электричества является уменьшение генерации электростатических зарядов или их отвод с наэлектризованного материала, что достигается:

- заземлением металлических и электропроводных элементов оборудования;
- увеличением поверхностей и объемной проводимости диэлектриков;
- установкой нейтрализаторов статического электричества.

Кроме того, мерами уменьшения напряженности ЭСП в рабочей зоне являются:

- применение антистатических препаратов или увлажнение электризующего материала;
- замена легко электризующихся материалов и изделий на неэлектризующиеся;
- подбор контактирующих поверхностей, исходя из условий наименьшей электризации;
- снижение скорости переработки или транспортирования материалов;
- удаление зон пребывания обслуживающего персонала от источников.

В качестве индивидуальных средств защиты применяется антистатическая обувь, антистатические халаты и другие средства, обеспечивающие электростатическое заземление тела человека.

В целях предупреждения и раннего обнаружения изменений состояния здоровья все лица, профессионально связанные с обслуживанием и эксплуатацией источников ЭСП проходят предварительный при поступлении на работу и периодические (1 раз в 2 года) медосмотры. Учитываются медицинские противопоказания к работе в соответствии с действующими приказами.

Геомагнитное поле

Геомагнитное поле (ГМП) – это магнитное поле Земли, создаваемое в основном действием источников, расположенных внутри Земли, а также в магнитосфере и ионосфере.

Интенсивность геомагнитного поля может быть оценена в единицах напряженности (А/м) или магнитной индукции (мкТл). Кроме них для характеристики ГМП в литературе часто используются такие единицы как Эрстед (Э), Гаусс (Гс), гамма (γ). Эти единицы связаны между собой следующими соотношениями:

$$1 \text{ мкТл} \approx 0,8 \text{ А/м}, 1 \text{ Э} \approx 1 \text{ Гс},$$

$$1 \text{ Гс} \approx 10^{-4} \text{ Тл} \approx 100 \text{ мкТл},$$

$$1 \gamma \approx 10^{-5} \text{ Гс} \approx 10^{-9} \text{ Тл} \approx 1 \text{ нТл}$$

Величина ГМП может изменяться на поверхности Земли от 26 мкТл (в районе Рио-де-Жанейро) до 68 мкТл (вблизи географических полюсов), достигая максимумов в районах магнитных аномалий (Курская аномалия до 190 мкТл). На основное магнитное поле Земли наложено переменное магнитное поле (главным образом порожденное токами, текущими в ионосфере и магнитосфере), величина которого хотя и не превышает 4-5 % главного поля, но информационное влияние может быть значительным.

Гипогеомагнитное поле (ГГМП) – это магнитное поле внутри обычного или экранированного помещения, которое определяется суперпозицией магнитных полей, создаваемых ослабленным геомагнитным полем, полем от ферромагнитных частей конструкции помещений, полем постоянного тока, протекающего по шинам или отдельным частям конструкции.

Основные показатели ГГМП:

- направленность вектора постоянного магнитного поля внутри помещения H_B ;
- коэффициент ослабления геомагнитного поля K_r :

$$K_r = \frac{H_0}{H_B}, \quad (2.21)$$

где H_0 – напряженность модуля вектора геомагнитного поля, измеренная в направлении магнитного меридиана Север-Юг в конкретной точке открытого пространства на высоте 1,5-1,7 метра от земной поверхности или по магнитным картам Земли.

Ослабленное магнитное поле Земли, является неблагоприятным фактором производственной среды при работе в экранированных помещениях в радиотехнической, радиоэлектронной, авиационной промышленности, на гражданских и военных объектах радиосвязи и радиолокации, в подземных сооружениях (хранилищах, бункерах, шахтах, помещениях метрополитена), в зданиях из железобетонных конструкций, в средствах наземного, водного и воздушного транспорта гражданского и военного назначения и др.

Коэффициенты ослабления геомагнитного поля на различных объектах представлены в таблице 2.26.

Таблица 2.26

Ослабление ГМП на различных объектах

Объекты	Коэффициент ослабления
Специализированные экранированные сооружения	1,5-18

Подземные сооружения гражданского назначения (метрополитен и др.)	2-10
Заглубленные фортификационные сооружения и спецобъекты	10-100
Здания из железобетонных конструкций	1,3-2,5
Останкинская телебашня (служебные помещения)	1,5-2,3
Останкинская телебашня (кабины скоростных лифтов)	15-24
Банки (служебные помещения)	2-4
Средства наземного, водного и воздушного транспорта военного назначения	1,5-10
Кабины экскаваторов и буровых установок	1,8-8,5
Салон легкового автомобиля	1,2-4,0

В производственных условиях экранированные помещения используются:

– для изоляции внешней среды от ЭМП радиочастотного диапазона, создаваемых оборудованием, размещенным внутри помещения (экранированные помещения специального назначения);

– для изоляции внутренней среды помещения от воздействия ЭМП радиочастотного диапазона, создаваемых источниками, размещенными вне помещения, т.е. как средство защиты чувствительного радиоэлектронного и другого оборудования от внешних электромагнитных воздействий, а также для защиты работников от неблагоприятного влияния ЭМП, создаваемых внешними источниками (коллективные средства защиты: экранирование стен, окон, потолка и пола, и индивидуальные – защитные экранирующие комплекты).

Естественные ЭМП, в том числе и ГМП, могут оказывать неоднозначное влияние на организм человека. С одной стороны, геомагнитные возмущения рассматриваются как экологический фактор риска: имеются данные, свидетельствующие о связи с ними развития ряда неблагоприятных реакций в организме человека. Так, показано, что геомагнитные возмущения могут оказывать десинхронизирующее влияние на биологические ритмы и другие процессы в организме, могут быть основной действующей причиной для модуляции функционального состояния мозга. Отмечена связь между возникновением геомагнитных возмущений и возрастанием числа клинически тяжелых заболеваний (инфарктов миокарда и инсультов), а также числа дорожно-транспортных происшествий и аварий самолетов.

Под влиянием ослабленного ГМП, очевидно, происходит нарушение динамического равновесия между организмом и окружающей средой, в результате чего возникает целый ряд морфофункциональных изменений.

Со стороны центральной нервной системы выявлены признаки дисбаланса основных нервных процессов в виде преобладания торможения, дистонии мозговых сосудов с наличием регуляторной межполушарной асимметрии, отмечено возрастание амплитуды нормального физиологического тремора,

удлинение времени реакции на появляющийся объект в режиме непрерывного аналогового слежения, снижение критической частоты слияния световых мельканий.

Нарушения механизмов регуляции вегетативной нервной системы проявляются в развитии функциональных изменений со стороны сердечно-сосудистой системы в виде лабильности пульса и артериального давления, нейроциркуляторной дистонии гипертензивного типа, нарушения процесса реполяризации миокарда.

Со стороны иммунной системы отмечается снижение общего числа Т-лимфоцитов и уменьшение концентрации антител класса IgG, IgM и IgA.

Измерение и гигиеническая оценка ослабления интенсивности ГМП на рабочем месте проводится следующим образом:

1. Производится измерение интенсивности ГМП на открытом пространстве территории T_0 , где размещается обследуемый объект, помещение, техническое средство, в единицах напряженности магнитного поля (H , А/м). Измерения интенсивности ГМП в открытом пространстве, прилегающем к обследуемому объекту, производятся в 3-х точках, расположенных на расстоянии не менее 10 м от здания и друг от друга на уровнях 1,5 м от поверхности земли. Вычисляется среднее арифметическое значение интенсивности ГМП.

Для измерений интенсивности геомагнитного и ослабленного геомагнитного полей в экранированных помещениях используют приборы, предназначенные для определения величины напряженности магнитного поля H либо вектора магнитной индукции B или комбинированные приборы – измеритель магнитной индукции, милитесламетр портативный модульный трехкомпонентный, измерители напряженности магнитного поля, магнитомер трехкомпонентный малогабаритный и др. (рисунок 2.26).



Рисунок 2.26 – Приборы для измерения параметров ГМП: а – магнитомер трехкомпонентный малогабаритный МТМ-01; б – измеритель параметров электромагнитных полей ПЗ-70/1

2. Производят измерения интенсивности постоянного магнитного поля T_b внутри экранированного объекта, помещения, технического средства на каждом рабочем месте на 3 уровнях от поверхности пола: 0,5, 1,0 и 1,4 м при рабочей позе сидя; 0,5, 1,0 и 1,7 м при рабочей позе стоя.

3. Рассчитывают коэффициент ослабления ГМП (K_0) для каждого рабочего места:

$$K_0 = \frac{T_0}{T_b}. \quad (2.22)$$

Определяющим при расчете коэффициента ослабления ГМП является минимальное из всех зарегистрированных на рабочем месте значений интенсивности ГМП. Временно допустимый уровень (ВДУ) ослабления интенсивности геомагнитного поля при работе в ГГМУ до 2 часов за смену устанавливается равным 4, при работе в ГГМУ более 2 часов за смену устанавливается равным 2.

4. По результатам измерений и расчетов устанавливается класс условий труда при воздействии ослабленного ГМП в соответствии с таблицей 2.27.

Таблица 2.27

Классы условий труда при действии ГМП

Показатель	Класс условий труда						
	оптимальный	допустимый	вредный				опасный
	1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
	Превышение ПДУ (раз)						
ГМП (ослабление)	естественный фон	$\leq$ ВДУ	≤ 5	> 5	-	-	-

Профилактика действия на работников ослабленного ГМП проводится при проектировании, строительстве, реконструкции производственных объектов, включая транспортные и транспортно-технологические средства, жилых и общественных зданий и эксплуатации зданий и сооружений (при проведении комплексных плановых обследований за действующими предприятиями и организациями в части их соответствия санитарным правилам и нормам (СанПиН)).

Принцип защиты временем реализуется таким образом – если коэффициент ослабления ГМП на рабочем месте равен 4, то, соответственно, время пребывания работника в ГГМУ не должно превышать 2-х часов за смену.

Лечебно-профилактические мероприятия направлены на выявление признаков неблагоприятного воздействия ГГМУ. При приеме на работу учитываются медицинские противопоказания. Периодичность медицинских осмотров устанавливается 1 раз в 2 года.

Для повышения адаптационных возможностей организма целесообразно использование комплексов психофизиологической разгрузки, производственной гимнастики и фито- и витаминoproфилактики.

Рекомендуемая литература

1. Безопасность жизнедеятельности. Ч. 3. Основы электробезопасности : курс лекций / В.М. Дмитриев, В.Ф. Егоров, В.Г. Однолько [и др.]. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 80 с.
2. Куренкова Г.В. Электромагнитные поля и излучения в производственных условиях. Вопросы гигиенической оценки и профилактики : учеб. пособие / Г.В. Куренкова ; Иркутский государственный медицинский университет, Кафедра профильных гигиенических дисциплин. – Иркутск : ИГМУ, 2022. – 107 с.
3. Новиков Б.Ю., Колосов Ю.В. Проектирование и расчет систем и средств обеспечения безопасности труда: учеб. пособие / Под ред. Вейко В.П. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 74 с.
4. Радиационная медицина. Ч. I : Основы биологического действия радиации : учеб. пособие / А.Н. Гребенюк, В.И. Легеза, В.И. Евдокимов, Д.А. Сидоров ; под. ред. С.С. Алексанина, А.Н. Гребенюка ; Всерос. центр. экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России. – СПб. : Политехника-сервис, 2013. – 124 с.
5. Электробезопасность в промышленности. Расчет и проектирование : учеб. пособие / Ю.И. Булыгин, И.В. Богданова, И.Н. Лоскутникова, С.Н. Холодова. – Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2013. – 134 с.