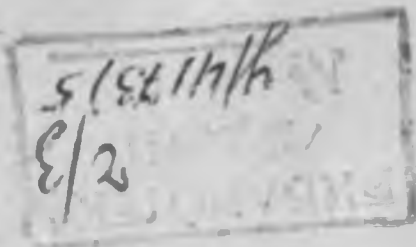

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА В ПРОМЫШЛЕН- НОСТИ

СПРАВОЧНИК





БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА В ПРОМЫШЛЕН- НОСТИ

ББК 30н
604
Б40

Безопасность труда в промышленности/ К. Н. Ткачук,
Б40 П. Я. Галушко, Р. В. Сабарно и др. — К.: Техніка, 1982.—
231 с., ил.

В пер.: 1 р. 30 к. 40000 экз.

В справочнике содержатся необходимые сведения об опасных и вредных производственных факторах, а также основные методы и средства обеспечения безопасности труда на промышленных предприятиях. Описаны физические и биологические характеристики опасных и вредных факторов, принцип их нормирования и расчета, методики исследования количественных и качественных характеристик отдельных опасных и вредных факторов. Приведены нормативные требования, методы и средства организационно-технического характера, с помощью которых возможно обеспечение безопасности труда, методики расчета и определения эффективности защитных средств.

Справочник предназначен для руководящих и инженерно-технических работников промышленных предприятий, научно-исследовательских и проектных институтов, может быть полезен студентам вузов.

2201000000-038
Б М202(04)-82 51.82

ББК 30н
604

Авторы К. Н. Ткачук, П. Я. Галушко, Р. В. Сабарно, А. В. Слонченко,
А. Г. Степанов

Рецензенты канд. техн. наук Ф. Г. Липцын, Ю. С. Паньковский

Редакция литературы по тяжелой промышленности

Зав. редакцией А. Е. Найдек

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года предусматривается осуществить глубокие преобразования в труде, улучшить и облегчить его условия.

Государство полностью обеспечивает средствами и материальными ресурсами осуществление всех мероприятий по улучшению условий труда. По поручению Советского правительства всеобъемлющий надзор и общественный контроль в деле охраны труда осуществляют профессиональные союзы.

Правовая основа охраны труда определяется системой законодательных актов в этой области. Совершенствованием правового обеспечения является разработка и введение в действие Системы стандартов безопасности труда (ССБТ). Эта система предусматривает обязательное включение во все стандарты и технические условия раздела «Требования безопасности». Это будет способствовать решению важной задачи в области охраны труда — от техники безопасности к безопасной технике, — поставленной Л. И. Брежневым на XVI съезде профессиональных союзов.

В развитом социалистическом обществе, где охрана труда является определяющей социальной категорией, отношение инженерно-технических и руководящих работников к практическому осуществлению в производственных условиях мероприятий по охране труда должно служить критерием их гражданской зрелости. При этом следует учитывать и то, что охрана труда является немаловажным экономическим фактором — улучшение условий труда влияет на производительность, качество выпускаемой продукции, уменьшение числа аварий, снижение текучести кадров, снижение травматизма, профзаболеваний и связанных с этим экономических потерь.

Важным фактором в деле повышения безопасности труда в промышленности является обеспечение работников предприятий необходимой справочной литературой.

Задача данного справочника — дать теоретическую и прикладную информацию, которая позволила бы специалисту с учетом специфики производства решать основные вопросы в области обеспечения безопасности труда в промышленности. Материалы в справочнике сгруппированы по отдельным вредным и опасным производственным факторам, по каждому фактору дана оценка его значимости с точки зрения охраны труда. В справочнике приведены основные теоретические положения, включая физическую сущность и единицы измерения, способы и методы выявления и оценки степени вредности и опасности, нормативные данные и требования, обоснование и выбор предупредительных мероприятий и средств защиты индивидуального и коллективного пользования, основные положения расчета допустимых нормативных данных и требования, приведенные в справочнике в соответствии с ССБТ.

Справочник является коллективным трудом, предисловие написано П. Я. Галушко, гл. 1 и 2 — А. В. Слонченко, гл. 3, 6, 7, 8, 12 и 13 — А. Г. Степановым, гл. 4, 9, 10 и 11 — Р. В. Сабарно, гл. 5 — К. Н. Ткачуком. П. Я. Галушко и К. Н. Ткачук принимали участие в подготовке всего справочника. Отзывы и пожелания по книге просим направлять по адресу: 252601, Киев, 1, ГСП, Крещатик, 5, издательству «Техніка».

Раздел I

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ТРУДА

Глава I

ОХРАНА ТРУДА КАК СОЦИАЛЬНАЯ КАТЕГОРИЯ

1.1. СОЦИАЛЬНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ОХРАНЫ ТРУДА

Коммунистическая партия и Советское правительство уделяют большое внимание вопросам охраны труда рабочих и служащих. Воплощаются в практические дела положения Программы КПСС о том, что технический прогресс в народном хозяйстве, развитие техники и совершенствование производства будут использованы для коренного улучшения и облегчения условий труда советского человека, сокращения рабочего дня, ликвидации тяжелого физического и некачественного труда.

В решении задач дальнейшего улучшения охраны труда в народном хозяйстве важное значение имело постановление ЦК КПСС от 30 ноября 1966 г. «Об усилении внимания партийных, хозяйственных и профсоюзных органов к охране труда и технике безопасности в промышленности, строительстве и на транспорте». Оно определило главные направления борьбы за безопасность труда, наметило меры по устранению причин производственного травматизма и профессиональных заболеваний рабочих и служащих. В 1970 г. Верховным Советом СССР утверждены «Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о труде», а также «Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о здравоохранении». С 1971 г. введены новые санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.

Ежегодно государство расходует на охрану труда около 1,5 млрд. р. Растет производство машин, механизмов, приборов, аппаратуры, предназначенных непосредственно для улучшения условий труда, повышения безопасности работающих, расширяется ассортимент и улучшается качество спецодежды и предохранительных приспособлений.

Научно-техническая революция привела к интенсивному росту производства и усложнению техники. Это неизбежно приводит к изменению условий труда. Наряду с автоматизацией и механизацией технологических процессов, благодаря которым устраняется тяжелый физический, ручной труд, все же действуют факторы, в том числе и новые, создающие опасность для здоровья и жизни работающих.

В СССР и других социалистических странах вопросы охраны труда находятся в центре внимания высших государственных, партийных и профсоюзных органов.

Современное производство требует, чтобы безопасность труда рабочих базировалась на научно-технической основе с учетом технического прогресса. Следует отметить, что комплексная механизация и автоматизация производственных процессов, являющиеся основными средствами технического прогресса, имеют не только экономическое, но и огромное социальное значение и отвечают насущным интересам всех трудящихся нашей страны. Забота о здоровье и благосостоянии трудящихся, создание нормальных и безопасных условий труда в СССР являются государственной задачей.

За последние годы осуществлены крупные социально-экономические и технические мероприятия, направленные на совершенствование производства и значительное улучшение условий труда. Однако, несмотря на достигнутые результаты в области охраны труда, все еще существует потенциальная опасность аварий, пожаров, взрывов, отравлений и т. п., предотвращение которых в значительной мере зависит от инженерных решений, заложенных на стадии проектирования.

Научно-исследовательскими и проектными организациями много сделано по упорядочению проектирования: в типовых проектах предприятий предусматриваются внедрение более совершенных технологических процессов и оборудования, высокая степень механизации и автоматизации производственных процессов, ликвидация многих ручных процессов, улучшение условий труда. Работы в области охраны труда должны проводиться в двух направлениях: создание безопасной техники и разработка надежных средств защиты.

1.2. ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ОХРАНЫ ТРУДА

Действующая система правовых норм по охране труда исторически сложилась в годы Советской власти и нашла свое закрепление в Основах законодательства СССР и союзных республик о труде, в отдельных общесоюзных и республиканских законах и правительственных актах, в общих и специальных правилах по организации охраны труда: по технике безопасности и производственной санитарии. Законодательство по охране труда развивалось, главным образом, как законодательство общесоюзное. Так, в порядке общесоюзного законодательства была утверждена единая номенклатура обязательных мероприятий по охране труда, в которых установлены санитарно-гигиенические требования при проектировании промышленных предприятий; принято большинство союзных и отраслевых правил по технике безопасности и производственной санитарии; установлены перечни профессий с вредными условиями труда, для которых предусмотрены сокращенный рабочий день, дополнительный отпуск, спецпитание; перечни профессий и работ с вредными и тяжелыми условиями труда, к которым не допускаются женщины и подростки в возрасте до 18 лет; установлены порядок расследования и правила регистрации несчастных случаев; определены функции и правомочия технической и общественной инспекции по охране труда.

Все большее развитие получает сочетание централизованного общегосударственного регулирования охраны труда с расширением прав союзных республик и развертыванием местной инициативы по улучшению условий труда (в рамках союзных республик, ведомств и отдельных предприятий) *. Эта тенденция находит свое выражение в установлении для всего Советского государства единых основных правил по охране труда, так как они вытекают из единой государственной политики в области технического прогресса и регулирования условий труда и учитывают технологические особенности того или иного производства независимо от места расположения предприятия. Вместе с тем, исходя из необходимости учета местной производственной специфики, советам министров союзных республик предоставлено право дополнять и изменять те или иные нормы и правила, согласовав их предварительно с органом, издававшим и утверждавшим эти нормы, например по согласованию с Государственным комитетом СССР по труду и социальным вопросам и ВЦСПС, изменять и дополнять общесоюзные Типовые отраслевые нормы бесплатной выдачи рабочим и ИТР спецодежды спецобуви и индивидуальных средств защиты.

Среди актов об охране труда, принимаемых правительствами союзных республик, ведущее место занимает постановление об улучшении условий труда для отдельных видов производства, общие мероприятия по улучшению охраны труда, охраны труда учащихся и т. д. Особенность действующего законодательства об охране труда в том, что большинство подзаконных актов утверждается профсоюзами и различными ведомствами по поручению Правительства СССР.

1. Положение о техническом инспекторе профсоюз (в настоящее время — технический инспектор труда), регулирующее государственный надзор за безопасностью работ, состоянием производственной санитарии и соблюдением законодательства по охране труда, утверждено Постановлением Президиума ВЦСПС. Государственный комитет СССР по делам строительства (Госстрой СССР) утверждает санитарные нормы проектирования промышленных предприятий, включающие требования в области производственной санитарии, методические указания по разработке вопросов по технике безопасности и производственной санитарии в проектах организации строительства и проведения работ (СН 222-62).

* Основы законодательства СССР и союзных республик о труде, ст. 60. В дальнейшем по тексту — Ст. Основ.

2. Главный государственный санитарный инспектор СССР утверждает: общие инструкции по санитарному содержанию промышленных предприятий; специальные правила по отдельным производствам и видам работ, а также по предупреждению отдельных профессиональных заболеваний, санитарные нормы проектирования, определяющие предельно допустимое количество вредных примесей в воздухе и др.

3. Государственные комитеты (госинспекции) по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при советах министров союзных республик разрабатывают правила, инструкции и нормы по безопасному ведению горных, взрывных и геологоразведочных работ, а также по качественному изготовлению, монтажу и безопасной эксплуатации котлов, сосудов, работающих под давлением, газопроводов и грузоподъемных механизмов. Эти акты утверждаются правительствами союзных республик по согласованию с ВЦСПС.

4. Госэнергонадзор при Министерстве энергетики и электрификации СССР пользуется правом утверждения правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий.

5. Государственный комитет СССР по труду и социальным вопросам в области охраны труда осуществляет контроль за проведением министерствами и ведомствами мероприятий по улучшению условий труда. Наиболее важные решения комитет принимает совместно с Президиумом ВЦСПС.

Государственным комитетом СССР по труду и социальным вопросам принят и утвержден совместно с ВЦСПС ряд постановлений в области нормативных материалов. Среди них — список производств, цехов, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право на дополнительный отпуск и сокращенный рабочий день *; Инструкция о порядке выдачи, хранения и использовании спецодежды, спецобуви и предохранительными приспособлениями **; Типовые отраслевые нормы бесплатной выдачи спецодежды, спецобуви и предохранительных приспособлений рабочим и служащим, занятым на строительных, строительно-монтажных и ремонтно-строительных работах и др. ***. Эти постановления направлены на улучшение условий труда, упорядочение снабжения рабочих спецодеждой. Проведен пересмотр профессий рабочих и работ, для которых предоставляется сокращенный рабочий день и дополнительный отпуск, бесплатное профилактическое питание и т. д.

Все государственные органы при утверждении правовых актов по охране труда предварительно согласовывают их с соответствующими профсоюзными органами (ВЦСПС или ЦК профсоюзов, если согласовывается отраслевой акт). Аналогичный порядок соблюдается и в союзных республиках в отношении республиканских советов профсоюзов.

Право профсоюзов непосредственно принимать правовые акты вытекает из факта передачи в 1933 г. ВЦСПС ряда функций бывшего Наркомтруда СССР, пользовавшегося правом утверждения правил и норм по охране труда. Правила и нормы по технике безопасности и производственной санитарии устанавливаются соответствующими профсоюзами по согласованию с заинтересованными ведомствами. Это постановление предоставляет право ВЦСПС издавать инструкции, правила и разъяснения по применению действующего законодательства о труде с утверждения или предварительной санкции Правительства СССР. Порядок участия профсоюзов в издании правовых актов по охране труда отличается своей дифференцированностью. В одних случаях ВЦСПС издает акты сам по поручению Правительства СССР или с его санкции ****, а в других — по согласованию с государственными или хозяйственными органами *****. Участие профсоюзов в издании некоторых актов по охране труда

* Постановление Государственного комитета Совета Министров СССР по вопросам труда и заработной платы и Президиума ВЦСПС от 21 ноября 1976 г., № 273/П—20.

** Постановление Государственного комитета Совета Министров СССР по вопросам труда и заработной платы от 11 июня 1960 г., № 786.

*** Постановление Государственного комитета Совета Министров СССР по вопросам труда и заработной платы и Президиума ВЦСПС от 1 июля 1968 г., № 186/П—14.

**** Положение об общественном инспекторе по охране труда, утвержденное Президиумом ВЦСПС от 21.1.44 г.

***** Положение о порядке организации инструктажа и обучения рабочих и служащих по технике безопасности в строительно-монтажных организациях и на предприятиях промышленности строительных материалов, утвержденное Президиумом ЦК профсоюза рабочих строительства и промышленности строительных материалов 27.VI.62 г.

может выражаться и в том, что указанные акты издаются соответствующими государственными органами по согласованию или совместно с профсоюзами.

Принятие профсоюзов ко всем видам нормотворческой деятельности в области охраны труда является обязательным. Права ФЭМК, в том числе и в области регулирования охраны труда, всесторонне отражены в действующем законодательстве (ст. 61 Основ), где указано, что только по согласованию с ФЭМК устанавливаются новые нормы и пересматриваются действующие в связи с внедрением технических и организационных мероприятий по охране труда; устанавливаются перечни профессий рабочих и работ, связанных с вредными условиями труда, дающие право на дополнительный отпуск и сокращенный рабочий день.

В зависимости от сферы применения правила по охране труда разделяются на единые, межотраслевые и отраслевые.

Единые правила (нормы) определяют основные требования по охране труда, по устройству и эксплуатации промышленного предприятия с точки зрения создания технической безопасности и гигиены труда, оздоровления условий труда, предупреждения несчастных случаев и профессиональных заболеваний. Эти нормы и правила едины для всех отраслей народного хозяйства и утверждаются Советом Министров СССР или, по его поручению, другими государственными органами совместно или по согласованию с ВЦСПС.

Межотраслевые правила (нормы) регламентируют безопасность условий труда на тех или иных работах и производствах в разных отраслях народного хозяйства. Для межотраслевых правил, поскольку они в основном являются общесоюзными, установлен единый порядок утверждения.

Отраслевые правила (нормы) по охране труда характеризуются повышением уровня требований по охране труда по сравнению с общими и межотраслевыми нормами, в них объемней регламентируются конкретные проектные и эксплуатационные требования применительно к особенностям данной отрасли с учетом внедрения новой техники и передовой технологии производства. Отраслевые правила и нормы по охране труда утверждаются министерствами и ведомствами, органами государственного надзора совместно или по согласованию с соответствующими профессиональными союзами и распространяются только на те ведомства, предприятия и организации, рабочие и служащие которых объединяются данным профсоюзом (ст. 60 Основ).

Задача отраслевых норм — уточнять уровень требований по охране труда по сравнению с едиными и межотраслевыми нормами, отражать достижения науки и техники в нашей стране, своевременно изменять и дополнять действующие правила и нормы, направленные на повышение безопасности труда.

Решению указанных задач отраслевых норм способствуют инструкции по технике безопасности и производственной санитарии для отдельных профессий, разрабатываемые и утверждаемые администрацией предприятия. Интерес представляет предложенная Ленинградским институтом охраны труда схема, которой предусмотрены следующие разделы: общие положения, территория и помещения предприятия; расположение оборудования, сооружений и рабочих мест; требования по безопасной эксплуатации оборудования и сооружений; индивидуальные защитные средства и спецодежда работающих; особый порядок допуска рабочих к отдельным видам работ при условии отражения в отраслевых правилах только специфических требований, связанных с особенностью данной отрасли промышленности и данного вида производства.

Большое значение в создании здоровых и безопасных условий труда имеет стандартизация. Она позволяет принять действенные меры по повышению технического уровня и упорядочению разработки нормативно-технической документации по безопасности труда.

В нашей стране с 1972 г. создается Система стандартов по безопасности труда (ССБТ), которая представляет собой комплекс взаимосвязанных стандартов, направленных на обеспечение безопасности труда. Эта система устанавливает общие требования и нормы по видам опасных и вредных производственных факторов, общие требования безопасности к производственному оборудованию и процессам, требования к средствам защиты работающих, методы оценки безопасности труда.

Кроме того, во все стандарты, за исключением общетехнических и организационных, должен быть включен раздел «Требования безопасности», в котором даются конкретные требования безопасности к конструкциям: устройству ограждений подвижных и опасных элементов; блокировка включений при нерабочем и аварийном поло-

жениях; фиксация и крепление подвижных органов при ремонте, в нерабочем состоянии и при транспортировании; обеспечение ограничителями хода и концевыми выключателями подвижных элементов и др. В этом разделе приводятся требования по обеспечению нормальных санитарно-гигиенических условий на объекте стандартизации (вентиляция, пылеподавление и др.), а также требования электро-, пожаро- и взрывобезопасности, эргономические требования по обеспечению удобства при запуске по управлению и обслуживанию изделий, их окраске в соответствии с требованиями технической эстетики, методы и средства оценки параметров опасности или вредности и т. п.

Наряду с техническими нормами по технике безопасности и производственной санитарии действующее законодательство об охране труда регламентирует и организационные вопросы охраны труда, главные из которых — планирование и финансирование мероприятий по технике безопасности и производственной санитарии, права и обязанности должностных лиц, администрации предприятия, инструктаж и обучение работающих безопасным приемам труда, расследование и учет несчастных случаев. Основной правовой формой планирования охраны труда являются соглашения на охране труда — одна из составных частей приложения к коллективному договору. На них полностью распространяется коллективно-договорный режим в части сроков заключения соглашений, порядка обсуждения проектов соглашений, контроля за выполнением обязательств администрации и т. п. В процессе заключения соглашений возникает ряд организационно-правовых вопросов о разграничении отдельных пунктов мероприятий по источникам финансирования; о возложении ответственности за выполнение отдельных пунктов соглашения на отделы, службы или на конкретных должностных лиц; правовые последствия невыполнения отдельных пунктов соглашения*.

В настоящее время действует типовая сводная номенклатура мероприятий по охране труда,** содержащая специальные мероприятия по обеспечению безопасности труда при эксплуатации тех видов оборудования, которые находятся на производстве. В соответствии с типовой номенклатурой все организации и предприятия ежегодно разрабатывают мероприятия по охране труда, которые состоят из трех разделов: 1) предупреждение несчастных случаев; 2) предупреждение заболеваний на производстве; 3) общее улучшение условий труда.

На всех этапах планирования мероприятий по охране труда активное участие принимают профсоюзные органы и широкие массы трудящихся***. Мероприятия разрабатываются администрацией совместно с ФЭМК и обсуждаются на собраниях рабочих и служащих. После утверждения местное соглашение по охране труда подписывается руководителем организации и председателем ФЭМК. Руководитель организации по согласованию с профсоюзной организацией может вносить изменения в соглашение — переносить средства из одной статьи номенклатурных мероприятий в другую или увеличивать ассигнование на мероприятия по охране труда. Ассигнования должны расходоваться только в соответствии с типовой номенклатурой.

При рассмотрении и анализе методов правового регулирования и видов нормативных актов по охране труда возникает необходимость их классификации по территориальной сфере действия норм (общесоюзные и республиканские), по органам, утверждающим эти нормы (подзаконные акты), утверждаемые ВЦСПС и ЦК профсоюзон, различными министерствами и ведомствами по поручению Совета Министров СССР, а также местные нормы, утверждаемые руководителем предприятия; по категории трудящихся, на которых они распространяются: общие, охрана труда женщин и подростков; по производственной сфере действия норм: единые, межотраслевые, отраслевые.

1.3. ОРГАНИЗАЦИЯ ОХРАНЫ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Для создания безопасных условий работы трудовое законодательство обязывает администрацию предприятия принимать необходимые меры по созданию безопасных и здоровых условий труда, предупреждению несчастных случаев на производстве,

* Постановление НКТ СССР от 14 марта 1933 г., п. 4.

** Номенклатура мероприятий по охране труда утверждена постановлением Президиума ВЦСПС 31 марта 1980 г. (№ 3-11) и согласована с ЦСУ СССР и Минфином СССР.

*** Полномочия ФЭМК в деле планирования мероприятий по охране труда регламентируются ст. 3, 4, 5 Положения о правах ФЭМК.

содержанию рабочих мест в надлежащем санитарном состоянии (ст. 57 Основ). Ответственность за состояние техники безопасности и производственной санитарии на предприятии полностью возлагается на руководителей организации — начальника и главного инженера согласно Положению о социалистическом предприятии.

За общее состояние охраны труда несет ответственность начальник (управляющий, главный инженер) главка, комбината, треста, управления, предприятия. Он обязан принимать все необходимые меры для создания безопасных условий труда, по предупреждению несчастных случаев и содержанию рабочих мест в надлежащем санитарном состоянии.

Руководитель предприятия (организации) планирует мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии, их финансирование, своевременно обеспечивает рабочих спецодеждой, спецобувью, индивидуальными средствами защиты, спецпитанием и молоком. Кроме того, в его обязанности входит обеспечение нормальной работы санитарно-бытовых помещений, организации ремонта и стирки спецодежды.

Руководители, административно-технические работники предприятий и организаций от начальника до мастера несут ответственность в уголовном, административном, дисциплинарном и материальном порядке за несчастные случаи, происшедшие вследствие несоблюдения правил техники безопасности; за невыполнение возложенных на них обязанностей по технике безопасности; за нарушение своими распоряжениями или действиями законодательства по охране труда, а также правил техники безопасности и производственной санитарии; за бездействие, проявленное в этих вопросах. Они также несут ответственность за невыполнение предписаний технических инспекторов труда, органов госгортехнадзора, санитарной инспекции и других инспекций, осуществляющих государственный надзор.

В компетенцию и обязанности главных инженеров организаций входит: своевременное рассмотрение проектов производства работ, технологических карт и другой технической документации; обеспечение обязательного выполнения действующих правил техники безопасности; создание безопасных и безвредных условий труда на производстве.

Главный инженер организует систематическую пропаганду безопасных и здоровых условий труда. Для этого проводятся совещания, лекции, экскурсии, создаются кабинеты и уголки по технике безопасности, проводятся инструктажи и курсовое обучение рабочих и инженерно-технических работников по технике безопасности, повышению их квалификации по вопросам охраны труда (ст. 57, 60 Основ).

Главный инженер возглавляет работу комиссии по проверке знаний по технике безопасности.

Для постоянной и систематической работы по улучшению условий труда в управлениях и на предприятиях создается служба техники безопасности, находящаяся в непосредственном подчинении главного инженера. Служба техники безопасности комплектуется работниками, имеющими высшее или среднее специальное образование и стаж инженерной работы не менее трех лет.

В своей повседневной деятельности работники службы охраны труда контролируют соблюдение мастерами, руководителями участков, цехов и других подразделений действующего законодательства, приказов, инструкций, нормативных актов вышестоящих организаций и органов государственного надзора в области охраны труда, а также выполнение указаний по технике безопасности. В обязанности инженера по технике безопасности входит также контроль за правильным использованием средств, ассигнованных на мероприятия по охране труда, соблюдением установленных сроков испытаний индивидуальных средств защиты, а также за обеспечением работающих спецодеждой, спецобувью, средствами индивидуальной защиты. Служба техники безопасности ведет учет несчастных случаев в специальном «Журнале регистрации несчастных случаев», анализирует причины производственного травматизма, принимает участие в расследовании аварий и несчастных случаев, составляет отчеты о состоянии охраны труда и об освоении средств, ассигнованных на мероприятия по охране труда.

Несчастные случаи на объекте нередко происходят из-за отсутствия надлежащего инструктажа, плохого обучения рабочих и служащих правилам техники безопасности, из-за нарушения норм безопасного ведения работ. В связи с этим предусмотрено, что вновь поступающие на работу допускаются к ней только после инструктажей по технике безопасности вводного и непосредственного на рабочем месте. Проведение инструктажей по технике безопасности является обязательным. За их организацию от-

вечает главный инженер управления или предприятия. Проводятся они по инструкциям, разработанным специально с учетом конкретных условий.

Каждый рабочий в соответствии со своей профессией обеспечивается инструкцией по технике безопасности. Лицам, обслуживающим объекты госгортехнадзора и энергонадзора, инструкции выдаются под расписку. Основные положения из них вывешиваются также на рабочем месте. Контроль за своевременной разработкой необходимых инструкций по технике безопасности и обеспечением ими рабочих возлагается на главного инженера организации.

Кроме инструктажа, не позднее чем через три месяца со дня зачисления на работу, рабочих обучают правилам техники безопасности по утвержденной программе. К работе на особо опасных и вредных производствах с повышенными требованиями по технике безопасности рабочие допускаются только после прохождения специального обучения и сдачи экзаменов.

Рабочие, служащие и ИТР, поступающие на работу в данную организацию, обязаны пройти вводный инструктаж по технике безопасности независимо от профессии, должности или характера будущей работы.

1.4. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА НАРУШЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА

Действующее законодательство для должностных лиц, допускающих нарушения требований охраны труда, устанавливает различные виды ответственности: дисциплинарную, административную, уголовную, материальную.

К дисциплинарной ответственности привлекаются рабочие, нарушающие требования охраны труда, а также лица административно-технического персонала, не соблюдающие правила, нормы и инструкции по безопасному ведению работ или не принимающие необходимых мер для предотвращения несчастных случаев и профессиональных заболеваний. Лица из числа административного персонала, виновные в нарушении законодательства по охране труда, несут ответственность в порядке подчиненности.

Дисциплинарные взыскания могут применяться и по инициативе профсоюзных организаций. К дисциплинарным взысканиям, налагаемым в порядке подчиненности, относятся: замечания, выговор, строгий выговор, перевод на низшую должность на срок не более года, увольнение. Меры дисциплинарного воздействия к нарушителю правил по технике безопасности предполагают одновременное обсуждение его поведения общественностью (на заседаниях профсоюзного комитета, президиума обкома профсоюза, коллегии министерства и т. п.).

От дисциплинарных нарушений административные проступки отличаются степенью общественной опасности. Круг органов и должностных лиц, имеющих право применять административные взыскания (наложение штрафа), строго ограничен законом. (Указ Президиума Верховного Совета СССР от 21 июня 1961 г.).

За техническими инспекторами труда сохранено право наложения штрафов на нарушителей правил по технике безопасности. Штраф налагается на тех должностных лиц, которые в порядке исполнения своих служебных обязанностей не приняли меры по своевременному выполнению правил и норм по охране труда. Это, прежде всего, мастера, прорабы, старшие прорабы, главные механики, главные энергетики, главные инженеры и начальники управлений и предприятий, а также управляющие и главные инженеры трестов, комбинатов и объединений.

На лиц, виновных в нарушении правил по охране труда, в административном порядке налагается штраф в размере 10 р. — техническим инспектором, 50 р. — главным техническим инспектором*.

За неоднократное нарушение правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов органы Госнадзора СССР вправе налагать штрафы на виновных лиц из числа инженерно-технических работников. Согласно закону, штрафы налагаются и на тех должностных лиц, которые в порядке исполнения своих служебных обязанностей должны принимать меры к своевременному соблюдению установленных правил по охране труда, но не делают этого.

Штраф в административном порядке не может быть наложен, если со дня совершения проступка прошло более одного месяца. Постановление административной комиссии или технического, правового инспектора труда и инспектора госгортехнад-

* Ведомости Верховного Совета СССР, 1968, № 7, с. 48.

зора о наложении штрафа, не исполненное в течение трех месяцев со дня его выяснения, утрачивает силу. Акт по форме 2-ти составляется в трех экземплярах (один экземпляр выдается на руки оштрафованному лицу, второй — в бухгалтерию по месту его работы, третий остается у технического инспектора труда).

Винные в нарушении Положения о расследовании и учете несчастных случаев на производстве (несвоевременное расследование, необоснованный отказ в составлении акта по форме Н-1, скрытие несчастных случаев) привлекаются к ответственности согласно действующему законодательству. Положение устанавливает обязательные для должностных лиц правила расследования и учета производственного травматизма.

Кроме государственного и общественного осуществляется также и прокурорский надзор за соблюдением правил и инструкций по охране труда. Пленум Верховного Суда СССР обратил внимание судов на необходимость решительного устранения серьезных недостатков в рассмотрении судебных дел по нарушению законодательства об охране труда и преодоления существующей среди отдельных судебных работников недооценки общественной опасности этих правонарушений *. Дела о таких нарушениях Пленум рекомендовал чаще разбирать непосредственно на тех предприятиях и в организациях, где они допущены; к судебным процессам привлекать внимание широкой общественности и хозяйственных органов.

Должностные лица несут уголовную ответственность за нарушение ими правил по технике безопасности, промышленной санитарии или иных правил охраны труда на государственных и общественных предприятиях и в учреждениях различных отраслей народного хозяйства (ст. 135 УК УССР). Если указанные нарушения не повлекли, но могли повлечь за собой несчастные случаи с людьми, виновные должностные лица наказываются исправительными работами на срок до одного года, или штрафом до 100 р., или общественным порицанием (ст. 135, ч. 1 УК УССР).

За те же нарушения, но при условии, что они повлекли за собой несчастные случаи, виновные наказываются лишением свободы на срок до четырех лет (ст. 135, ч. 2 УК УССР).

Ответственность за нарушение правил охраны труда по ст. 135 УК УССР несут те должностные лица, на которых в силу служебного положения по специальному распоряжению возложена ответственность за соблюдение правил и норм по охране труда на соответствующем участке работы или контроль за их выполнением. В тех случаях, когда нарушения этих правил допущены иными должностными лицами, с учетом обстоятельств дела, это может рассматриваться как должностное преступление (халатность, злоупотребление служебным положением).

Одна из причин несчастных случаев на производстве — небрежность и неосторожность самих работников. По действующему законодательству для рабочих и служащих государственных, кооперативных и общественных предприятий и учреждений обязательности соблюдать правила техники безопасности, производственной санитарии возлагается на всех без исключения рабочих и служащих (Ст. 159 КЗоТ УССР). Закон обязывает администрацию знакомить каждого работника с правилами, непосредственно связанными с выполняемой им работой, и принимать все меры к обеспечению безопасности ведения работ. Если потерпевший действует вопреки требованиям правил техники безопасности и указаниям должностных лиц (мастера, прораба), за происшедший по вине самого работника несчастный случай должностные лица уголовной ответственности не несут.

Рабочие и служащие, причинившие увечья другим работникам из-за преступного нарушения ими правил техники безопасности, привлекаются к уголовной ответственности.

Если по вине рабочего или служащего причинен имущественный ущерб предприятию или организации, то согласно действующему законодательству виновный обязан его возместить.

За нарушение строительных, санитарных норм и правил пожарной безопасности, а также правил эксплуатации различных машин и механизмов уголовная ответственность предусматривается специальной нормой (ст. 219 УК УССР). К числу нарушений строительных норм и правил эксплуатации машин и механизмов относятся различные нарушения при производстве строительных, монтажных и специальных работ. К материальной ответственности виновный привлекается независимо от того, понес

* Постановление Пленума Верховного Суда СССР от 30 мая 1967 г. — Бюллетень Верховного Суда СССР, 1967, № 4, с. 8.

он наказание в дисциплинарном, административном или уголовном порядке. Работник обязан возместить материальный ущерб при следующих условиях: организации нанесен действительный ущерб, т. е. произошло уменьшение или ухудшение ее имущества; ущерб причинен противоправными действиями и работник виновен в причиненном ущербе; между действиями работника и наступившим результатом (ущербом) имеется причинная связь.

При нарушении правил техники безопасности предприятию может быть нанесен ущерб как в виде порчи или уничтожения оборудования, так и в результате выплаты, которую предприятие вынуждено было произвести пострадавшему от несчастного случая.

Существует два вида материальной ответственности за ущерб, причиненный нарушениями правил по охране труда — ограниченная и полная.

Возмещение в размере прямого ущерба, но не более одной трети месячной тарифной ставки (оклада), производят по распоряжению администрации путем удержания из заработной платы при наличии письменного согласия работника. Распоряжение администрации (приказ) об удержании может быть дано не позднее двух недель со дня обнаружения причиненного работником ущерба. Если письменное согласие работника отсутствует, удержание не производится до разрешения вопроса по заявлению администрации в районном (городском) народном суде. В остальных случаях ущерб возмещается путем предъявления администрацией иска в народный суд.

Невозмещенный ущерб всегда ведет к уменьшению имущества организации, ее прибылей, что, несомненно, сказывается на всей ее деятельности. Поэтому освобождение работника от материальной ответственности за причиненный ущерб недопустимо. Вместе с тем незаконное удержание из заработной платы снижает экономическую заинтересованность трудящихся в результатах их труда, отрицательно сказывается на его производительности и качестве, что в конечном итоге влияет на работу всей организации. Задача администрации и профсоюзных организаций — обеспечить правильное применение установленной законодательством ответственности за нарушение охраны труда и тем самым способствовать улучшению состояния техники безопасности и производственной санитарии, укреплению трудовой и производственной дисциплины и сохранности социалистической собственности.

Наряду с установленными законом видами ответственности должностных лиц за нарушение норм и правил по охране труда, действующее законодательство предусматривает ответственность организаций за возмещение ущерба, причиненного их работнику увечьем. Проявляя заботу о потерпевшем, коллектив организации помогает ему восстановить здоровье и вернуть его к труду, возместить утраченный заработок. Организация отвечает за причиненный ущерб в порядке, предусмотренном Правилами возмещения ущерба, при наличии всех условий, как общих, так и специальных, одновременно².

Вопросы, связанные с исследованием правового регулирования возмещения ущерба, хотя и являются составной частью правовых последствий травматизма, имеют самостоятельную, в силу чего детальное освещение их должно быть предметом особого исследования.

Обобщая правовые и организационные последствия травматизма, необходимо отметить, что трудовое законодательство предоставляет возможность администрации, профсоюзам и органам государственного надзора воздействовать на отдельных должностных лиц и работников, нарушающих законодательство об охране труда.

Дисциплинарная ответственность за нарушение техники безопасности позволяет применять меры дисциплинарного воздействия к руководителям организаций и инженерно-техническим работникам, допускающим менее серьезные нарушения. Административная ответственность дает возможность не только предотвращать аварии и несчастные случаи, но и вести решительную борьбу со злостными нарушителями правил техники безопасности и производственной санитарии. Материальная ответственность за нарушение правил техники безопасности предоставляет возможность обеспечить сохранность имущества организаций и возместить причиненный им ущерб, содействовать укреплению трудовой дисциплины и соблюдению правил и норм по охране труда, гарантировать рабочим и служащим сохранение за ними заработка в случае увечья или иного повреждения здоровья, связанного с их работой.

² Правила возмещения ущерба. — Бюллетень Госкомитета Совета Министров СССР по вопросам труда и заработной платы, 1963, № 10, п. 1.

Таким образом, советское законодательство гарантирует трудящимся всемерную охрану трудовых прав и предусматривает все необходимые условия для создания здоровых и безопасных условий ведения работ.

Глава 2

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА

2.1. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОПАСНОСТИ

В соответствии с определением ГОСТ 12.0.002—74, производственная опасность — возможность воздействия на работающего опасных и вредных производственных факторов. К опасным производственным факторам относят факторы, воздействие которых на работающего приводит к травме, а к вредным — факторы, которые приводят к заболеванию.

Согласно ГОСТ 12.0.003—74, опасные и вредные производственные факторы разделяются по природе действия на следующие группы: физические, химические, биологические и психофизиологические.

Группа физических опасных и вредных факторов разделяется на следующие подгруппы:

- движущиеся машины и механизмы, незащищенные подвижные элементы производственного оборудования, передвигающиеся изделия, заготовки, материалы;
- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;

- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень вибрации;
- повышенный уровень инфразвуковых колебаний;
- повышенный уровень ультразвука;
- повышенное или пониженное барометрическое давление в рабочей зоне и его резкое изменение;

- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенная или пониженная ионизация воздуха;
- повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне;
- опасное напряжение в электрической цепи;
- повышенный потенциал статического электричества;
- повышенная плотность потока электромагнитных излучений радиочастотного диапазона;

- повышенная напряженность электрического или магнитного поля;
- повышенная интенсивность излучений оптического диапазона;
- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенная яркость света;
- пониженная контрастность;
- прямая и отраженная блескость;
- повышенная пульсация светового потока.

Группа химических опасных и вредных производственных факторов подразделяется на следующие подгруппы:

- по характеру воздействия на организм человека (общетоксические, раздражающие, sensibiliziruyushchie, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную функцию);
- по пути проникания в организм человека через дыхательные пути, пищеварительную систему, кожный покров.

Группа биологических опасных и вредных производственных факторов включает биологические объекты, воздействие которых на работающего вызывает травмы или заболевания:

- микроорганизмы (бактерии, вирусы, риккетсии, спирохеты, грибы, простейшие);
- микроорганизмы (растения и животные).

Группа психофизиологических опасных и вредных производственных факторов по характеру действия подразделяется на следующие подгруппы: физические и психо-психические перегрузки.

он наказание в дисциплинарном, административном или уголовном порядке. Работник обязан возместить материальный ущерб при следующих условиях: организации нанесен действительный ущерб, т. е. произошло уменьшение или ухудшение ее имущества; ущерб причинен противоправными действиями и работник виновен в причиненном ущербе; между действиями работника и наступившим результатом (ущербом) имеется причинная связь.

При нарушении правил техники безопасности предприятию может быть нанесен ущерб как в виде порчи или уничтожения оборудования, так и в результате выплаты, которую предприятие вынуждено было произвести пострадавшему от несчастного случая.

Существует два вида материальной ответственности за ущерб, причиненный нарушениями правил по охране труда — ограниченная и полная.

Возмещение в размере прямого ущерба, но не более одной трети месячной тарифной ставки (оклада), производят по распоряжению администрации путем удержания из заработной платы при наличии письменного согласия работника. Распоряжение администрации (приказ) об удержании может быть дано не позднее двух недель со дня обнаружения причиненного работником ущерба. Если письменное согласие работника отсутствует, удержание не производится до разрешения вопроса по заявлению администрации в районном (городском) народном суде. В остальных случаях ущерб возмещается путем предъявления администрацией иска в народный суд.

Невозмещенный ущерб всегда ведет к уменьшению имущества организации, ее прибыли, что, несомненно, сказывается на всей ее деятельности. Поэтому освобождение работника от материальной ответственности за причиненный ущерб недопустимо. Вместе с тем незаконное удержание из заработной платы снижает экономическую заинтересованность трудящихся в результатах их труда, отрицательно сказывается на его производительности и качестве, что в конечном итоге влияет на работу всей организации. Задача администрации и профсоюзных организаций — обеспечить правильное применение установленной законодательством ответственности за нарушение охраны труда и тем самым способствовать улучшению состояния техники безопасности и производственной санитарии, укреплению трудовой и производственной дисциплины и сохранности социалистической собственности.

Наряду с установленными законом видами ответственности должностных лиц за нарушение норм и правил по охране труда, действующее законодательство предусматривает ответственность организаций за возмещение ущерба, причиненного ее работнику увечьем. Проявляя заботу о потерпевшем, коллектив организации помогает ему восстановить здоровье и вернуть его к труду, возместить утраченный заработок. Организация отвечает за причиненный ущерб в порядке, предусмотренном Правилами возмещения ущерба, при наличии всех условий, как общих, так и специальных, одновременно *.

Вопросы, связанные с исследованием правового регулирования возмещения ущерба, хотя и являются составной частью правовых последствий травматизма, имеют самостоятельность, в силу чего детальное освещение их должно быть предметом особого исследования.

Обобщая правовые и организационные последствия травматизма, необходимо отметить, что трудовое законодательство предоставляет возможность администрации, профсоюзам и органам государственного надзора воздействовать на отдельных должностных лиц и работников, нарушающих законодательство об охране труда.

Дисциплинарная ответственность за нарушение техники безопасности позволяет применять меры дисциплинарного воздействия к руководителям организаций и инженерно-техническим работникам, допускающим менее серьезные нарушения. Административная ответственность дает возможность не только предотвращать аварии и несчастные случаи, но и вести решительную борьбу со злостными нарушителями правил техники безопасности и производственной санитарии. Материальная ответственность за нарушение правил техники безопасности предоставляет возможность обеспечить сохранность имущества организаций и возместить причиненный им ущерб, содействовать укреплению трудовой дисциплины и соблюдению правил и норм по охране труда, гарантировать рабочим и служащим сохранение за ними заработка в случае увечья или иного повреждения здоровья, связанного с их работой.

* Правила возмещения ущерба.— Бюллетень Госкомитета Совета Министров СССР по вопросам труда и заработной платы, 1963, № 10, п. 1.

Таким образом, советское законодательство гарантирует трудящимся всемерную охрану трудовых прав и предусматривает все необходимые условия для создания здоровых и безопасных условий ведения работ.

Глава 2

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА

2.1. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОПАСНОСТИ

В соответствии с определением ГОСТ 12.0.002—74, производственная опасность — возможность воздействия на работающего опасных и вредных производственных факторов. К опасным производственным факторам относят факторы, воздействие которых на работающего приводит к травме, а к вредным — факторы, которые приводят к заболеванию.

Согласно ГОСТ 12.0.003—74, опасные и вредные производственные факторы разделяются по природе действия на следующие группы: физические, химические, биологические и психофизиологические.

Группа физических опасных и вредных факторов разделяется на следующие подгруппы:

движущиеся машины и механизмы, незащищенные подвижные элементы производственного оборудования, передвигающиеся изделия, заготовки, материалы;

повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;

повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;

повышенный уровень шума на рабочем месте;

повышенный уровень вибрации;

повышенный уровень инфразвуковых колебаний;

повышенный уровень ультразвука;

повышенное или пониженное барометрическое давление в рабочей зоне и его резкое изменение;

повышенная или пониженная влажность воздуха;

повышенная или пониженная подвижность воздуха;

повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;

повышенная или пониженная ионизация воздуха;

повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне;

опасное напряжение в электрической цепи;

повышенный потенциал статического электричества;

повышенная плотность потока электромагнитных излучений радиочастотного

диапазона;

повышенная напряженность электрического или магнитного поля;

повышенная интенсивность излучений оптического диапазона;

отсутствие или недостаток естественного света;

недостаточная освещенность рабочей зоны;

повышенная яркость света;

пониженная контрастность;

прямая и отраженная блескость;

повышенная пульсация светового потока.

Группа химических опасных и вредных производственных факторов подразделяется на следующие подгруппы:

по характеру воздействия на организм человека (общетоксические, раздражающие, sensibilizing, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную функцию);

по пути проникновения в организм человека через дыхательные пути, пищеварительную систему, кожный покров.

Группа биологических опасных и вредных производственных факторов включает биологические объекты, воздействие которых на работающих вызывает травмы или заболевания:

микроорганизмы (бактерии, вирусы, риккетсии, спирохеты, грибы, простейшие);

макроорганизмы (растения и животные).

Группа психофизиологических опасных и вредных производственных факторов по характеру действия подразделяется на следующие подгруппы: физические и нервно-психические перегрузки.

Физические перегрузки подразделяются на статические, динамические и гиподинамические, а нервно-психические — на умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, монотонность труда и эмоциональные перегрузки.

Среди опасных производственных факторов особенно опасны вредные вещества. В соответствии с ГОСТ 12.1.007—76, вредным веществом называют вещество, которое при контакте с организмом человека в случае нарушения требований безопасности может вызывать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

По степени воздействия на организм вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности; 1 — вещества чрезвычайно опасные; 2 — высокоопасные; 3 — умеренно опасные; 4 — малоопасные.

Таблица 2.1. Показатели и нормы класса опасности вредных веществ (ГОСТ 12.1.007—76)

Показатель	Нормы для класса опасности			
	1	2	3	4
Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	Менее 0,1	0,1—1	1,1—10	Более 10
Средняя смертельная доза при попадании в желудок, мг/кг	Менее 15	15—150	151—5000	Более 5000
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг/кг	Менее 100	100—500	501—2500	Более 2500
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м ³	Менее 500	500—5000	5001—50 000	Более 50 000
Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО)	Более 300	300—30	29—3	Менее 3
Зона острого действия	Менее 6	6—18	18,1—54	Более 54
Зона хронического действия	Более 10	10—5	4,9—2,5	Менее 2,5

Класс опасности вредных веществ устанавливают в зависимости от норм и показателей, указанных в табл. 2.1. Вредное вещество относится к классу опасности по показателю, значение которого соответствует наиболее высокому классу опасности.

В результате воздействия неблагоприятных факторов производственной среды могут иметь место несчастные случаи и профессиональные заболевания. *Производственная травма* — это травма, полученная работающим на производстве и вызванная несоблюдением требований безопасности труда (ГОСТ 12.0.002—74). К травмам относятся ушибы, переломы, ранения, ожоги, поражения электрическим током и т. д. Следствием производственной травмы может быть временная или постоянная потеря трудоспособности, возможен и смертельный исход. Совокупность производственных травм называют производственным травматизмом.

Профессиональное отравление — это нарушение здоровья, вызванное ядовитыми веществами при их проникновении в организм человека в условиях производства. Профессиональные отравления могут быть острыми и хроническими.

Профессиональное заболевание — заболевание, вызванное действием на работающего вредных условий труда (ГОСТ 12.0.002—74).

В ряде случаев бывает затруднительно провести резкую грань между опасными и вредными производственными факторами. Так, ионизирующее излучение при длительном воздействии слабым источником может привести к профессиональному заболеванию (лейкоцитоз), а при кратковременном излучении мощным источником — к производственной травме — внезапному лучевому поражению.

С развитием техники роль некоторых элементов производственной среды как возможных причин травматизма уменьшается, однако век атомной энергии и радиоэлектроники наряду с огромными благами принес новые формы потенциальных опас-

ностей (радиоактивные и лазерные излучения). Среди производственных опасностей на одну из первых мест выдвигается проблема нервного утомления, т. е. психофизиологические факторы.

2.2. УЧЕТ И РАССЛЕДОВАНИЕ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Причины несчастных случаев на различных предприятиях неодинаковы, поэтому трудно разработать общую классификацию несчастных случаев для всех производств. Однако анализ причин несчастных случаев дает возможность классифицировать их на три группы:

1. Технические причины, вызванные в основном конструктивными недостатками в области инженерных решений по охране труда различного производственного оборудования. К этим же причинам относятся несовершенство технологических процессов, неисправности оборудования, инструментов, приспособлений.

2. Организационные причины заключаются в недостаточном надзоре за проведением работ, неудовлетворительной организации труда, низкой культуре производства, отсутствии у рабочих соответствующих знаний.

3. Психофизиологические причины — это недостаточное внимание при работе, ослабление самоконтроля рабочих, компоновка рабочего места без учета анатомических особенностей человека.

Такая классификация причин несчастных случаев вносит четкость и порядок при их анализе.

Планомерная борьба с производственным травматизмом требует правильной организации расследования и учета несчастных случаев. Порядок учета и расследования регламентируется «Положением о расследовании и учете несчастных случаев на производстве». Расследованию подлежат все несчастные случаи, происшедшие с рабочими и служащими как на территории организации, так и вне ее при выполнении работы по заданию администрации, а также с рабочими и служащими, доставляемыми на место работы и с работы на транспорте предприятия.

На каждый несчастный случай, вызвавший потерю трудоспособности не менее чем на один рабочий день, начальник цеха совместно с инженером по технике безопасности и старшим общественным инспектором должен составить акт по форме Н—1 в четырех экземплярах с точным и объективным заполнением всех граф и направить его главному инженеру предприятия.

Несчастный случай должен быть расследован не позже чем через 24 ч с момента происшествия. В такой же срок должен быть составлен акт. Главный инженер предприятия обязан в течение суток разработать мероприятия по устранению причин, вызвавших несчастный случай, установить сроки и назначить исполнителей. По одному экземпляру утвержденного акта главный инженер направляет начальнику цеха, в фабзком и техническому инспектору профсоюза.

Групповые (происшедшие одновременно с двумя работниками и более) смертельные и тяжелые несчастные случаи подлежат специальному расследованию. О каждом из них руководитель организации обязан немедленно сообщить техническому инспектору труда, в вышестоящую хозяйственную организацию, в прокуратуру по месту нахождения предприятия и в госгортехнадзор (если несчастный случай произошел на объектах, подконтрольных госгортехнадзору). Кроме того, при авариях с человеческими жертвами и массовых отравлениях руководитель предприятия ставит в известность ЦК профсоюза соответствующей отрасли промышленности и ВЦСПС.

Групповой, смертельный и тяжелый несчастные случаи расследуются техническим инспектором труда при участии представителей вышестоящей хозяйственной организации, администрации и ФЗМК. В результате расследования составляется акт с подробным описанием обстоятельств несчастного случая, анализом его причин и указанием мероприятий по их устранению. Одновременно администрация предприятия составляет акт по форме Н—1. Материалы расследования и акт с заключением технического инспектора труда не позднее чем через 7 дней с момента происшествия направляются в совет профсоюзов, ЦК профсоюзов, прокуратуру и в вышестоящий хозяйственный орган.

На основе составленных по форме Н—1 актов администрация предприятия подготавливает по форме 7—Т отчет о пострадавших при несчастных случаях, связанных с производством. В отчет включают несчастные случаи, вызвавшие утрату трудо-

способности на период свыше трех рабочих дней, а также случаи со смертельным исходом.

В соответствии со сроками, указанными в форме 7—Т, администрация предприятия представляет по одному экземпляру отчета вышестоящей организации и статистическому управлению.

2.3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА

При исследовании причин производственного травматизма применяют несколько методов, основные из которых статистический, топографический, монографический и экономический.

Статистический метод дает возможность оценивать количественно уровень травматизма посредством общепринятых показателей: коэффициента частоты K_q , коэффициента тяжести K_T и коэффициента производственных потерь $K_{п.п.}$.

Коэффициент частоты травматизма показывает число несчастных случаев, происходящее на 1000 чел. работающих:

$$K_q = n/P10^3, \quad (2.1)$$

где n — число несчастных случаев за отчетный период; P — среднесписочное количество работающих за тот же период.

Для сравнения уровня травматизма в различных странах Международная организация труда (МОТ) рекомендует определять показатель частоты несчастных случаев на 1 млн. отработанных человеко-часов:

$$K'_q = n/T10^6, \quad (2.2)$$

где T — общее число отработанных за отчетный период времени человеко-часов всеми работающими.

Коэффициент тяжести представляет собой число дней нетрудоспособности, происходящее на один несчастный случай:

$$K_T = D/n, \quad (2.3)$$

где D — число дней нетрудоспособности по закрытым больничным листам учтенных несчастных случаев за отчетный период.

Коэффициент производственных потерь представляет собой произведение коэффициентов частоты и тяжести:

$$K_{п.п.} = K_q K_T = \frac{D}{P} 1000. \quad (2.4)$$

Для учета тяжелых травм рекомендуется вводить коэффициент, характеризующий уровень травм со смертельным и инвалидным исходом, %:

$$K_{с.и.} = \frac{n_{с.и.}}{n} 100, \quad (2.5)$$

где $n_{с.и.}$ — количество несчастных случаев со смертельным и инвалидным исходом.

Сравнивая полученные коэффициенты за отчетный период с коэффициентами за предыдущий период, делают вывод об эффективности принятых мер по улучшению условий труда и снижению травматизма.

Изучение опасностей производства по статистическим материалам позволяет анализировать и разрабатывать мероприятия для предупреждения несчастных случаев.

Топографический метод заключается в изучении несчастных случаев по месту их происхождения. Специфической особенностью этого метода является то, что все несчастные случаи наносятся условными знаками на планы цехов, участков или предприятия в целом, в результате чего наглядно видны места травматизма, требующие особого внимания.

Достоинством этого метода является его простота и наглядность. Недостатком является то, что он не вскрывает потенциальных опасностей. Кроме того, он применим только в тех случаях, когда материал по травматизму достаточно велик.

Монографический метод заключается в детальном обследовании всей производственной обстановки данного объекта: изучаются трудовой и технологический про-

цессы, основное и вспомогательное оборудование, материалы, общие условия труда, рабочие места, защитные средства, режим труда и отдыха.

Этот метод дает возможность наиболее полно определить способы предупреждения травматизма, использовать результаты проведенной работы в других местах путем сравнительных исследований. Глубокий анализ по этому методу позволяет не только установить причину производственных травм, но и выявить существующие потенциальные опасности. Поэтому главное достоинство метода — полнота анализа, недостаток — сравнительно большая трудоемкость.

Экономический метод заключается в сравнении расходов на профилактику травматизма с эффективностью технических и организационных мероприятий.

Главное в решении проблем охраны труда — это забота о человеке, но немаловажное значение имеет устранение экономических потерь, вызываемых несчастными случаями на производстве.

В настоящее время рекомендуются следующие экономические показатели оценки травматизма:

1) показатели, характеризующие ущерб от травматизма по отношению к проработанному времени $\mathcal{E}_1$ и стоимость потерянного рабочего времени $\mathcal{E}_2$, определяемые по формулам:

$$\mathcal{E}_1 = \frac{B}{A} 10^4; \quad \mathcal{E}_2 = 3P_z D, \quad (2.6)$$

где B — сумма затрат всех видов, связанных с травматизмом; A — число фактически проработанных человеко-часов; P_z — средняя зарплата работающего.

2) показатель, рекомендуемый ВНИИОТ и характеризующий затраты, связанные с травматизмом, без учета затрат на ликвидацию аварий, поломок, определяется как сумма следующих затрат:

$$M_n = B_{л.н} + C_{а.л} + П_{н.с} + C_{к.л} + П_{п.к} + П_о + D_p + У_п. \quad (2.7)$$

где M_n — материальные последствия травматизма; $B_{л.н}$ — выплата пострадавшему по листам нетрудоспособности; $C_{а.л}$ — стоимость амбулаторного лечения; $C_{к.л}$ — стоимость клинического лечения; $П_{н.с}$ — пенсия пострадавшему; $П_{п.к}$ — пенсия близким родственникам в связи с потерей кормильца; $П_о$ — материальные потери из-за простоя оборудования; D_p — сумма доплат пострадавшему; $У_п$ — условные материальные потери, проявляющиеся в недодаче продукции за время нетрудоспособности.

3) показатель, рекомендуемый ЦНИИОМППТ, характеризующий затраты, связанные с несчастным случаем, и затраты на ликвидацию аварии или поломок определяется как сумма некоторых затрат:

$$M_n = M_б + M_о + M_и + M_м + M_з, \quad (2.8)$$

где $M_б$ — выплаты по больничным листам и другие затраты, вызванные несчастным случаем; $M_о$ — стоимость испорченного оборудования; $M_и$ — стоимость испорченного инструмента; $M_м$ — стоимость испорченных материалов; $M_з$ — стоимость разрушенных зданий и сооружений.

Список литературы

1. Заобинский Б. М. Охрана труда в металлургии. М., Металлургия, 1968. 460 с.
2. Лесенко Г. В. Анализ и профилактика производственного травматизма. К., Техніка, 1971. 184 с.
3. Максимов В. Ф. Охрана труда в целлюлозно-бумажной промышленности. М., Лесная промышленность, 1972. 352 с.
4. Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о труде. М., 1970. 666 с.
5. Охрана труда в машиностроении. Под ред. Е. Я. Юдина. М., Машиностроение, 1976. 335 с.
6. Охрана труда в электроустановках. Под ред. Б. А. Князевского. Изд. 2-е. М., Энергия, 1977. 320 с.
7. Охрана труда в химической промышленности. М., Химия, 1977. 568 с.
8. Справочник по гигиене труда. Под ред. Б. Д. Карпова, В. Е. Ковшило. Л., Медицина, 1976. 536 с.

Раздел II

ВОЗДУХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ. ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ. ЗАЩИТА ОТ ШУМА И ВИБРАЦИИ

Глава 3

ВОЗДУХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

При изготовлении материалов, приборов, машин, оборудования используются вещества и технологические процессы, оказывающие вредное действие на человека. Это действие может быть местным или общим. Некоторые вещества, кроме того, что они оказывают местное действие, приводят к общему поражению человеческого организма вплоть до паралича центральной нервной системы. Поэтому одной из важнейших задач является всемерное оздоровление условий труда путем обеспечения чистоты воздуха и нормальных метеорологических условий в производственных помещениях.

Разработка и внедрение надежных профилактических мероприятий по технике безопасности и промышленной санитарии, а также мер оказания первой (доврачебной) помощи пострадавшим должны быть основаны на глубоком знании токсических свойств материалов.

3.1. ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Техника безопасности на предприятиях имеет основной своей задачей предупреждение промышленного травматизма и профессиональных отравлений, вызываемых действием токсических веществ. Токсические вещества могут поражать различные органы человека или действовать лишь на определенные органы и физиологические системы человека — нервную систему, почки, печень, кожу и слизистые оболочки.

Токсическое действие яда может вызываться не самим ядом, а продуктами его преобразования в организме. К ядам относятся все вещества — сырьевые, промежуточные и в виде конечного продукта, а также отходы, которые могут в процессе производства попасть в организм человека в концентрациях, причиняющих вред здоровью.

При исследовании причин профессиональных отравлений наряду с изучением условий труда определяют характер отравлений и обстановку, в которой оно произошло.

Для предупреждения профессиональных заболеваний в нашей стране установлены предварительные и периодические медицинские осмотры работающих с вредными веществами. На всех работников заводится индивидуальная карта, содержащая паспортную часть и лист для занесения результатов осмотра. В этой карте указываются пол, возраст, профессия и стаж работы по данной профессии в данном цехе, наименование токсического вещества, работа с которым служит основанием для периодического медицинского осмотра. Указываются также перечень ранее выполнявшихся работ, связанных с токсическими веществами, и перечисляются заболевания с потерей трудоспособности в течение последнего года. К паспортной части индивидуальной карты прилагается лист периодических медицинских осмотров.

Периодические и предварительные медицинские осмотры проводятся лечебно-профилактическими учреждениями, обслуживающими предприятие, с обязательным участием врача здравпункта, заполняющего при осмотре контрольную карту диспансерного наблюдения.

На основе материалов осмотров и расследования несчастных случаев разрабатываются, с одной стороны, лечебно-профилактические меры (постоянное диспансерное наблюдение за рабочими, направление в санатории, снабжение диетическим питанием, предоставление специального отпуска, направление во ВТЭК и др.), а с другой — санитарно-гигиенические и инженерно-технические мероприятия, направленные на

улучшение условий труда и предотвращение травматизма, профинтоксикации и профзаболеваний.

В зависимости от состояния здоровья работника и условий труда в цехе решаются вопросы трудоустройства. При наличии признаков хронической интоксикации возможен временный или постоянный перевод работника на другие работы, не связанные с воздействием токсических веществ.

Большое внимание должно уделяться разработке и применению эффективных средств индивидуальной защиты (спецодежды, рукавиц, предохранительных очков, шлемов, масок, противогазов и др.), кроме того, должны использоваться защитные пасты, мази и моющие средства, ослабляющие вредное действие токсических веществ.

Министерством здравоохранения СССР разработаны специальные инструкции по оказанию скорой медицинской помощи как на месте происшествия, так и при перевозке пострадавшего в больницу.

3.2. ПРИЧИНЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ И ПРИНЦИП НОРМИРОВАНИЯ ПЫЛИ, ПАРОВ И ГАЗОВ

К процессам, связанным с выделением токсических газов и паров, относятся различные виды обработки металла кислотами, перегонка кислот, выпаривание растворов, обработка солянокислых растворов окислителями, сопровождающаяся выделением хлора, выпаривание растворов, содержащих ферроцианид калия или натрия, и многие другие.

Причиной загрязнения воздуха является также пыль, образующаяся при дроблении, размоле и транспортировке измельченных материалов, механической обработке, отделке поверхности (полировка, шлифовка), упаковке, расфасовке и т. п. Эти виды пылеобразования — первичны. В условиях производства может возникнуть и вторичное пылеобразование, например при движении людей, уборке помещения и т. д.

Пыль, будучи взвешена в воздухе, представляет собой дисперсную систему (аэрозоль), в которой дисперсной фазой являются твердые частицы, а дисперсной средой — воздух.

Промышленные пыли могут быть классифицированы по различным признакам. Отметим некоторые из них. По происхождению пыль делится на органическую — растительного (древесная), животного и искусственного происхождения; неорганическую — минеральная пыль, металлическая; смешанную — органического и неорганического происхождения. По способу образования бывает пыль дезинтеграции (разрушение, измельчение, полировка поверхностей и т. д.) и конденсации (конденсация в воздухе паров расплавленных металлов — думы, они наиболее мелкие и опасные).

По действию, оказываемому на человеческий организм, пыль делится на две группы: нейтральная — нетоксическая пыль, не оказывающая отравляющего действия на живой организм; токсическая — пыль ядовитых веществ, отравляющих организм.

Имеют значение физические и химические свойства пыли. От дисперсности, или размера частиц зависит длительность пребывания частицы в воздухе и степень проникновения в дыхательные пути. Группу дисперсности пыли определяют по номограмме [3]. Имеет значение форма частичек пыли (наиболее опасная форма — игольчатая) и их электрозарядность (частицы с отрицательным зарядом более устойчивы в воздухе). По структуре частиц различают пыль волокнистую и зернистую.

С гигиенической точки зрения имеют значение химический состав и концентрация пыли, размер, форма и структура ее частиц, растворимость, электрический заряд, радиоактивность. На организм человека пыль оказывает прямое и косвенное действие. Прямое действие может быть причиной атрофических, гипертрофических, воспалительных, язвенных и других изменений слизистых оболочек, бронхов, легочной ткани, кожи, приводящих к катару верхних дыхательных путей, изъязвлению носовой перегородки, бронхиту, пневмонии, пневмофиброзу, конъюнктивиту, дерматиту и другим заболеваниям. Длительное вдыхание пыли, проникающей в легкие, приводит к развитию пневмокониоза. Некоторые виды пыли (свинцовая, мышьяковая, марганцевая и др.) вызывают отравления и приводят к функциональным изменениям ряда органов и систем.

Косвенное действие пыли на человека связано, в частности, с тем, что при сильной запыленности воздуха изменяется спектр и интенсивность солнечной радиации (поглощение и рассеяние ультрафиолетового излучения, снижение освещенности).

Нарушают нормальную жизнедеятельность и приводят к отравлениям токсические вещества, которые проникают в организм через дыхательные пути. При заглатывании вдыхаемых паров, газов и пыли они проникают в пищеварительный тракт. Некоторые ядовитые вещества, хорошо растворяющиеся в жирах (ароматические и хлорированные углеводороды, бензол, толуол, ксилол, четыреххлористый углерод, нитросоединения бензола, тетраэтилсвинец, цианиды и др.), могут проникать в организм через кожу. Яды, проникающие в организм через дыхательные пути, оказывают сильное действие, так как они непосредственно поступают в кровь.

В СССР установлены предельно допустимые концентрации (ПДК), мг/м³, пыли, паров и газов в воздухе, соблюдение которых при длительности работы не более 8 ч в день в течение всего трудового стажа не приводит к заболеваниям или отклонениям в состоянии здоровья работающих (ГОСТ 12.1.005—76. Воздух рабочей зоны).

Вредные вещества по степени воздействия на организм человека подразделяются на четыре класса: 1 — чрезвычайно опасные; 2 — высокоопасные; 3 — умеренно опасные и 4 — малоопасные.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ одностороннего действия сумма отношений фактических концентраций каждого из них ($Z_1, Z_2, \dots, Z_n$) в воздухе помещений к их ПДК ($\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$) не должна превышать единицы.

3.3. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

В понятие «метеорологические условия» воздушной среды рабочих помещений входят: температура, относительная влажность, насыщенность кислородом и скорость движения воздуха.

Таблица 3.1. Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работ	Температура, °C	Относительная влажность, %	Скорость дви- жения возду- ха, м/с. не более
Холодный и пе- редходный	Легкая — I	20—23	60—40	0,2
	Средней тяжести — IIa	18—20	60—40	0,2
	То же — IIб	17—19	60—40	0,3
Теплый	Тяжелая — III	16—18	60—40	0,3
	Легкая — I	22—25	60—40	0,2
	Средней тяжести — IIa	21—23	60—40	0,3
	То же — IIб	20—22	60—40	0,4
	Тяжелая — III	18—21	60—40	0,5

Длительное воздействие на человека неблагоприятных метеорологических условий резко ухудшает самочувствие, снижает производительность труда и часто приводит к различным заболеваниям.

Между организмом человека и внешней средой происходит непрерывный процесс теплового обмена. При этом независимо от температуры окружающей среды температура тела человека сохраняется постоянной на уровне 36,5—37°С. Установлено, что пределы возможных температур, при которых организм человека сохраняет жизнеспособность, относительно невелики. Смерть человека наступает при повышении температуры тела до 43°С и при падении ее ниже 27—25°С.

Влажность воздуха оказывает значительное влияние на терморегуляцию организма человека. Повышенная влажность воздуха является неблагоприятным факто-

ром не только в условиях жары, но и при пониженной температуре. Так, при температуре около 0°C при высокой влажности происходит резкое увеличение теплоотдачи организма, что создает особенно неблагоприятные условия для человека.

Подвижность воздуха усиливает теплоотдачу и скорость испарения с поверхности кожи человека. В жаркое время года ветер умеренной силы усиливает испарение и конвекционно удаляет тепло, что способствует лучшей теплоотдаче и охлаждению тела, жара переносится человеком легче. Однако, если температура воздуха выше температуры кожи человека, то ветер уже не охлаждает, а конвекционно нагревает организм. В холодную погоду, и особенно при больших морозах, сильный ветер оказывает отрицательное воздействие на организм.

По ГОСТ 12.1.005—76 все производственные помещения разделены на два класса. К первому классу отнесены помещения с незначительными избытками явного тепла (до $23 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ и менее). Ко второму классу — помещения со значительными избытками (более $23 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$).

Таблица 3.2. Допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений в холодный и переходный периоды года

Категория работ	Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Относительная влажность воздуха, %, не более	Скорость движения воздуха, м/с, не более	Температура воздуха вне постоянных рабочих мест, $^{\circ}\text{C}$
Легкая — I	19—25	75	0,2	15—26
Средней тяжести — IIa	17—23	75	0,3	13—24
То же — IIб	15—21	75	0,4	13—24
Тяжелая — III	13—19	75	0,5	12—19

В производственных помещениях со значительными избытками явного тепла установленные нормы по температуре, влажности и скорости движения воздуха несколько выше, чем для помещений с незначительными избытками тепла.

В зависимости от сезона, категории работ и избытков явного тепла для производственных помещений установлены оптимальные и допустимые нормы метеорологических условий (ГОСТ 12.1.005—76).

По ГОСТ 12.1.005—76 легкие физические работы (категория I) — это работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой, но не требующие систематического физического напряжения или поднятия и переноски тяжестей, энергозатраты до $172 \text{ Дж}/\text{с}$ ($150 \text{ ккал}/\text{ч}$). Физические работы средней тяжести (категория II) охватывают виды деятельности, при которых расход энергии составляет от 172 до $232 \text{ Дж}/\text{с}$ (150 — $200 \text{ ккал}/\text{ч}$) — категория IIa и от 232 до $293 \text{ Дж}/\text{с}$ (200 — $250 \text{ ккал}/\text{ч}$) — категория IIб. К категории IIa относятся работы, связанные с постоянной ходьбой, и работы, выполняемые стоя или сидя, но не требующие перемещения тяжестей. К категории IIб относятся работы, связанные с ходьбой и переноской небольших (до 10 кг) тяжестей.

Тяжелые физические работы (категория III) связаны с систематическим физическим напряжением, в частности, с постоянными передвижениями и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей, энергозатраты при этом более $293 \text{ Дж}/\text{с}$ ($250 \text{ ккал}/\text{ч}$).

Год подразделяется на теплый, холодный и переходный периоды. Теплый период года — период со среднесуточной температурой наружного воздуха $+10^{\circ}\text{C}$ и выше, а холодный — период со среднесуточной температурой наружного воздуха ниже $+10^{\circ}\text{C}$.

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать нормам, указанным в табл. 3.1—3.3. При кондиционировании воздуха должны поддерживаться оптимальные параметры микроклиматических условий.

В помещениях со значительными избытками явного тепла, где на каждого работающего приходится от 50 до 100 м^2 площади пола, допускается в холодный и переходный периоды года понижение температуры воздуха вне постоянных рабочих

Таблица 3.3. Допустимые нормы температуры, относительной влажности воздуха и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений с избытком явного тепла в теплый период года

Категория работ	Температура воздуха в помещении, °C		Относительная влажность в помещениях, %		Скорость движения воздуха в помещении, м/с		Температура воздуха в помещениях вне помещений, °C	
	с минимальным избытком явного тепла	с значительным избытком явного тепла	до 25 °C	до 27 °C	с разницей между избытком явного тепла	от 0,2 до 0,5	с минимальным избытком явного тепла	со значительным избытком явного тепла
Легкая — I	Не более чем на 3 выше средней температуры наружного воздуха в 13 ч самого жаркого месяца, но не более 28	Не более чем на 5 выше средней температуры наружного воздуха в 13 ч самого жаркого месяца, но не более 28	55	60	0,2—0,5	0,2—0,5	Не более чем на 3 выше средней температуры наружного воздуха в 13 ч самого жаркого месяца	Не более чем на 5 выше средней температуры наружного воздуха в 13 ч самого жаркого месяца
Средней тяжести — IIa			65	70	0,2—0,5	0,3—0,7		
То же — IIб			75		0,3—0,7	0,5—1,0		
Тяжелая — III	То же, но не более 26	То же, но не более 26	65	70	0,3—0,7	0,5—1,0		

* Большая скорость движения воздуха соответствует максимальной температуре воздуха, меньшая — минимальной.

мест против нормы до 12°С — при легких работах, до 10°С — при работах средней тяжести и до 8°С — при тяжелых работах. При этом на рабочих местах поддерживаются условия, соответствующие холодному и переходному периодам.

Если на каждого работающего приходится более 100 м² площади пола, то нормативная температура, относительная влажность и скорость движения воздуха обеспечиваются только на постоянных рабочих местах.

3.4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОЗДОРОВЛЕНИЮ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды (поддержание оптимальных и допустимых метеорологических условий, уменьшение концентраций паров, газов и пыли до допустимых значений, исключение перегрева производственной атмосферы нагретыми изделиями, оборудованием и технологическим процессом) относятся следующие.

Механизация и автоматизация производственных процессов, дистанционное управление ими. Эти мероприятия имеют большое значение при выполнении технологических процессов, сопровождающихся пыле-, газо- и парообразованием, интенсивной конвекцией, и работ, связанных с систематическим физическим напряжением (категория III).

Исключение или сведение до минимума образования вредных физических факторов и их поступления в рабочую зону с помощью определенных технологических процессов и оборудования. Это достигается заменой токсичных материалов и веществ нетоксичными, применением вместо твердых и жидких топлив газообразного, нагревом материалов с помощью электромагнитного поля, предусмотрением средств улавливания и подавления вредных веществ в зоне их образования.

Герметизация оборудования и технологических процессов, при которых имеет место образование вредных веществ.

Замена работы с применением сухих материалов работой с увлажненными материалами (мокрое шлифование взамен сухого).

Изоляция участков, на которых выполняются работы с выделением пыли и газа. *Тщательная систематическая уборка помещения* (влажная или с применением пылесосов).

Обеспечение работающих комплексом санитарно-бытовых помещений (душами, умывальниками и т. д.).

Профессиональный отбор лиц для работы в цехах, где имеет место загрязнение воздуха; предварительный и периодический медицинские осмотры.

Установление особого режима работы и отдыха (сокращенный рабочий день, дополнительный отпуск и др.).

Санитарно-техническая пропаганда и обучение безопасным методам работы.

Защита от источников тепловых излучений, с помощью которой достигается уменьшение отдачи тепла лученспусканием и конвекцией.

Устройство вентиляции, кондиционирования воздуха и отопления в соответствии со СНиП II-33—75, ГОСТ 12.4.021 и др.

Одним из важных средств защиты работающего от вредных производственных факторов и неблагоприятных метеорологических условий является применение средств индивидуальной защиты, к которым относятся средства защиты органов дыхания, зрения, слуха, кожных покровов, лица, головы и т. д.

Обязательные мероприятия по предотвращению загрязнения воздушной среды при разработке и организации технологических процессов и конструировании производственного оборудования указаны в Санитарных правилах организации технологических процессов и гигиенических требованиях к производственному оборудованию, утвержденным заместителем министра здравоохранения СССР 4.04.1973 г., № 1042—73, а также в стандартах ССБТ на оборудование и технологические процессы.

3.5. ОТОПЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Системы отопления, вид и параметры теплоносителя, а также типы нагревательных приборов предусматриваются с учетом тепловой инерции ограждающих конструкций и в соответствии с характером и назначением зданий и сооружений по СНиП II-33—75 (табл. 3.4).

В помещениях пультов управления производственным оборудованием предусматриваются системы отопления, обеспечивающие поддержание оптимальных метеорологических условий, как для помещений с категорией легких работ.

Таблица 3.4. Системы отопления

Здания, сооружения и помещения	Система отопления, вид теплоносителя и нагревательных приборов
Производственные помещения с повышенными требованиями к чистоте воздуха	Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией Водяное со встроенными в строительные конструкции нагревательными элементами и стояками Водяное с радиаторами и конвекторами
Помещения с производствами категорий Г и Д, технологический процесс в которых не сопровождается выделением пыли	Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией Воздушное с рециркуляционными агрегатами Водяное и паровое высокого и низкого давлений с ребристыми трубами, радиаторами, конвекторами Водяное со встроенными в строительные конструкции нагревательными элементами и стояками
Производственные помещения, технологический процесс в которых связан с выделением: а) взрывоопасной и негорючей неорганической пыли, негорючих и не поддерживающих горение газов и паров б) невзрывоопасной, органической, возгоняемой, неядовитой пыли в) легковозгоняемых ядовитых веществ	Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией Водяное и паровое с высоким и низким давлениями с радиаторами Водяное со встроенными в строительные конструкции нагревательными элементами и стояками Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией Водяное и паровое низкого давления с радиаторами Водяное со встроенными в строительные конструкции стояками и нагревательными элементами По специальным нормативным документам
Производственные здания и помещения различного назначения со значительными влаговыделениями	Воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией Водяное или паровое с радиаторами и ребристыми трубами
Производственные здания и помещения различного назначения с тепловыделениями	При количестве выделений тепла, достаточном для обогрева помещений, система отопления не проектируется При недостаточном количестве выделений тепла или невозможности использования тепла для обогрева помещений следует предусматривать устройство систем отопления, как для помещений с производствами категорий Г и Д

В зданиях и помещениях с производствами категорий по пожаровзрывоопасности А, Б и Е предусматриваются системы воздушного отопления, работающие на наружном воздухе без рециркуляции.

В системах воздушного отопления в качестве теплоносителя для помещений с производствами категорий А, Б, В и Е применяются горячая вода или пар с температурой не более 150°С.

3.6. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

По способу перемещения воздуха вентиляция бывает двух видов: естественная и механическая. Основное различие между ними заключается в способе осуществления воздухообмена помещений.

Возможно также сочетание естественной и механической вентиляции (смешанная вентиляция) в различных вариантах.

3.6.1. ЕСТЕСТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ (АЭРАЦИЯ)

Аэрацией зданий называют организованную регулируемую естественную вентиляцию. Аэрация осуществляется под действием аэростатического и ветрового давлений. Ее применяют в цехах со значительными тепловыделениями, если концентрация вредных веществ в приточном воздухе не превышает 30% ПДК в рабочей зоне. Аэрацию не применяют, если требуется предварительная обработка приточного воздуха или если приток наружного воздуха вызывает образование тумана или конденсата.

Для притока наружного воздуха в одно- и двухпролетных цехах устраивают проемы в наружных стенах, располагая низ проемов в теплый период года на высоте 0,3—1,8 м; в переходный и холодный периоды года в цехах высотой менее 6 м — не менее 3 м от пола (при этом проемы оборудуют козырьками или другими конструктивными элементами, отклоняющими приточный воздух под углом вверх), а в цехах высотой более 6 м — на высоте не менее 4 м от пола.

Для притока наружного воздуха в многопролетных цехах устраивают проемы в наружных стенах и фонари в «холодных» пролетах, которые должны чередоваться с «горячими», причем «холодные» пролеты отделяют от «горячих» спущенными сверху перегородками, не доходящими до пола на 2—4 м.

Для удаления воздуха из аэрируемого помещения устраивают незадуваемые аэрационные и светоаэрационные фонари или шахты различных конструкций [3].

3.6.2. МЕХАНИЧЕСКАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

При механической вентиляции воздухообмен достигается за счет разности давлений, создаваемой вентилятором, который приводится в движение электромотором. Механическая вентиляция применяется в случаях, когда тепловыделения в цехе недостаточны для круглогодичного использования аэрации, а также если количество или токсичность выделяющихся в воздух помещения вредных веществ требует поддержания постоянного воздухообмена независимо от внешних метеорологических условий.

При механической вентиляции воздух подвергается предварительной обработке: в зимнее время приточный воздух подогревается, в летнее — охлаждается, в необходимых случаях воздух увлажняется или осушается. Если удаляемый механической вентиляцией воздух загрязнен или содержит в большом количестве вредные газы и пары, то он подвергается очистке.

Допустимое содержание пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу, мг/м³, следует определять по следующим формулам:

при объеме воздуха, выбрасываемого в атмосферу, более 15 000 м³/ч

$$Z_1 = 100k; \quad (3.1)$$

при объеме воздуха, выбрасываемого в атмосферу, 15 000 м³/ч и менее

$$Z_2 = (160 - 4L) k, \quad (3.2)$$

где k — коэффициент, принимаемый в зависимости от предельно допустимой концентрации пыли в воздухе рабочей зоны помещения на постоянных рабочих местах (значения k приведены ниже); L — объем удаляемого воздуха, тыс. м³/ч.

ПДК пыли в воздухе рабочей зоны помещения, мг/м³

	k
До 2	0,3
2—4	0,6
4—6	0,8
Свыше 6	1

Выбросы воздуха, удаляемого системами местных отсосов, с концентрациями пыли, не превышающими величин Z_1 и Z_2 , допускается проектировать, не предусматривая средств для очистки.

Выброс в атмосферу воздуха, удаляемого системами местных отсосов от оборудования, содержащего взрывоопасные вещества или вредные вещества 1 и 2 класса опасности или неприятно пахнущие вещества, следует предусматривать выше уровня

аэродинамической тени, создаваемой зданиями, с помощью высоких труб или высокоскоростными струями (факельный выброс).

Механическая вентиляция делится на рабочую и аварийную. В свою очередь рабочая вентиляция подразделяется на общеобменную и местную.

Общеобменная вентиляция может быть выполнена в виде приточной, вытяжной или приточно-вытяжной.

Приточная вентиляция обеспечивает подачу в производственные помещения чистого наружного воздуха. Она может применяться в производственных помещениях со значительными тепловыделениями и малой концентрацией вредных выделений. При этом загрязненный воздух удаляется через фрамуги, дефлекторы или вентиляционные короба.

Вытяжная вентиляция может применяться в производственных помещениях, в которых отсутствуют вредные выделения и необходима малая кратность воздухообмена, — во вспомогательных и бытовых помещениях, на складах.

Приточно-вытяжная вентиляция применяется во всех производственных помещениях, когда требуется повышенный и особо надежный обмен воздуха. При этом в виде вентиляции целесообразно в производственных помещениях с малым количеством вредных выделений создавать небольшой подпор воздуха, а в смежных с ними помещениях со значительными выделениями такого подпора (избыточного давления) воздуха не создавать. Этим будет обеспечена своеобразная изоляция производственных помещений с малыми выделениями вредных веществ от проникновения в них загрязненного воздуха из смежных помещений.

Устройство для подачи свежего воздуха располагается со стороны, противоположной фронту обслуживания оборудования. Высота этих устройств может быть различной, но такой, чтобы загрязненный воздух перемещался в направлении (го) естественного движения. Пары, газы и пыль, более тяжелые, чем воздух, скапливаются в нижних зонах помещения, где следует располагать приемные устройства.

Рециркуляция воздуха в системе приточно-вытяжной вентиляции применяется в холодное время года в целях экономии тепла, затрачиваемого на подогрев воздуха. При рециркуляции часть воздуха, удаляемого из помещения, после соответствующей очистки от вредных веществ снова направляется в помещение.

При использовании принципа рециркуляции необходимо соблюдать следующие условия: количество чистого воздуха, поступающего извне, должно составлять не менее 20% от общего количества воздуха, подаваемого в помещение; воздух, поступающий в помещение, должен содержать не более 30% вредных веществ 4 класса опасности по отношению к предельно допустимой их концентрации в воздухе рабочей зоны.

Применение рециркуляции недопустимо в производственных помещениях, в воздушной среде которых могут быть ядовитые примеси, неприятные запахи и болезнетворные микроорганизмы, или может иметь место резкое увеличение концентрации (превышающее ПДК) вредных и взрывоопасных пылей, паров и газов (СНИП II-33—75).

Смешанная вентиляция применяется обычно в холодный период года, когда поступающий воздух необходимо подогревать, что и осуществляется механической вентиляцией, а удаление воздуха из производственного помещения происходит путем естественной вентиляции.

В помещениях с производствами категорий А, Б и Е и в помещениях, в которые выделяются вредные газы и пары 1, 2, 3 классов опасности, при примыкании к ним помещений с другими производствами и вспомогательных помещений следует предусматривать производительность систем приточной вентиляции с механическим побуждением на 5% меньше производительности систем вытяжной вентиляции.

Разрежение не предусматривается в тех случаях, когда примыкающие помещения отделены стенами или перегородками, не имеющими дверных или других проемов.

Системы местных отсосов и системы общеобменной вытяжной вентиляции проектируются отдельно.

Системы общеобменной приточно-вытяжной вентиляции или кондиционирования воздуха производственных зданий и помещений без естественного проветривания необходимо проектировать, предусматривая не менее двух приточных и двух вытяжных вентиляционных установок, обеспечивающих при выключении одной из них производительность не менее 50% требуемого воздухообмена. При проектировании одной приточной и одной вытяжной установки или кондиционера следует предусматривать

установку резервных вентиляторов с электродвигателями, включаемых автоматически при остановке основных вентиляторов.

Системы аварийной вентиляции предусматриваются в производственных помещениях, в которых возможно внезапное поступление в воздух больших количеств вредных или взрывоопасных веществ в соответствии с требованиями технологической части проекта, ведомственных нормативных документов и СНиП II-33-75.

Количество воздуха, которое необходимо подавать в помещения для обеспечения требуемых параметров воздушной среды в рабочей или обслуживаемой зоне помещений, определяется расчетом на основании количества тепла, влаги и вредных веществ, поступающих в помещения, с учетом неравномерности их распределения по высоте и площади помещений, а также с учетом удаления воздуха от оборудования местными отсосами, общеобменной вентиляцией.

Таблица 3.5. Минимальное количество наружного воздуха, подаваемого в помещения системами вентиляции и кондиционирования воздуха

Объем помещения (участков), приходящийся на 1 чел., м³	Количество наружного воздуха на 1 чел. при естественном проветривании, м³/ч	Кратность воздухообмена при невозможности естественного проветривания для любого объема помещения	Примечание
Менее 20	30	—	—
20 и более	20	60, но не менее однократного обмена в час	При системах, подающих только наружный воздух, и при системах, работающих с рециркуляцией, если последние обеспечивают воздухообмен кратностью 10 и более в час
		60, но не менее 20% воздухообмена	При системах, работающих с рециркуляцией, но при кратности менее 10 в час
		75, но не менее 17,5% воздухообмена	
		90, но не менее 15% воздухообмена	
		105, но не менее 12,5% воздухообмена	
		120, но не менее 10% воздухообмена	

Для каждого периода года при проектировании вентиляции и кондиционирования воздуха следует принимать большую из величин $L_1 \dots L_4$, м³/ч, полученных из расчета по формулам (3.5—3.8).

При этом количество подаваемого наружного воздуха должно быть таким, чтобы во взрывоопасных помещениях взрывоопасная концентрация газов и паров в воздухе помещений не превышала 5% нижнего предела взрываемости, а также по нормам на одного работающего (табл. 3.5).

Количество необходимого подаваемого воздуха по факторам:
по избыткам явного тепла

$$L_1 = L_{0.3} + \frac{Q_{я} - 0,29L_{0.3}(t_{0.3} - t_n)}{0,29(t_{yx} - t_n)}; \quad (3.3)$$

по избыткам влаги

$$L_2 = L_{0.3} + \frac{W - 1,2L_{0.3}(d_{0.3} - d_n)}{1,2(d_{yx} - d_n)}; \quad (3.4)$$

по избыткам полного тепла

$$L_3 = L_{0,3} + \frac{Q_n - 1,2L_{0,3}(t_{0,3} - t_n)}{1,2(t_{yx} - t_n)}; \quad (3.5)$$

по количеству выделяющихся вредных веществ

$$L_4 = L_{0,3} + \frac{Z - L_{0,3}(Z_{0,3} - Z_n)}{Z_{yx} - Z_n}, \quad (3.6)$$

где $L_{0,3}$ — количество воздуха, удаляемого из рабочей или обслуживаемой зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией и на технологические или другие нужды, $\text{м}^3/\text{ч}$, при плотности воздуха $\gamma = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$; Q_n, Q_p — избытки соответственно явного и полного тепла в помещении, Вт; $t_{0,3}$ — температура воздуха, удаляемого из рабочей или обслуживаемой зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией, $^{\circ}\text{C}$; t_{yx}, t_n — температура, соответственно удаляемого и подаваемого воздуха, $^{\circ}\text{C}$; W — избытки влаги в помещении, $\text{г}/\text{ч}$; $d_{0,3}$ — содержание влаги в воздухе, удаляемом из рабочей или обслуживаемой зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией, $\text{г}/\text{кг}$; d_{yx}, d_n — содержание влаги соответственно в удаляемом из помещения и подаваемом в помещение воздухе, $\text{г}/\text{кг}$; $L_{0,3}$ — количество теплоты в воздухе, удаляемом из рабочей или обслуживаемой зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией и на технологические или другие нужды, $\text{кДж}/\text{кг}$; I_{yx}, I_n — количество теплоты соответственно в удаляемом из помещения, подаваемом в помещение воздухе, $\text{кДж}/\text{кг}$; Z — количество вредных веществ, поступающих в воздух помещения, $\text{мг}/\text{ч}$; $Z_{0,3}$ — концентрация вредных веществ в воздухе, удаляемом из рабочей или обслуживаемой зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией, $\text{мг}/\text{м}^3$; Z_{yx} — то же в воздухе, удаляемом из помещения за пределами рабочей или обслуживаемой зоны, $\text{мг}/\text{м}^3$; Z_n — то же в воздухе, подаваемом в помещение, $\text{мг}/\text{м}^3$ ($Z_n \leq 0,3 \text{ ПДК}$).

Для воздуха, поступающего в приемные отверстия и проемы местных отсосов, общеобменной вентиляции, технологических и других устройств, расположенных в рабочей или обслуживаемой зоне помещений,

$$t_{0,3} = t_{\text{норм}}, \quad d_{0,3} = d_{\text{норм}}, \quad I_{0,3} = I_{\text{норм}}, \quad Z_{0,3} = \text{ПДК}.$$

При одновременном выделении в воздух рабочей зоны помещения нескольких вредных веществ, не обладающих однонаправленным характером действия, количество подаваемого воздуха принимают по тому вредному веществу, для которого требуется наибольший его объем. В тех же случаях, когда происходит одновременное выделение нескольких вредных веществ однонаправленного действия, расчет общеобменной вентиляции выполняется путем суммирования объемов воздуха, необходимых для разбавления каждого вещества до его предельной допустимой концентрации.

Температура воздуха, удаляемого из помещения,

$$t_{yx} = t_{\text{норм}} + \Delta t (H - 2), \quad (3.7)$$

где $\Delta t = 1 \dots 5^{\circ}\text{C}/\text{м}$ — температурный градиент по высоте помещения; H — расстояние от пола до центра вытяжных проемов, м; 2 — высота рабочей зоны, м.

Количество тепла, влаги, газов и паров, поступающих в помещения, рассчитывается по методикам, приведенным в работе [3].

3.7. ОЧИСТКА ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ

Воздух очищается от пыли как при подаче наружного воздуха в помещение, так и при удалении из него запыленного воздуха. В первом случае обеспечивается защита работающих в производственных помещениях, а во втором — защита окружающей атмосферы.

Таблица 3.6. Характеристика воздушных фильтров

Вид фильтра	Тип фильтра	Наименование фильтров	Класс фильтров	Воздушная нагрузка на входное сечение, $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$		Сопротивление, $\text{кгс}/\text{м}^2$ (Па)	Пылеемкость, $\text{г}/\text{м}^2$, выходного сечения	Средняя начальная запыленность очищаемого воздуха, $\text{мг}/\text{м}^3$, не более	
				треком-дуемая	допуска-мая			допуска-мая	предел-ная
Смочен-ные по-рыстые	Масляные (с различным заполнением — металлическими пластинками, проволочными и полимерными сетками)	Самопрочищающиеся Кд, КдМ, Кт	III	6000	7000	8 (80)	7—15% (от массы масла в ванне)	0,5	1
		Самоочищающиеся ФШ	III	7000	8000	8 (80)	То же	1	3
Сухие ворсистые	Волокни-стые	Ячейковые ФяР	III	6000	7000	6 (60)	2300	1	3
		Ячейковые ФяВ	III	6000	7000	6 (60)	2600	1	3
		Рулонные ФРУ	III	8000	10000	6 (60)	450	0,5	1
		Ячейковые ФяУ	III	6000	7000	4 (40)	570	0,3	0,5
		Рулонные ФРП	III	5000	9000	10 (100)	1000	4	6
	То же	Ячейковые ЛАИК	I	По каталогам заводов-изготовителей					
		Ячейковые ФяЛ	I	6000	7000	10 (100)	430	0,05	0,15
		Ячейковые ФяП	III	6000	7000	7 (70)	350	0,3	0,5
		Агрегатные ФЭ и тумбочные ЭФ-2	II	7000	8000	1 (10) и 15 (150)	1500	2	10
	Губчатые								
Электрические	Двухэ-нальные промывные								

Работа обеспыливающего оборудования оценивается коэффициентом очистки воздуха, %,

$$E = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1} 100, \quad (3.8)$$

где Z_1 и Z_2 — содержание пыли до и после очистки, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Обеспыливающее оборудование подразделяется на пылеуловители и воздушные фильтры.

Пылеуловители применяются для улавливания пыли из воздушных выбросов вытяжных (аспирационных) вентиляционных систем, если содержание пыли в них превышает концентрации Z_1 и Z_2 , определяемые по формулам (3.3) и (3.4).

Воздушные фильтры применяются для очистки от пыли наружного и рециркуляционного воздуха, подаваемого в помещения системами приточной вентиляции и кондиционирования воздуха.

Подаваемый в помещения воздух подлежит очистке, если концентрация пыли превышает ПДК, кроме того, очистка необходима для защиты вентиляционного оборудования от запыления; для предохранения ценной внутренней отделки помещений и оборудования от загрязнения отложениями мелкодисперсной пыли; для поддержания в помещениях заданной в соответствии с технологическими требованиями чистоты воздуха.

Таблица 3.7. Характеристика основных классов воздушных фильтров

Класс фильтров	Размеры эффективно улавливаемых пылевых частиц, мкм	Эффективность очистки наружного воздуха, % не менее
I	Все	99
II	>1	85
III	10—50	60

Для очистки приточного воздуха от пыли применяют пористые воздушные фильтры и электрические воздушные фильтры промывного типа (табл. 3.6). Пористые фильтры подразделяют на смоченные и сухие. К смоченным пористым фильтрам относятся фильтры с покрытием тонкими пленками вязких нелетучих замасливателей заполнением из металлических пластинок, проволочных или полимерных сеток или нетканых волокнистых слоев. К сухим пористым фильтрам относятся

фильтры с заполнением из нетканых волокнистых слоев, гофрированных полимерных сеток и губчатые, не смоченные замасливатели. По эффективности воздушные фильтры подразделяют на три класса (табл. 3.7).

Таблица 3.8. Характеристика основных классов пылеуловителей

Класс пылеуловителей	Размеры эффективно улавливаемых пылевых частиц, мкм	Группа дисперсности пыли	Эффективность очистки выбросов, %	Класс пылеуловителей	Размеры эффективно улавливаемых пылевых частиц, мкм	Группа дисперсности пыли	Эффективность очистки выбросов, %
I	>0,3—0,5	V	<80	III	>4	III	99—80
II	>2	IV	99,9—80	IV	>8	II	99,9—99
		III	92—45	V	>20	I	99,9—95
			99,9—92			I	>99,9
						I	>99

Таблица 3.9. Области применения различных видов пылеуловителей

Вид пылеуловителя	Тип пылеуловителя	Класс пылеуловителя по эффективности	Область наиболее целесообразного применения					
			Классификационная группа дисперсности пыли					Сопротивление, кгс/м ² (Па), не более
			I	II	III	IV	V	
Гравитационные Инерционные	Пылеосадочные камеры	V						20 (200)
	Циклоны большой производительности (одиночные и групповые)	V						60 (600)
	Циклоны высокой эффективности	IV						200 (2000)
	Батарейные циклоны	IV						200 (2000)
	Центробежные скрубберы ЦВП, СИОТ	IV						100 (1000)
	То же, скоростные	III						200 (2000)
	Струйные ПВМ	II						450 (4500)

Продолжение табл. 3.9.

Вид пылеуловителя	Тип пылеуловителя	Класс пылеуловителя по эффективности	Область наиболее целесообразного применения				
			Классификационная группа дисперсности пыли				
			I	II	III	IV	V
Промыватели Тканевые	Струйные ПВМ	III					150 (1500)
	«Вентури»	I					> 1000 (10000)
	КМП типа «Вентури»	II					450 (4500)
	Пенные	II					200 (2000)
	Сетчатые (для улавливания волокнистой пыли)	V					100 (1000)
Электрические	Матерчатые (рукавные)	I					250 (2500)
		II					150 (1500)
		III					60 (600)
	Электрические пластинчатые	I					30 (300)
		II					60 (600)

Фильтры выбирают с учетом начальной запыленности воздуха, допускаемой остаточной концентрации пыли, сопротивления фильтра, а также его конструктивных и эксплуатационных особенностей [3].

Фильтры III класса устанавливают перед калориферами, I класса — вблизи мест выпуска очищенного воздуха в помещения, место установки фильтров II класса выбирается в зависимости от конкретных требований к очистке воздуха.

Для очистки вентиляционных выбросов применяют пылеуловители гравитационные, инерционные сухого и мокрого типа, пылеуловители-промыватели контактного типа, тканевые и электрические пылеуловители. По эффективности пылеуловители подразделяют на пять классов (табл. 3.8). Пылеуловители, применяемые в СССР для очистки вентиляционных выбросов, приведены в табл. 3.9.

Методика подбора, расчета и конструкция пылеуловителей приведены в работе [9].

3.8. ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПЫЛИ, ГАЗОВ И ПАРОВ С ПОМОЩЬЮ МЕСТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Местная вентиляция обеспечивает вентиляцию непосредственно у рабочего места и подразделяется на приточную и вытяжную. Местная приточная вентиляция служит для создания требуемых условий в ограниченной зоне помещения, а местная вытяжная вентиляция — для улавливания вредных веществ непосредственно у места их выделения и предотвращения их распространения в атмосферу рабочей зоны и всего помещения. Устройства местной вентиляции (местные отсосы) условно разделяются на отсосы открытого и закрытого типа.

3.8.1. УСТРОЙСТВА МЕСТНОЙ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

В зависимости от условий работы и зоны выделения вредных веществ местные приточные вентиляционные устройства делят на стационарные (воздушные души, оазисы и завесы), передвижные (воздушные души) и встроенные (в ручной инструмент и индивидуальные защитные средства).

Воздушное душирование применяется в горячих цехах на местах постоянного пребывания рабочих, подвергающихся воздействию тепловой радиации интенсив-

ностью 350 Вт/м² и более. Для устранения перегрева организма рабочих приточный воздух направляется непосредственно на поверхность тела рабочего. Скорость обдува зависит от интенсивности тепловой радиации и составляет 1—3,5 м/с.

Воздушные оазисы также являются мерой защиты от теплового излучения. Они предназначаются для улучшения метеорологических условий на ограниченной площади помещения, которая отделяется со всех сторон передвижными перегородками и затопливается чистым воздухом с температурой ниже, чем температура воздуха в помещении.

Воздушные завесы применяют с целью предотвращения поступления наружного холодного воздуха в производственное помещение через открытые двери или ворота и защиты людей от его воздействия. Устройство воздушной завесы состоит из воздуховодов с продольными щелями, через которые вентилятором со скоростью более 8 м/с нагнетается воздух под углом 30—45° к плоскости проема навстречу потоку, стремящемуся проникнуть в помещение. Воздушная завеса используется также у проемов в ограждении технологического оборудования, препятствуя выбиванию горячего загрязненного воздуха в помещение, и в других случаях, когда необходимо перекрыть воздушный поток через проем. Нагнетаемый вентилятором воздух часто предварительно подогревается, такое устройство называется воздушной тепловой завесой. В зависимости от места выпуска воздуха завесы устраивают с нижней и боковой подачей воздуха по высоте проема.

Передвижные местные приточные устройства применяются для обслуживания отдельных рабочих мест. В передвижных установках используются осевые вентиляторы, установленные на специальной стойке и осуществляющие подачу воздуха на различные уровни по высоте и под любым углом. Значительно эффективнее передвижные установки, создающие водовоздушные души, т. е. подающие на рабочее место увлажненный воздух. Температура воздуха и скорость его движения при воздушном душировании зависят от тяжести выполняемой работы и интенсивности тепловой радиации.

К встроенным в ручной инструмент устройствам относятся электропаяльник и газовая горелка с обдувом.

Электропаяльник с обдувом обеспечивает отклонение от зоны дыхания конвективного потока, загрязненного аэрозолями свинца, олова, висмута и других металлов, образующихся при пайке оловянно-свинцовыми припоями, а также продуктами возгонки флюса.

Газовая горелка с обдувом позволяет уменьшить концентрацию сварочного аэрозоля в зоне дыхания сварщика.

Встроенными устройствами в защитные индивидуальные средства являются устройства подачи чистого воздуха под маску электросварщика и маска с воздушной защитой «Носорог».

Устройство подачи воздуха под маску служит для предотвращения попадания электросварочного аэрозоля в зону дыхания электросварщика.

Отвод и рассеивание электросварочного факела достигается применением маски с воздушной защитой. На передней стенке маски, ниже рамки со светофильтром, устанавливается перфорированная тонкая трубка. Сжатый воздух подается от компрессора. Струя воздуха, выходящая из трубки, отклоняет электросварочный факел.

3.8.2. МЕСТНАЯ ВЫТЯЖНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ ОТКРЫТОГО ТИПА

В местных отсосах открытого типа (вытяжные зонты, бортовые и боковые отсосы шарнирно-телескопические отсосы, встроенные в рабочие места и инструменты, и перемещаемые отсосы) всасывающее отверстие располагается на некотором расстоянии от источника образования вредных продуктов.

Вытяжные зонты служат для улавливания потоков вредных веществ, направленных вверх. Их рекомендуется применять, когда источник образования пыли, паров и газов перемещается на значительной площади рабочего места как в горизонтальной, так и вертикальной плоскости.

Над источником тепла зонты применяются при устойчивых конвективных потоках, имеющих общую скорость не менее 1 м/с на уровне всасывающего отверстия. При скоростях воздуха в помещении больше 0,4 м/с зонт снабжается фартуками (стѐнными или откидными) с одной, двух или трех сторон. Целесообразно применять зонты с выдвижными козырьками, обеспечивающими максимальное приближение плоскости всасывающего отверстия к месту образования пыли, паров и газов.

Бортовые отсосы применяются преимущественно на ваннах (травильных, гальванических и т. д.) с горячими растворами, выделяющими вредные пары тяжелее воздуха. Эти отсосы могут быть различных конструкций: односторонние, двухсторонние, бортовые со сдувкой и опрокинутые.

Выделяющиеся пары всасываются вместе с воздухом через щелевое всасывающее отверстие с одного (при ширине ванны до 0,7 м) или с обоих (при ширине ванны 0,7—1 м) бортов. Более экономичными являются бортовые отсосы со сдувкой паров с зеркала ванны струей воздуха и опрокинутые бортовые отсосы, а эффективными — двухбортовые отсосы.

С целью уменьшения поверхностей испарения и количества удаляемого воздуха зеркало ванны укрывают шариковыми поплавками или пеной. При этом количество удаляемого воздуха в первом случае уменьшается на 25%, а во втором — на 50%.

Боковые отсосы могут быть различных конструкций: односторонние верхние, угловые, односторонние нижние, комбинированные и наклонные всасывающие панели. Конструктивно они выполняются в виде вертикальных или наклонных панелей с равномерно распределенными всасывающими щелевидными отверстиями или в виде горизонтальных решеток.

Шарнирно-телескопический отсос состоит из сферического шарнира и выдвижного отсасывающего патрубка. Шарнир позволяет отклонять патрубок на 23° от вертикальной оси в любом направлении. В патрубок, жестко прикрепленный к поворотной части шарнира, вставлен другой выдвижной патрубок. Шарнирно-телескопический отсос позволяет обслуживать площадь диаметром 1,2 м. Максимально возможное перемещение отсоса по высоте — 0,5 м.

Отсосы, встроенные в рабочее место, применяются при пайке, сварке и т. д. Различают отсосы с приемными отверстиями в вертикальной плоскости, в плоскости стола и над столом, используют также и наклонные панели. Посты пайки оборудуют местными отсосами непосредственно в зоне пайки и обжига. Для улавливания выделяющихся при пайке вредных паров обычно используются местные отсосы в виде всасывающих круглых или прямоугольных отверстий с открытыми кромками, устанавливаемые в вертикальной плоскости.

Встроенные в инструменты (паяльники) отсосы могут быть кольцевыми и верхними.

Кольцевой отсос располагается в непосредственной близости от паяльника. Посредством полой трубки и гибкого шланга отсос соединяется с магистральным воздуховодом (стальной трубы диаметром 70—76 мм), проложенным под конвейером.

Верхний отсос представляет собой металлическую трубку, всасывающее отверстие которой располагается над концом паяющего стержня. Расстояние от всасывающего отверстия до конца стержня не должно превышать двух диаметров стержня.

Встроенный отсос применяется и при полуавтоматической сварке в защитной среде углекислого газа. Малогабаритный местный отсос совмещен с конструкцией горелки полуавтомата. Эффективная работа местных отсосов достигается при расходе воздуха в пределах 12—20 м³/ч.

Отсосы, перемещаемые вместе с инструментами (при сварке на нефиксированных местах), устанавливаются в непосредственной близости от зоны образования вредных продуктов с помощью пневматического присоска на стенке либо на потолке.

3.8.3. МЕСТНАЯ ВЫТЯЖНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ ЗАКРЫТОГО ТИПА

К отсосам закрытого типа относятся витринные укрытия, вытяжные шкафы, соединенные с рабочими местами, камеры, кабины, кожухи, укрывающие зоны образования вредных продуктов на производственном оборудовании. Закрытые местные отсосы по сравнению с открытыми отсосами более эффективны и экономичны.

Отсосы вытяжного типа (остекленные панели) представляют собой низкие вытяжные шкафы с остекленной верхней крышкой (стекло может быть органическое).

Укрытия-козырьки не имеют верхней остекленной крышки. Рабочий смотрит внутрь укрытия через проем по всему фронту укрытия. Высота рабочего проема принимается 400—600 мм.

Укрытия-боксы, не имеющие открытых проемов, применяются при работе с особо токсичными и радиоактивными веществами. Характерной особенностью боксов является наличие встроенных в них резиновых рукавов с перчатками или манипуляторов, а также специальной форкамеры, служащей для загрузки бокса и удаления из него обрабатываемых материалов и изделий.

Вытяжные шкафы бывают различной конструкции и находят широкое применение при термической и гальванической обработке металла, окраске, развеске и расфасовке сыпучих материалов, при различных операциях, связанных с выделением вредных газов и паров. Различают шкафы с верхним, нижним и комбинированным отсосами.

Камеры и кабины служат для полной вентиляции аппаратуры, выделяющей особо токсичные вещества или работающей под большим давлением. Управление аппаратурой выносится за пределы кабины или камеры, которые должны находиться под разрежением, подача в них, даже в малом количестве, принудительного притока категорически запрещается.

Конструкции местных отсосов и методы определения количества удаляемого воздуха приведены в работах [1; 2; 3].

3.9. РАСЧЕТ ВОЗДУХОВОДОВ И ПОДБОР ВЕНТИЛЯТОРА

Правильность выбора формы и конструктивных размеров элементов вытяжного устройства и воздуховодов проверяется расчетом гидравлического сопротивления его потоку отсасываемого воздуха. Гидравлическое сопротивление должно быть по возможности наименьшим, так как оно определяет марку и типоразмер побудителя, экономичность и эффективность вытяжного устройства.

Общее гидравлическое сопротивление (потери давления) вытяжного устройства и воздуховодов, P_a ,

$$P = \sum_{i=1}^m R_i l_i + \sum_{j=1}^n p_j, \quad (3.9)$$

где R_i — удельные потери давления по длине на i -м участке вентиляционной системы, Па/м; l_i — длина i -го участка, м; p_j — потери давления на j -м местном сопротивлении, Па.

Потери давления на местных сопротивлениях вычисляются по формуле [3]

$$p_j = \xi \frac{\gamma v^2}{2}, \quad (3.10)$$

где ξ — коэффициент местного сопротивления (проточного насадка, колена, тройника); $\frac{\gamma v^2}{2}$ — скоростной напор, определяемый по таблице [3].

Скорость воздуха и диаметр воздуховодов выбираются из условия предотвращения засорения воздуховодов, превышения уровней звукового давления, а также по экономическим соображениям. При этом скорость воздуха в воздуховоде должна постепенно и плавно нарастать от конечного участка сети к вентилятору.

Подбор вентилятора осуществляется по рассчитанным величинам расхода воздуха и общего гидравлического сопротивления. Через проточную часть вентилятора протекает несколько большее количество воздуха за счет подсосов через неплотности в конструктивных элементах местных вытяжных устройств и воздуховодов. Поэтому производительность вентилятора, м³/с,

$$L_a = (1,1 \dots 1,2) L, \quad (3.11)$$

Полное давление p_n , развиваемое вентилятором, расходуется на преодоление сопротивлений во всасывающем и нагнетательном воздуховодах, возникающих при перемещении воздуха:

$$P_n = P_{вс} + P_n, \quad (3.12)$$

где $P_{вс}$ и P_n — потери давления во всасывающем и нагнетательном воздуховодах.

Вентиляторы выбираются по индивидуальным характеристикам [3]. По величинам производительности L_a и развиваемому напору p_n выбираются марки и типоразмеры вентилятора. Вентиляторы следует выбирать такого напора, КПД (η) которых при заданных условиях будет иметь наибольшее значение. На графики, изображающие рабочие характеристики вентиляторов различных марок и типоразмеров, наносится точка, соответствующая требуемым величинам расхода и давления для данного вытяжного устройства, а затем выбирается типоразмер вентилятора, работающего на заданном режиме с наибольшим КПД, и устанавливается рабочее число оборотов ротора вентилятора.

Требуемая мощность на валу вентилятора, кВт,

$$N_v = \frac{L_v \rho_n (273 + t)}{1000 \eta_{293} \cdot 102}, \quad (3.13)$$

где ρ_n — полное давление, развиваемое вентилятором при температуре t .
Необходимая мощность электромотора, кВт,

$$N_m = k \frac{N_v}{\eta_n}, \quad (3.14)$$

где k — коэффициент запаса; η_n — коэффициент полезного действия передачи от электромотора к вентилятору.

Максимальные значения окружной скорости выбираются из условия обеспечения допустимых уровней шума в производственных помещениях.

Наиболее важна зависимость между давлением и производительностью — так называемая напорная характеристика вентилятора p . Если на эту характеристику наложить характеристику сети (зависимость сопротивления от расхода воздуха) (рис. 3.1), то точка пересечения этих кривых (рабочая точка) определит давление и производительность вентилятора при работе в данной сети. При увеличении сопротивления сети, что может произойти, например, при засорении воздухопроводов или фильтров, рабочая точка сместится вверх и вентилятор будет подавать воздуха меньше, чем это нужно ($L_2 < L_1$).

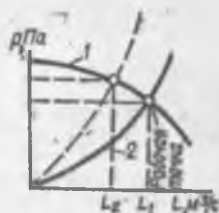


Рис. 3.1. Зависимость между давлением и производительностью вентилятора:

1 — характеристика вентилятора; 2 — характеристика сети.

По принципу работы различают вентиляторы осевые, центробежные или радиальные.

Осевой вентилятор представляет собой расположенное в цилиндрическом кожухе лопаточное колесо, при вращении которого поступающий в вентилятор воздух под действием лопаток перемещается в осевом направлении. Достоинствами осевых вентиляторов являются простота конструкции, возможность экономического регулирования производительности в широких пределах посредством поворота лопаток колеса, бо́льшая производительность. К их недостаткам относятся малое давление и повышенный шум.

Центробежный вентилятор состоит из спирального корпуса с размещенным внутри лопаточным колесом, при вращении которого воздух, поступающий через входное отверстие, попадает в каналы между лопатками колеса и под действием центробежной силы перемещается по этим каналам, собирается корпусом и выбрасывается через выпускное отверстие.

В зависимости от развиваемого давления центробежные вентиляторы делятся на следующие группы: низкого давления — до 1000 Па (100 кгс/м²); среднего давления от 1000 до 3000 Па (100—300 кгс/м²); высокого давления от 3000 до 12 000 Па (300—1200 кгс/м²).

Вентиляторы низкого и среднего давления применяют в установках общеобменной и местной вентиляции, кондиционирования воздуха и т. п. Вентиляторы высокого давления используют, в основном, для технологических целей (например, для дутья в вагранки) и для местных встроенных отсосов.

Перемещаемый вентиляторами воздух может содержать самые разнообразные примеси в виде пыли, газов, паров, кислот и щелочей, а также взрывоопасные смеси. Поэтому в зависимости от состава перемещаемого воздуха вентиляторы изготавливают из определенных материалов и различной конструкции. В обычном исполнении они используются для перемещения чистого или малозапыленного воздуха (до 150 мг/м³ с температурой не выше 150°С). Вентиляторы антикоррозионного исполнения для перемещения агрессивных сред (пары кислот, щелочи) изготавливают из стойких против этих сред материалов — железохромистой и хромоникелевой стали, винилпласта и т. д.

Взрывоопасные смеси, например содержащие водород, ацетилен, перемещаются с помощью вентиляторов взрывобезопасного исполнения. Основное требование, предъявляемое к таким вентиляторам — это полное исключение искрения при их работе (вследствие ударов или трения), поэтому колеса, корпуса и входные патрубки таких вентиляторов изготавливают из алюминия или дюралюминия. Участок вала, находящийся в потоке взрывоопасной смеси, закрывается алюминиевыми колпаками и втулкой, а в месте прохода вала через кожух ставится сальниковое уплотнение.

Пылевые вентиляторы применяются для перемещения пыльного воздуха (содержание пыли более 150 мг/м^3). Рабочие колеса этих вентиляторов изготавливаются из материалов повышенной прочности.

Вентиляторы изготавливают различных размеров и каждому соответствует определенный номер, указывающий величину диаметра рабочего колеса в дециметрах. Например, вентилятор Ц4-70 № 6 имеет диаметр колеса 6 дм. Вентиляторы различных номеров, выполненные по одной и той же аэродинамической схеме, имеют геометрически подобранные размеры и составляют одну серию или тип, например Ц4-70.

Для подбора осевых вентиляторов, как правило, нужно знать требуемую производительность. Номер вентилятора и электродвигатель к нему выбирают по справочникам.

Для подбора центробежных вентиляторов, кроме производительности и давления, необходимо выбирать их конструктивное исполнение.

3.10. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕНТИЛЯЦИИ

Для определения эффективности вентиляционных установок проводятся два вида испытаний: техническое испытание и санитарно-гигиеническая проверка.

Техническое испытание проводится перед пуском смонтированной установки в эксплуатацию, после ремонта и периодически по графику, разработанному вентиляционной службой предприятия, и имеет целью проверить соответствие общего сопротивления установки проектному заданию, качество монтажа или ремонта, а также путем измерений проверить производительность установки, скорость движения воздуха и давления в воздуховодах, температуру и влажность приточного воздуха в соответствии с ГОСТ 12.4.021—75, ГОСТ 12.3.018—79.

Производительность систем приточной вентиляции должна обеспечивать требуемое состояние воздушной среды в соответствии с ГОСТ 12.1.005—76 при параметрах наружного воздуха, соответствующих переходному периоду года. При отсутствии специальных требований производительность систем вентиляции проверяется при температуре наружного воздуха 10°C и относительной влажности 70%.

Шумовые характеристики вентиляторов определяются на основании акустических испытаний в соответствии с ГОСТ 12.2.028—77.

Санитарно-гигиеническая проверка имеет целью установить, обеспечивает ли вентиляционная установка или система требуемый метеорологический режим в помещении и на рабочих местах, а также достаточную чистоту воздуха в соответствии с ГОСТ 12.1.005—76.

3.10.1. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Температуру воздуха определяют при помощи термометров, которые разделяются на обыкновенные (комнатные), максимально-минимальные и парные.

Температура воздуха на рабочих местах измеряется на уровне 1,3—1,5 м от пола в нескольких точках. Если температура воздуха и пола заметно отличается от температуры верхней зоны помещения, измерять температуру воздуха нужно также на уровне ног (0,2—0,3 м от пола).

Для установления наибольшей и наименьшей температур за какой-либо период времени пользуются максимально-минимальным термометром.

Для измерения истинной температуры воздуха в условиях теплового излучения пользуются парным ртутным термометром.

Относительную влажность воздуха измеряют психрометрами и гигрометрами.

Для длительного (в течение суток, недели) и непрерывного измерения и регистрации основных метеорологических факторов применяются самопишущие приборы

термографы — для автоматической записи температуры воздуха, гигрографы — для регистрации изменения во времени влажности воздуха.

При измерении скорости движения воздуха в производственных помещениях следует иметь в виду, что при пульсирующем характере тепловыделений и при неравномерном расположении их источников направление воздушного потока в помещении может резко меняться. В производственных помещениях воздушные потоки часто имеют вихревой, турбулентный характер. Для измерения скорости движения воздуха применяются анемометры двух типов — чашечные и крыльчатые — и катотермометры.

Для непрерывной регистрации изменения атмосферного давления в наземных условиях служат барографы и барометры.

Для определения барометрического давления, температуры воздушной среды и относительной влажности применяется универсальный прибор — баротермогигрометр. Класс точности приборов должен соответствовать ГОСТ 12.3.018—79.

3.10.2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВ, ПАРОВ И ПЫЛИ В ВОЗДУХЕ РАБОЧИХ ПОМЕЩЕНИЙ

По правилам производственной санитарии в каждом цехе должен производиться систематический контроль воздушной среды. Место отбора проб определяют санитарные организации. Для контроля воздушной среды применяют различные методы: лабораторные, экспрессные, индикационные и др.

Лабораторные методы определения вредных веществ в воздухе (титрование, колориметрический, нефелометрический и др.) заключаются в отборе пробы воздуха на производстве и ее анализе в лабораторных условиях. Эти методы дают точные результаты, но исследования могут вестись только специалистами-химиками и занимают много времени.

В ряде случаев необходимо быстрое решение вопроса о степени загрязнения воздушной среды производственного помещения. С этой целью для определения токсических веществ в воздухе разработаны экспрессные методы, позволяющие с достаточной точностью непосредственно в обследуемом производственном помещении определить их концентрацию.

В основе экспрессных методов в большинстве случаев лежат быстротекающие цветные реакции. В них применяются небольшие объемы высокочувствительной поглощательной жидкости для твердого вещества (носителя), пропитанного индикатором. В качестве твердых носителей применяют силикагель или фарфоровый порошок.

Силикагель, пропитанный индикатором, помещают в стеклянную трубочку, и через трубочку пропускают определенный объем исследуемого воздуха. О количестве вредного вещества в воздухе судят по длине окрашенного столбика индикаторной трубки, сравнивая со шкалой. Такой метод быстрого определения вредных веществ в воздухе получил название линейно-фотоколориметрического. Для отбора проб воздуха пользуются прибором, именуемым универсальным газоанализатором (УГ).

В отношении ряда токсических веществ (ртуть, цианистые соединения и некоторые другие), присутствие которых в воздухе нежелательно, требуется принятие особых мер безопасности (пуск аварийной вентиляции, нейтрализации загрязненного участка, использование средств индивидуальной защиты) и применение индикационных методов анализа. Индикационные методы отличаются простотой, с их помощью можно быстро выполнять качественные анализы. Так, например, с помощью бумажки, предварительно пропитанной уксуснокислым свинцом, можно быстро определить присутствие в воздухе сероводорода — она чернеет даже при весьма малых концентрациях (следах) сероводорода в воздухе.

Для определения количества пыли в единице объема воздуха закрытых помещений применяют весовой метод, основанный на принципе изменения массы фильтра после пропускания через него определенного объема исследуемого воздуха.

Наиболее достоверной является методика пылевого контроля с использованием фильтров из искусственной ткани ФПП-15, которые задерживают почти 100% пылевых частиц, так как частицы оседают на фильтре не только вследствие механической фильтрации, но и электростатических свойств ткани. Фильтры имеют малое аэродинамическое сопротивление, позволяющее увеличивать скорость отбора проб и тем самым уменьшать время контроля. Фильтры из ткани ФПП-15 имеют технические обозначения АФА-В-18 и АФА-В-10, что означает: аналитические фильтры аэрозоль-

ные (АФА) для весового анализа (В) с рабочей площадью 18 и 10 см². Для отбора пробы воздуха фильтр устанавливают в специальный алюминиевый или пластмассовый патрон и фиксируют. Эти патроны с помощью резиновых трубок подсоединяют к специальным воздухоудалкам, с помощью которых запыленный воздух пропускается через фильтр.

Массовое содержание пыли дает представление о количестве пыли в единице объема воздуха. Между тем для более полной гигиенической оценки пыли, особенно при наличии в воздухе большого процента очень мелких частиц, необходимо наряду с массовым содержанием пыли знать также размер частиц, а в ряде случаев и количество пылинок, содержащихся в единице объема воздуха. Размер пылевых частиц и их количество определяют наблюдением и подсчетом, пользуясь медицинским или биологическим микроскопами.

Список литературы

1. Гримитани М. И., Сметанин А. В. Местные вытяжные вентиляционные устройства в промышленности. Л., ЛПИ, 1976. 48 с.
2. Сабарио Р. В., Степанов А. Г., Слонченко А. В. Локализация производственных вредностей с помощью местной вентиляции. К., Общество «Знание» УССР, 1978. 40 с.
3. Староверов И. Г. Справочник проектировщика. Ч. II. Вентиляция и кондиционирование воздуха. М., Стройиздат, 1978. 510 с.
4. Техника безопасности и противопожарная техника в электрорадиоэлектронной промышленности / С. П. Павлов, И. П. Павлов, Н. Ф. Слесневичева, Н. А. Сычева. М., Энергия, 1989. 268 с.
5. Юдин Е. Я. Охрана труда в машиностроении. М., Машиностроение, 1978. 338 с.
6. Юдин И. Я. Техника безопасности при работах с полупроводниками. М., Машиностроение, 1988. 200 с.

Глава 4.

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

4.1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСВЕЩЕНИЯ

Правильно выполненная система освещения играет существенную роль в снижении производственного травматизма, уменьшая потенциальную опасность многих производственных факторов, создает нормальные условия работы и повышает общую работоспособность организма. Увеличение освещенности от 100 до 1000 лк при напряженной зрительной работе обуславливает повышение производительности труда на 10—20%, уменьшение брака на 20%, снижение количества несчастных случаев на 30%.

Производственное освещение характеризуется количественными и качественными показателями. Количественными показателями являются световой поток, сила света, освещенность, яркость и светимость. Качественными показателями, определяющими условия зрительной работы, являются фон, контраст объекта с фоном, видимость, цилиндрическая освещенность, показатель ослепленности, показатель дискомфорта и коэффициент пульсации освещенности.

Световой поток Φ (лм) — мощность лучистой энергии, оценивается по световому ощущению, которое испытывает глаз.

Сила света J (кд) — пространственная плотность светового потока, т. е. световой поток, огнесенный к телесному углу, в котором он излучается.

Телесный угол ω (ср) — часть пространства, заключенного внутри конической поверхности, определяется отношением площади, вырезаемой им из сферы произвольного радиуса r , к квадрату этого радиуса.

Освещенность E (лк) — отношение светового потока к площади освещаемой им поверхности.

Яркость B (кд/м²) — отношение силы света в данном направлении к площади проекции излучающей поверхности на плоскость, перпендикулярную к данному направлению излучения.

Светимость M (лм/м²) — отношение светового потока к площади излучающей его поверхности.

В математической форме эти величины записываются:

$$J = \Phi / \omega; \quad \omega = S / r^2; \quad E = \Phi / S; \quad B = J / S \cos \alpha; \quad M = \Phi / S. \quad (4.1)$$

Коэффициент отражения ρ определяется отношением отраженного от поверхности светового потока ($\Phi_{\text{отр}}$) к падающему на нее световому потоку ($\Phi_{\text{пад}}$).

Фон — поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Фон считается светлым при $\rho > 0,4$, средним при $\rho = 0,2 \dots 0,4$ и темным при $\rho < 0,2$.

Яркость участков рабочей поверхности для поверхностей, обладающих диффузным отражением,

$$B_n = E\rho_d/\pi, \quad (4.2)$$

для поверхностей, обладающих направленным отражением,

$$B_n = B_c\rho_s. \quad (4.3)$$

для поверхностей, обладающих направленно-рассеянным и смешанным отражением,

$$B_n = B_c\rho_s + \frac{E\rho_d}{\pi}; \quad (4.4)$$

средневзвешенная по площади яркость рабочей поверхности

$$B_{\text{ср}} = \frac{B_1S_1 + B_2S_2 + \dots + B_nS_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}. \quad (4.5)$$

В формулах (4.1)–(4.5) приняты следующие обозначения: $B_1, B_2, \dots, B_n$ — яркость отдельных участков рабочей поверхности по направлению к глазу работающего, кд/м²; B_c — яркость светящейся поверхности светильника в направлении к рабочей поверхности, кд/м²; E — освещенность рабочей поверхности, лк; ρ_d — коэффициент диффузного отражения рабочей поверхности; ρ_s — коэффициент зеркального отражения рабочей поверхности в направлении глаз работающего; $S_1, S_2, \dots, S_n$ — площадь участков рабочей поверхности, для которых определяется яркость.

Контраст объекта с фоном (K) — соотношение яркостей объекта различения ($B_{\text{об}}$) и фона ($B_{\text{ф}}$):

$$K = \frac{|B_{\text{об}} - B_{\text{ф}}|}{B_{\text{ф}}}. \quad (4.6)$$

Контраст считается большим при $K > 0,5$, средним при $K = 0,2 \dots 0,5$ и малым при $K < 0,2$.

Видимость (V) — характеристика способности глаза воспринимать объект — определяется числом пороговых контрастов ($K_{\text{пор}}$ — наименьший различимый контраст) в контрасте объекта с фоном:

$$V = K/K_{\text{пор}}. \quad (4.7)$$

Цилиндрическая освещенность ($E_{\text{ц}}$) — средняя освещенность боковой поверхности вертикального цилиндра, размеры которого стремятся к нулю. Цилиндрическая освещенность от отдельных светильников определяется делением вертикальной освещенности в плоскости, перпендикулярной к проекции луча, на π .

Показатель ослепленности (P) — критерий оценки слепящего действия, создаваемого осветительной установкой:

$$P = (S - 1) 1000, \quad (4.8)$$

где $S = v_1/v_2$ — коэффициент ослепленности; v_1 — видимость объекта наблюдения при экранировании блеских источников света; v_2 — видимость объекта наблюдения при наличии блеских источников в поле зрения.

Показатель дискомфорта (M) — характеристика качества освещения, определяющая степень дополнительной напряженности зрительной работы, вызванной наличием резкой разницы яркостей одновременно видимых поверхностей в освещенном помещении.

Коэффициент пульсации освещенности ($K_{\text{п}}$) — показатель относительной глубины колебаний освещенности во времени в результате изменения светового потока газоразрядных ламп, питающихся переменным током, %:

$$K_{\text{п}} = \frac{E_{\text{макс}} - E_{\text{мин}}}{2E_{\text{ср}}} 100, \quad (4.9)$$

где $E_{\max}$, $E_{\min}$, $E_{\text{ср}}$ — соответственно максимальное, минимальное и среднее значения освещенности за период колебания.

При исследовании освещения измеряются плоскостная (горизонтальная, вертикальная и наклонная) и объемная (цилиндрическая и полусферическая) освещенности. Для измерения плоскостной освещенности применяется объективный люксметр Ю-16. Люксметр представляет собой сочетание селенового фотоэлемента и миллиамперметра. Световой поток вызывает протекание фототока через миллиамперметр, шкала которого проградуирована в люксах. Прибор имеет три предела измерений: 25, 100 и 500 лк. Светофильтр позволяет расширить диапазоны измерений в 100 раз. Погрешность измерения $\pm 10\%$.

Процесс измерения освещенности следующий: фотоэлемент устанавливают в требуемой плоскости, подбирают необходимую «шкалу», начиная с применения «более грубой шкалы», и отсчитывают освещенность. Объемная освещенность измеряется с использованием специальных насадок на фотоэлемент люксметра.

Яркость измеряется субъективными и объективными фотометрами. Фотометр состоит из собственно измерителя и выносного экрана. Для замера яркости малых площадей объектов применяются микрофотометры. Яркость может измеряться также люксметрами с насадками на фотоэлемент.

Коэффициент отражения измеряется с помощью фотометров и определяется по формуле

$$\rho = B_0/B_{\text{экp}}, \quad (4.10)$$

где B_0 — яркость объекта; $B_{\text{экp}}$ — яркость экрана, уложенного на место объекта.

Контраст между объектом и фоном определяется по формуле (4.6) после измерения яркостей фона и объекта различения.

Измеритель видимости Дашкевича представляет собой очки с пристроенной к ним шкалой, показывающей видимость. Стекла очков — двупреломляющие призмы и поляриод.

Измеритель светотехнических величин Труханова позволяет измерять яркость и освещенность, видимость и различимость. Прибор визуальный, переносный.

В зависимости от источника света производственное освещение бывает естественное и искусственное.

Для создания благоприятных условий труда производственное освещение должно отвечать следующим требованиям:

1. Освещенность на рабочем месте должна соответствовать гигиеническим нормам. Увеличение освещенности рабочей поверхности до определенного предела улучшает видимость объекта, увеличивает скорость различения предметов и повышает производительность труда.

2. Яркость на рабочей поверхности и в пределах окружающего пространства должна распределяться по возможности равномерно, так как при переводе взгляда с ярко освещенной на слабо освещенную поверхность и наоборот глаз должен адаптироваться, что вызывает его утомление. Равномерному распределению яркости способствует светлая окраска потолка, стен, оборудования.

3. Резкие тени на рабочей поверхности должны отсутствовать, так как наличие их создает неравномерное распределение яркости, искажает форму и размеры объектов и вызывает утомление зрения, а наличие подвижных теней, кроме того, способствует возникновению травм.

4. Блескость (прямая или отраженная) должна отсутствовать в поле зрения. Прямая блескость создается поверхностями источников света, и ее уменьшение осуществляется уменьшением яркости источников света, соответствующим выбором защитного угла светильника и увеличением высоты подвеса светильников. Отраженная блескость создается поверхностями с большими коэффициентами и отраженными по направлению к глазам. Ослабление отраженной блескости достигается подбором направления светового потока на поверхность и заменой блестящих поверхностей матовыми.

5. Освещение должно обеспечивать необходимый спектральный состав света для правильно-цветопередачи. Правильную цветопередачу создает естественное освещение и искусственные источники света со спектральной характеристикой, близкой к естественному освещению.

4.2. ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Естественное освещение по своему спектральному составу является наиболее благоприятным. По конструктивным особенностям естественное освещение подразделяется на боковое, осуществляемое через световые проемы в наружных стенах (окна); верхнее, осуществляемое через световые проемы в покрытии и фонари, а также через световые проемы в местах перепадов высот смежных зданий; комбинированное — сочетание верхнего и бокового естественного освещения.

Естественное освещение характеризуется коэффициентом естественной освещенности КЕО (e). КЕО — отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственным или после отражений), к значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода, %.

При боковом естественном освещении нормируется минимальное значение ($e_{\min}$): при одностороннем — в точке, расположенной на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов, а при двустороннем — в точке посередине помещения на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола). При верхнем и комбинированном освещении нормируется среднее значение КЕО:

$$e_{\text{ср}} = \frac{1}{N-1} \left(\frac{e_1}{2} + e_2 + e_3 + \dots + \frac{e_N}{2} \right), \quad (4.11)$$

где N — количество точек определения (первая и последняя точки принимаются на расстоянии 1 м от поверхности наружных стен или перегородок); e_1, e_2, e_3, e_N — значения КЕО при верхнем и комбинированном освещении в точках характерного разреза помещения.

Под условной рабочей поверхностью понимается условно принятая горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола.

Экспериментальное определение КЕО требует одновременного измерения освещенности внутри и снаружи помещения (для замеров необходимы два люксметра и два фотометриста). Замеры должны проводиться, когда небо затянуто облаками. Наружную горизонтальную освещенность необходимо измерять на открытом месте.

Порядок определения КЕО следующий. В помещении выбирается базовая точка, хорошо освещаемая естественным светом, фотозлемент люксметра укладывается на горизонтальную подставку на высоте 1 м от пола, у этого люксметра остается один фотометрист, второй фотометрист располагается на открытом пространстве или на крыше здания и устанавливает горизонтально фотозлемент люксметра. По сигналу третьего лица или по сверенным часам фотометристы измеряют горизонтальную освещенность снаружи и внутри помещения, таких измерений необходимо выполнить не менее 10. Фотометрист, измеривший наружную освещенность, возвращается в помещение и совместно с первым фотометристом выполняет расчеты средних арифметических значений наружной и внутренней (в базовой точке) освещенности, а затем КЕО как частного от деления средней внутренней на среднюю наружную освещенность.

Для определения КЕО в другой точке помещения одновременно замеряется освещенность в базовой точке ($E_{г.б}$), для которой КЕО определен значением $e_б$ и в новой выбранной точке — значением $E_{г.н}$. КЕО для новой точки

$$e_n = e_б \frac{E_{г.н}}{E_{г.б}}. \quad (4.12)$$

Нормированные значения КЕО для зданий, располагаемых в I, II, IV и V поясах светового климата СССР (табл. 4.1), определяются по формуле

$$e_{н. I, II, IV, V}^{III} = e_{н. III}^{III} m C, \quad (4.13)$$

где $e_{н. III}^{III}$ — значение КЕО для зданий, располагаемых в III поясе светового климата (табл. 4.2, 4.3), m — коэффициент светового климата; C — коэффициент солнечности климата.

Таблица 4.1. Значения коэффициентов светового климата m и солнечности климата C (СНИП II-4—79)

Пояс светового климата	Коэффициент светового климата	Коэффициент солнечности климата C								Города СССР, относящиеся к данному поясу светового климата
		при световых проемах, ориентированных по сторонам горизонта (азимут, ...°)								
		в наружных стенах зданий			в прямоугольных и трапециевидных фонарях			в фонарях типа шед	при зенитных фонарях	
		136—225	226—315, 46—135	316—45	69—113, 248—291	24—68, 291—248; 111—158, 294—338	159—203, 339—23	316—45		
I	1,2	0,9	0,95	1	1	1	1	1	1	Бараниха, Воркута, Диксон, Мурманск, Нарьян-Мар, Петрозаводск
II	1,1	0,85	0,9	1	0,95	1	1	1	1	Анадырь, Архангельск, Верхоянск, Вильнюс, Виллюйск, Дудинка, Калининград, Ленинград, Магадан, Оймякон, Рига, Салехард, Сургут, Сыктывкар, Тура, Ханты-Мансийск
III	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Бодайбо, Брест, Воронеж, Горький, Гродно, Иркутск, Красноярск, Курск, Минск, Москва, Новосибирск, Омск, Оренбург, Охотск, Свердловск, Томск, Якутск
IV севернее 50° северной широты		0,75	0,8	1	0,85	0,9	0,95	1	0,9	Актюбинск, Киев, Комсомольск-на-Амуре, Кустанай, Кызыл, Павлодар, Петропавловск, Тындинский, Уральск, Целиноград, Чита

IV 50° северной широты и южнее	0,9	0,7	0,75	0,95	0,8	0,85	0,9	0,95	0,85	Алма-Ата, Владивосток, Волгоград, Караганда, Кишинев, Хабаровск, Харьков, Элиста, Южно-Сахалинск
V севернее 40° северной широты	0,8	0,65	0,7	0,9	0,75	0,8	0,85	0,9	0,75	Баку, Батуми, Грозный, Ереван, Краснодар, Краснояр, Нукус, Ташкент, Симферополь, Тбилиси, Фрунзе
V 40° северной широты и южнее		0,6	0,65	0,85	0,7	0,75	0,8	0,85	0,65	Ашхабад, Душанбе

Таблица 4.2. Нормы освещенности при искусственном освещении и КЕО (для III пояса светового климата СССР) при естественном и совмещенном освещении (СНИП II-4—79)

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Размер зрительной работы	Плоскостная зрительная работа	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона	Освещенность, лк		КЕО, $E_{\text{н}}$, %					
						Искусственная освещенность		Естественное освещение			Совмещенное освещение		
						комбинированное	общее	верхнее или верхнее и боковое	боковое в зоне с устойчивыми световыми излучениями	боковое на остальной территории СССР	верхнее или верхнее и боковое	боковое в зоне с устойчивыми световыми излучениями	боковое на остальной территории СССР
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	a	Малый	Темный	5000	1500	10	2,8	3,5	6	1,7	2
			b	Малый Средний	Средний Темный	4000	1250						
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2500	750						

Продолжение табл. 4.2

Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Характеристика фона	Освещенность, лк		КЭО, %					
						Искусственное освещение		Естественное освещение			Совмещенное освещение		
						комбинированное	общее	верхнее или верхнее в боковое	боковое в зоне с устойчивым светлым покрытием	боковое на остальной территории СССР	верхнее или верхнее в боковое	боковое в зоне с устойчивым светлым покрытием	боковое на остальной территории СССР
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	г	Средний Большой »	Светлый » Средний	1500	400	10	2,8	3,5	6	1,7	2
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,3	II	а	Малый	Темный	4000	1250	7	2	2,5	4,2	1,2	1,5
			б	Малый Средний	Средний Темный	3000	750						
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2000	500						
			г	Средний Большой »	Светлый » Средний	1000	300						
			а	Малый	Темный	2000	500						
			б	Малый Средний	Средний Темный	1000	3000						
Высокой точности	Свыше 0,3 до 0,5	III	в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	750	300	5	1,6	2	3	1	1,2
			г	Средний Большой »	Светлый » Средний	400	200						
Средней точности	Свыше 0,5 до 1	IV	а	Малый	Темный	750	300	4	1,2	1,5	2,4	0,7	0,9
			б	Малый Средний	Средний Темный	500	200						
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200						
			г	Средний Большой »	Светлый » Средний	300	150						
Малой точности	Свыше 1 до 5	V	а	Малый	Темный	300	200	3	0,8	1	1,8	0,5	0,6
			б	Малый Средний	Средний Темный	200	150						
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	—	150						
			г	Средний Большой »	Светлый » Средний	—	100						
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI	—	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном	—	150		2	0,4	0,5	1,2	0,3	0,3

КЕО при боковом освещении

$$e_6 = (e_6 q + e_{зд} R) r_1 \frac{\tau_0}{K_3}; \quad (4.14)$$

при верхнем

$$e_6 = [e_6 + e_{ср} (r_2 K_\phi - 1)] \frac{\tau_0}{K_3}; \quad (4.15)$$

при комбинированном

$$e_k = e_6 + e_6. \quad (4.16)$$

В формулах (4.14—4.16) приняты следующие обозначения: e_6 , e_6 , $e_{ср}$, $e_{зд}$ — геометрические коэффициенты естественной освещенности (определяются по методу А. М. Данилюка); q — коэффициент, учитывающий неравномерную яркость облачного неба (табл. 4.4, рис. 4.1); R — коэффициент, учитывающий относительную яркость противостоящего здания (табл. 4.5); τ_0 — общий коэффициент светопропускания.

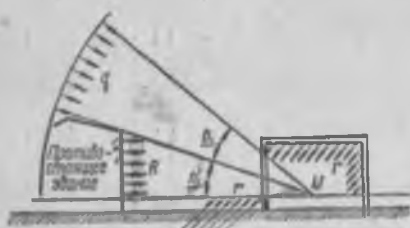


Рис. 4.1. Схема для определения КЕО при боковом освещении.

Этот коэффициент

$$\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4. \quad (4.17)$$

где τ_1 , τ_2 , τ_3 , τ_4 — коэффициенты, принимаемые по табл. 4.6; $\tau_5 = 0,9$; r_1 , r_2 — коэффициенты, учитывающие повышение КЕО за счет отражения (табл. 4.7, 4.8); K_ϕ — коэффициент, учитывающий тип фонаря (табл. 4.9); K_3 — коэффициент запаса (табл. 4.10).

Расчет геометрических КЕО по методу А. М. Данилюка следующий. Геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямую свет неба,

$$e_6 = 0,01 n_1 n_2. \quad (4.18)$$

где n_1 — количество «лучей» по графику I (рис. 4.2), проходящих от неба через световые проемы в расчетную точку на поперечном разрезе помещения; n_2 — количе-

Таблица 4.4. Значения коэффициента q , учитывающего неравномерную яркость облачного неба (СНиП II-4—79)

Угловая высота середины светопроема над рабочей поверхностью, ...°	q		Угловая высота середины светопроема над рабочей поверхностью, ...°	q	
	в зоне с устойчивым снежным покровом	на остальной территории СССР		в зоне с устойчивым снежным покровом	на остальной территории СССР
2	0,71	0,46	50	1,08	1,08
6	0,74	0,52	54	1,12	1,12
10	0,77	0,58	58	1,16	1,16
14	0,8	0,64	62	1,18	1,18
18	0,84	0,69	66	1,21	1,21
22	0,86	0,75	70	1,23	1,23
26	0,9	0,8	74	1,25	1,25
30	0,92	0,86	78	1,27	1,27
34	0,95	0,91	82	1,28	1,28
38	0,98	0,96	86	1,28	1,28
42	1	1	90	1,29	1,29
46	1,04	1,04			

Примечание. При промежуточных значениях угловой высоты значения q находят линейной интерполяцией.

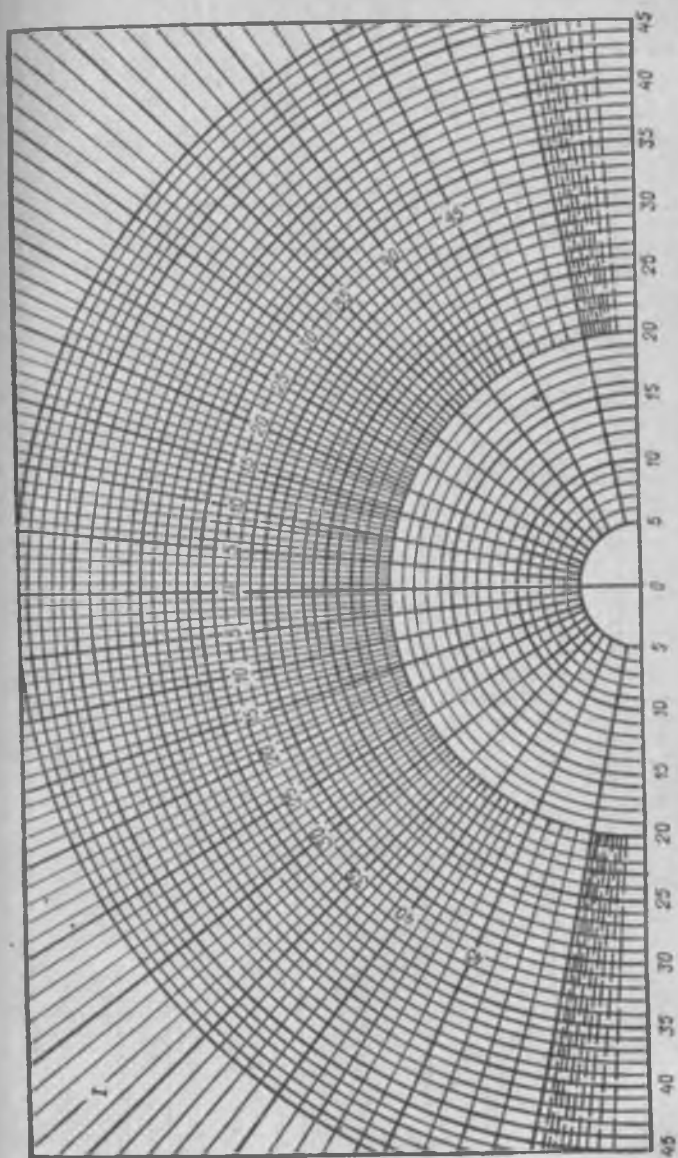
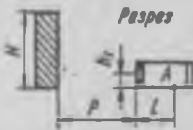


Рис. 4.2. График I для подсчета количества «лучей», проходящих через световой проем на характерном поперечном разрезе помещения при боковом освещении.

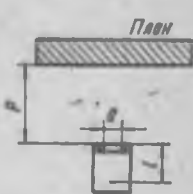
Таблица 4.5. Значения коэффициента R , учитывающего относительную яркость противостоящего здания (СНиП II-4-79)

Отделочный материал фасада противостоящего здания	Индекс противостоящего здания в плане $z_1 = \frac{l_{пл}}{(P+l) a}$	R								Схема расположения противостоящего здания
		Индекс противостоящего здания в разрезе $z_2 = \frac{Hl}{(P+l) h_1}$								
		0,1	0,5	1	1,5	2	3	4	5 и более	
Кирпич или бетон	1	0,14	0,25	0,26	0,23	0,2	0,15	0,11	0,06	
	1,5	0,14	0,23	0,25	0,22	0,19	0,14	0,1	0,05	
	3	0,14	0,21	0,23	0,2	0,18	0,12	0,08	0,04	
	6	0,14	0,2	0,22	0,2	0,17	0,12	0,08	0,04	
	10 и более	0,14	0,18	0,2	0,18	0,16	0,11	0,08	0,04	
Блоки облицовочные керамические	1	0,16	0,3	0,3	0,26	0,23	0,17	0,13	0,07	
	1,5	0,16	0,26	0,28	0,25	0,22	0,16	0,12	0,06	
	3	0,16	0,24	0,26	0,24	0,2	0,14	0,1	0,05	
	6	0,16	0,23	0,25	0,23	0,2	0,13	0,09	0,05	
	10 и более	0,16	0,21	0,23	0,21	0,18	0,12	0,09	0,04	
Краска фасадная цветная на бетоне (светлая атмосферостойкая)	1	0,2	0,36	0,37	0,33	0,29	0,21	0,16	0,08	
	1,5	0,2	0,33	0,35	0,32	0,28	0,2	0,15	0,07	
	3	0,2	0,3	0,33	0,3	0,25	0,18	0,12	0,06	
	6	0,2	0,29	0,32	0,29	0,24	0,17	0,12	0,06	
	10 и более	0,2	0,26	0,29	0,26	0,23	0,16	0,11	0,05	
Краска фасадная на бетоне (белая атмосферостойкая)	1	0,25	0,45	0,46	0,4	0,37	0,27	0,2	0,1	
	1,5	0,25	0,42	0,44	0,4	0,35	0,24	0,19	0,09	
	3	0,25	0,38	0,41	0,37	0,32	0,22	0,15	0,08	
	6	0,25	0,37	0,4	0,36	0,31	0,21	0,15	0,08	
	10 и более	0,25	0,33	0,36	0,32	0,28	0,19	0,14	0,07	

Разрез



План



Примечания. 1. В таблице приняты обозначения: $l_{пл}$, H — длина и высота противостоящего здания, м; l — расстояние расчетной точки A в рассматриваемом помещении от внешней поверхности наружной стены, м; P — удаление противостоящего здания, м; a , h_1 — соответственно ширина окна в плане и высота верхней грани окна над полом, м. 2. При расположении противостоящего здания торцом значения R умножаются на 1,5.

Таблица 4.6. Значения коэффициентов светопропускания τ_1 , τ_2 , τ_3 и τ_4 (СНиП II-4-79)

Вид светопропускающего материала	τ_1	Вид переплета	τ_2	Вид несущих конструкций покрытий	τ_3	Солнцезащитные устройства, изделия и материалы	τ_4
Стекло оконное листовое: одинарное двойное тройное	0,9 0,8 0,75	Переплеты для окон и фонарей промышленных зданий деревянные: одинарные спаренные двойные раздельные	 0,75 0,7 0,6	Стальные фермы Железобетонные и деревянные фермы и арки Балки и рамы сплошные при высоте сечения: 50 см и более менее 50 см	0,9 0,8 0,9	Убирающиеся регулируемые жалюзи и шторы (междустекольные, внутренние, наружные) стационарные жалюзи и экраны с защитным углом не более 45° при расположении пластин жалюзи или экранов под углом 90° к плоскости окна: горизонтальные вертикальные	 0,65 0,75
Стекло витринное толщиной 6—8 мм	0,8	стальные: одинарные открывающиеся одинарные глухие двойные открывающиеся	 0,75 0,9 0,6 0,8			Горизонтальные козырьки: с защитным углом не более 30° с защитным углом от 15 до 45° (многоступенчатые)	 0,8 0,9—0,6
Стекло листовое армированное	0,6	Переплеты для окон жилых, общественных и вспомогательных зданий					
Стекло листовое узорчатое	0,65	деревянные: одинарные спаренные двойные раздельные с тройным остеклением	 0,8 0,75 0,65 0,5				
Стекло листовое со специальными свойствами: солнцезащитное контрастное	0,65 0,75	металлические: одинарные спаренные двойные раздельные с тройным остеклением	 0,9 0,85 0,8 0,7				
Органическое стекло: прозрачное молочное	0,9 0,6	Стекложелезобетонные панели с пустотелыми стеклянными блоками при толщине шва: 20 мм и менее более 20 мм	 0,9 0,85				
Пустотелые стеклянные блоки: светорассеивающие светопрозрачные	0,5 0,55 0,8						
Стеклопакеты							

Таблица 4.7. Значения коэффициента r_1 , учитывающего повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя прилегающего к зданию (СНиП II-4-79)

Отношение $H : h_1$	Отношение $l : H$	r_1 при боковом одностороннем освещении									r_1 при боковом двустороннем освещении								
		Среднеарифметический коэффициент отражения поверхностей помещения $\rho_{ср}$																	
		0,5			0,4			0,3			0,5			0,4			0,3		
		Отношение длины помещения к его глубине																	
		0,5	1	2 и более	0,5	1	2 и более	0,5	1	2 и более	0,5	1	2 и более	0,5	1	2 и более	0,5	1	2 и более
От 1 до 1,5	0,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1,05	1	1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1,05	1	1
	0,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,2	1,1	1,1	1,35	1,25	1,15	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	1	2,1	1,9	1,5	1,8	1,6	1,3	1,4	1,3	1,2	1,6	1,4	1,25	1,45	1,3	1,15	1,25	1,15	1,1
Более 1,5 до 2,5	0	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1	1
	0,3	1,3	1,2	1,1	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05	1,3	1,2	1,1	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05
	0,5	1,65	1,6	1,3	1,5	1,35	1,2	1,3	1,2	1,1	1,8	1,45	1,25	1,4	1,25	1,15	1,25	1,15	1,1
	0,7	2,25	2,15	1,7	2	1,6	1,3	1,55	1,35	1,2	2,1	1,75	1,5	1,75	1,45	1,2	1,3	1,25	1,2
	1	3,8	3,3	2,4	2,8	2,4	1,8	2	1,8	1,5	2,35	2	1,6	1,9	1,6	1,5	1,5	1,35	1,2

Более 2,5 до 3,5	0,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1	1	1	1	1	1,1	1,05	1,05	1,05	1	1	1	1	1
	0,2	1,15	1,1	1,05	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,15	1,1	1,05	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1,05
	0,3	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,05
	0,4	1,35	1,25	1,2	1,2	1,15	1,1	1,15	1,1	1,1	1,35	1,2	1,2	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,1
	0,5	1,6	1,45	1,3	1,35	1,25	1,2	1,25	1,15	1,1	1,5	1,4	1,25	1,3	1,2	1,15	1,2	1,1	1,1
	0,6	2	1,75	1,45	1,6	1,45	1,3	1,4	1,3	1,2	1,8	1,6	1,35	1,5	1,35	1,2	1,35	1,25	1,15
	0,7	2,6	2,2	1,7	1,9	1,7	1,4	1,6	1,5	1,3	2,25	1,9	1,45	1,7	1,5	1,25	1,5	1,4	1,2
	0,8	3,6	3,1	2,4	2,4	2,2	1,55	1,9	1,7	1,4	2,8	2,4	1,9	1,9	1,6	1,3	1,65	1,5	1,25
	0,9	5,3	4,2	3	2,9	2,45	1,9	2,2	1,85	1,5	3,65	2,9	2,6	2,2	1,9	1,5	1,8	1,6	1,3
	1	7,2	5,4	4,3	3,6	3,1	2,4	2,6	2,2	1,7	4,45	3,35	2,65	2,4	2,1	1,6	2	1,7	1,4
Более 3,5	0,1	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1	1,2	1,15	1,1	1,1	1,1	1,05	1,05	1,05	1
	0,2	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,1	1,05	1,05	1,4	1,3	1,2	1,2	1,15	1,1	1,1	1,05	1,05
	0,3	1,75	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2	1,25	1,2	1,1	1,75	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2	1,25	1,2	1,1
	0,4	2,4	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,4	1,3	1,2	2,35	2	1,75	1,6	1,4	1,3	1,35	1,25	1,15
	0,5	3,4	2,9	2,5	2	1,8	1,5	1,7	1,5	1,3	3,25	2,8	2,4	1,9	1,7	1,45	1,65	1,5	1,3
	0,6	4,6	3,8	3,1	2,4	2,1	1,8	2	1,8	1,5	4,2	3,5	2,85	2,25	2	1,7	1,95	1,7	1,4
	0,7	6	4,7	3,7	2,9	2,6	2,1	2,3	2	1,7	5,1	4	3,2	2,55	2,3	1,85	2,1	1,8	1,5
	0,8	7,4	5,8	4,7	3,4	2,9	2,4	2,6	2,3	1,9	5,8	4,5	3,6	2,8	2,4	1,95	2,25	2	1,6
	0,9	9	7,1	5,6	4,3	3,6	3	3	2,6	2,1	6,2	4,9	3,9	3,4	2,8	2,3	2,45	2,1	1,7
	1	10	7,3	5,7	5	4,1	3,5	3,5	3	2,5	6,3	5	4	3,5	2,9	2,4	2,6	2,25	1,9

Примечание. В таблице приняты обозначения: B — глубина помещения; h_1 — высота от условной рабочей поверхности до верха окна; l — расстояние расчетной точки от наружной стены.

ство «лучей» по графику II (рис. 4.3), проходящих от неба через световые проемы в расчетную точку на плане помещения.

Порядок подсчета количества «лучей» по графикам I и II А. М. Данилюка следующий:

а) график I накладывается на чертеж поперечного разреза помещения так, чтобы полюс (центр) O графика совмещался с расчетной точкой, а нижняя линия графика — со следом условной рабочей поверхности;

б) подсчитывается количество «лучей» n_1 , проходящих через поперечный разрез светового проема;

в) отмечается номер полуокружности графика, проходящей через точку, расположенную посередине светопроема;

г) график II накладывается на план помещения так, чтобы его вертикальная ось и горизонталь, номер которой соответствует номеру концентрической окружности (п. «в»), проходили через точку, расположенную посередине светопроема;

д) подсчитывается количество «лучей» n_2 , проходящих в расчетную точку через световой проем на плане помещения.

Геометрический КЕО, учитывающий свет, отраженный от противостоящего здания,

$$\epsilon_{\text{зд}} = 0,01 n_1' n_2', \quad (4.19)$$

где n_1' — количество «лучей» по графику I, проходящих от противостоящего здания через световой проем в расчетную точку на поперечном разрезе помещения (определяется аналогично n_1); n_2' — количество «лучей» по графику II, проходящих от про-

Таблица 4.8. Значения коэффициента r_2 повышения КЕО при верхнем освещении за счет света, отраженного от поверхностей помещения (СНиП II-4—79)

Отношение $H_{\Phi} : l_1$	r_2 при $\rho_{\text{ср}}$								
	0,5			0,4			0,3		
	Количество пролетов								
	1	2	3 и более	1	2	3 и более	1	2	3 и более
2	1,7	1,5	1,15	1,6	1,4	1,1	1,4	1,1	1,05
1	1,5	1,4	1,15	1,4	1,3	1,1	1,3	1,1	1,05
0,75	1,45	1,35	1,15	1,35	1,25	1,1	1,25	1,1	1,05
0,5	1,4	1,3	1,15	1,3	1,2	1,1	1,2	1,1	1,05
0,25	1,35	1,25	1,15	1,25	1,15	1,1	1,15	1,1	1,05

Примечание. В таблице приняты обозначения: H_{Φ} — высота от условной рабочей поверхности до нижней грани остекления; l_1 — ширина пролета.

Таблица 4.9. Значение коэффициента K_{Φ} , учитывающего тип фонаря естественного освещения (СНиП II-4—79)

Тип фонаря и проема	K_{Φ}
Световой проем в плоскости покрытия:	
ленточный	1
штучный	1,1
Фонарь с наклонным двусторонним остеклением (трапецевидный)	1,15
Фонарь с вертикальным двусторонним остеклением (прямоугольный)	1,2
Фонарь с односторонним наклонным остеклением (шед)	1,3
Фонарь с односторонним вертикальным остеклением (шед)	1,4

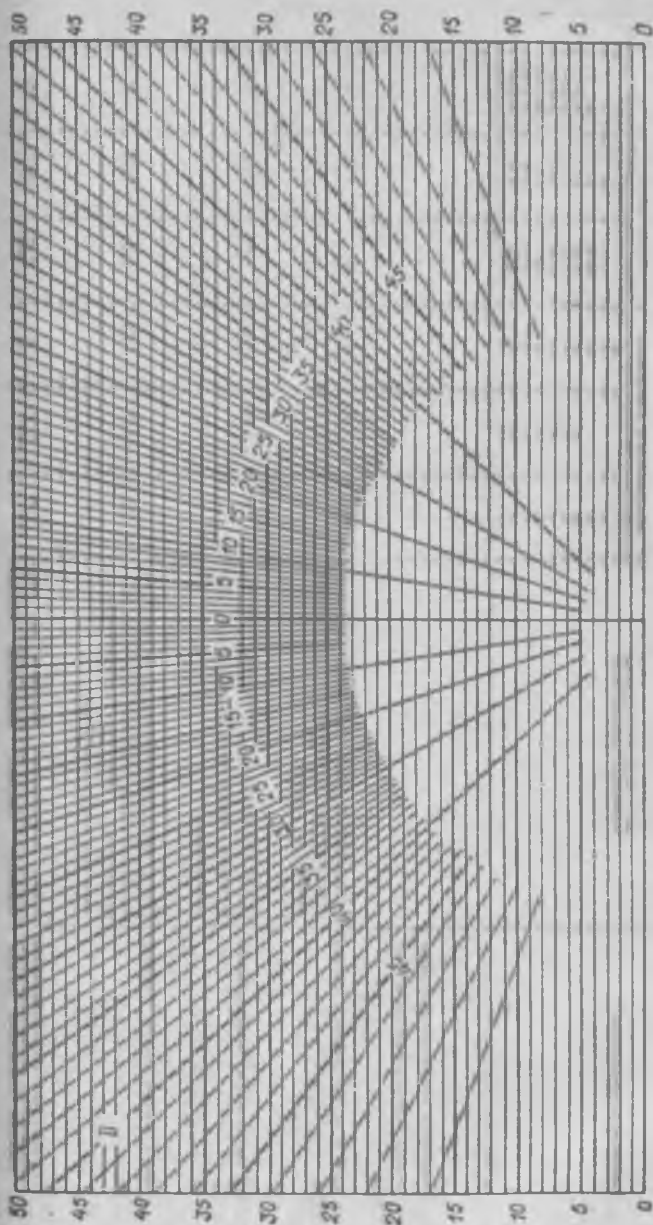


Рис. 4.3. График II для подсчета количества «лучей», проходящих через световой проем на плане (при боковом освещении) или на продольном разрезе (при верхнем освещении) помещения.

82 Таблица 4.10. Значение коэффициента запаса K_z и сроки чистки заполнений световых проемов и светильников (СНиП II-4-79)

Помещения и территории	Примеры помещений	K _з					Количество чисток в год	
		при естественном освещении в расположении светопропускающего материала			при искусственном освещении			
		вертикально	наклонно	горизонтально	Газоразрядные лампы	Лампы накаливания	заполнений световых проемов	светильников
Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне:								
а) свыше 5 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	Агломерационные фабрики, цементные заводы и обрубные отделения литейных цехов	1,5	1,7	2	2	1,7	4	18
б) от 1 до 5 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	Цехи кузнечные, литейные, мартеновские, сварочные, сборного железобетона	1,4	1,5	1,8	1,8	1,5	3	6
в) менее 1 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	Цехи инструментальные, сборочные, механические, механосборочные, пошивочные, ткацкие, прядильные, деревообрабатывающие	1,3	1,4	1,5	1,5	1,3	2	4
г) значительные концентрации паров, кислот, щелочей, газов, способные при соприкосновении с влагой образовать слабые	Цехи химических заводов по выработке кислот, щелочей, едких химических реактивов, ядохимикатов, удобрений; цехи гальваниче-	1,5	1,7	2	1,8	1,5	3	6
растворы кислот, щелочей, обладающих большой корродирующей способностью	ских покрытий и гальванопластики с применением электролиза							
Производственные помещения с особым режимом по чистоте воздуха при обслуживании светильников:								
а) с технического этажа		—	—	—	1,3	1,15	2	4
б) снизу из помещения		—	—	—	1,4	1,2	2	2
Помещения общественных зданий	Кабинеты и рабочие помещения, учебные помещения, лаборатории, читальные залы, залы совещаний и т. д.	1,2	1,4	1,5	1,5	1,3	2	2
Территории:								
а) металлургических, химических, горнодобывающих предприятий, шахт, рудников, железнодорожных станций		—	—	—	1,5	1,4	—	4
б) промышленных предприятий (кроме указанных в п. а) и общественных зданий		—	—	—	1,5	1,3	—	2

Примечания: 1. Коэффициенты запаса установлены с учетом приведенного количества чисток в год заполнений световых проемов и светильников. 2. Значения коэффициента запаса при естественном освещении следует умножать на 1,1 при применении узорчатого стекла, стеклопластика, армопленки и матированного стекла, а также при использовании световых проемов для аэрации; на 0,9 — при применении органического стекла.

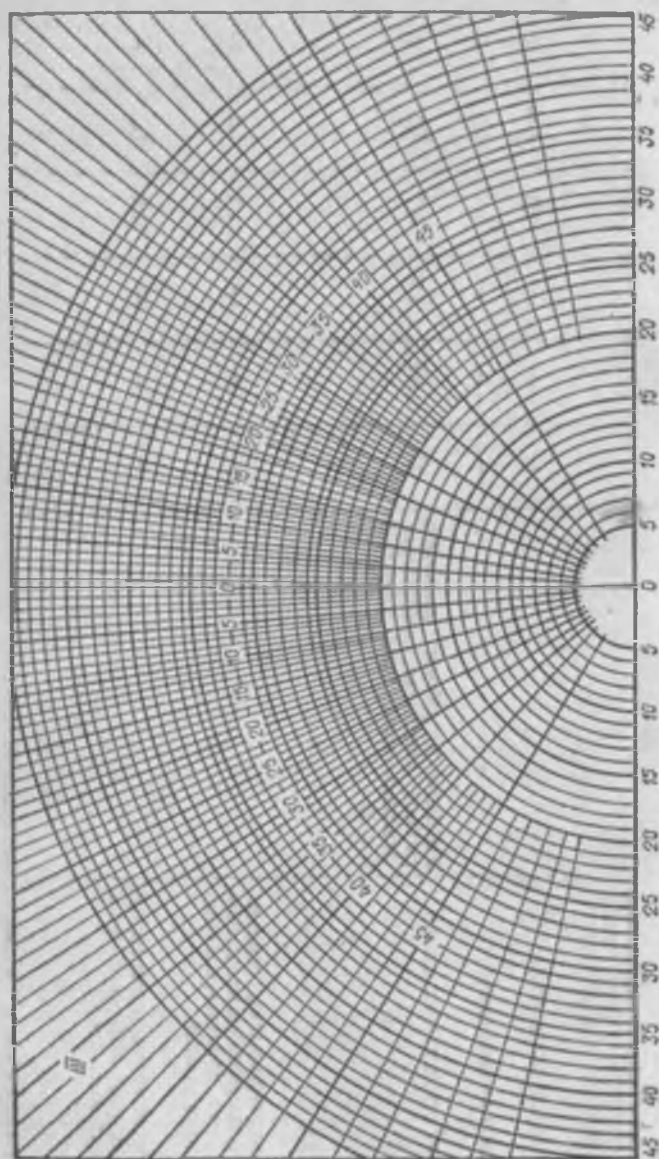


Рис. 4.4. График III для подсчета количества «лучей», проходящих через световые проемы на поперечном разрезе помещения при верхнем освещении.

тивостоящего здания через световой проем в расчетную точку на плане помещения (определяется аналогично n_2).

Геометрический КЕО при верхнем освещении определяется из соотношения

$$e_n = 0,01 n_3 n_2, \quad (4.20)$$

где n_2 — количество «лучей» по графику III (рис. 4.4), проходящих в расчетную точку через световой проем на характерном поперечном разрезе помещения; n_3 — количество «лучей» по графику II, проходящих в расчетную точку через световой проем на продольном разрезе помещения.

Таблица 4.11. Значения световой характеристики η_0 световых проемов при боковом освещении (СНиП II-4—79)

Отношение $l_n : B$	η_0 при $B : h_1$							
	1	1,5	2	3	4	5	7,5	10
4 и более	6,5	7	7,5	8	9	10	11	12,5
3	7,5	8	8,5	9,6	10	11	12,5	14
2	8,5	9	9,5	10,5	11,5	13	15	17
1,5	9,5	10,5	13	15	17	19	21	23
1	11	15	16	18	21	23	26,5	29
0,5	18	23	31	37	45	54	66	—

Примечание. В таблице приняты обозначения: l_n — длина помещения; B — глубина помещения; h_1 — высота от уровня условной рабочей поверхности до верха окна.

Таблица 4.12. Значения коэффициента $K_{зд}$, учитывающего затенение окон противостоящими зданиями (СНиП II-4—79)

$P : H_{зд}$	0,5	1	1,5	2	3 и более
$K_{зд}$	1,7	1,4	1,2	1,1	1

Примечание. В таблице приняты обозначения: P — расстояние между рассматриваемым и противостоящим зданиями; $H_{зд}$ — высота расположения карниза противостоящего здания над подоконником рассматриваемого окна.

Средний геометрический КЕО определяется из соотношения

$$e_{cp} = \frac{1}{100N} \sum_{i=1}^N (n_1 n_2)_i, \quad (4.21)$$

где N — количество точек, в которых определяется КЕО.

Метод расчета площади световых проемов следующий. Отношение площади световых проемов (окон) к площади пола помещения S_o/S_n , %, обеспечивающее нормированные значения КЕО при боковом освещении помещения, определяется по формуле

$$100 \frac{S_o}{S_n} = \frac{e_n \eta_0}{e_{cp1}} K_{зд} K_{ст}, \quad (4.22)$$

где η_0 — световая характеристика окна (табл. 4.11); $K_{зд}$ — коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями (табл. 4.12).

8 Таблица 4.13. Значения световой характеристики фонарей η_{ϕ} (прямоугольные, трапециевидные, шед) по СНиП II-4—79

Тип фонаря	Количество пролетов	η_{ϕ}								
		при отношении длины помещения l_n к ширине пролета l_p								
		1—2			2—4			более 4		
		и отношении высоты помещения H к ширине пролета l_p								
		0,2—0,4	0,4—0,7	0,7—1	0,2—0,4	0,4—0,7	0,7—1	0,2—0,4	0,4—0,7	0,7—1
С вертикальным двусторонним остеклением (прямоугольные, М-образные)	1	5,8	9,4	16	4,6	6,8	10,5	4,4	6,4	9,1
	2	5,2	7,5	12,8	4	5,1	7,8	3,7	4,6	6,5
	3 и более	4,8	6,7	11,4	3,3	4,5	6,9	3,4	4	5,6
С наклонным двусторонним остеклением (трапециевидные)	1	3,5	5,2	6,2	2,8	3,8	4,7	2,7	3,6	4,1
	2	3,2	4,4	5,3	2,5	3	4,1	2,3	2,7	3,4
	3 и более	3	4	4,7	2,35	2,7	3,7	2,1	2,4	3
С вертикальным односторонним остеклением (шеды)	1	6,4	10,5	15,2	5,1	7,6	10	4,9	7,1	8,5
	2	6,1	8	11	4,7	5,5	6,6	4,35	5	5,5
	3 и более	5	6,5	8,2	4	4,3	5	3,6	3,8	4,1
С наклонным односторонним остеклением (шеды)	1	3,8	4,55	6,8	2,9	3,4	4,5	2,5	3,2	3,9
	2	3	4,3	5,7	2,3	2,9	3,5	2,15	2,65	2,9
	3 и более	2,7	3,7	5,1	2,2	2,5	3,1	2	2,25	2,5

Таблица 4.14. Значения световой характеристики световых проемов η_{ϕ} в плоскости покрытия при верхнем освещении (СНиП II-4—79)

Схемы фонарей	Отноше-ние $\frac{S_2}{S_1 + S_6}$	η_{ϕ}								
		Индикс помещения l								
		0,5	0,7	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4
 	0,05	25	19	16	14,3	13,3	12	11,5	11	10,5
	0,1	13	10,3	8,5	7,7	7	6,3	6	5,8	5,5
	0,2	7	5,6	4,6	4,2	3,8	3,4	3,3	3,1	3
	0,3	5	4	3,3	2,9	2,7	2,4	2,3	2,2	2,1
	0,4	4,2	3,3	2,7	2,4	2,2	2	1,9	1,85	1,8
	0,5	3,7	2,9	2,4	2,1	2	1,8	1,7	1,6	1,55
	0,6	3,3	2,6	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,45	1,4
	0,7	3,1	2,4	2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,35	1,3
	0,8	2,9	2,3	1,9	1,7	1,55	1,4	1,35	1,3	1,2
	0,9	2,8	2,2	1,8	1,6	1,5	1,35	1,3	1,25	1,2

Примечание. В таблице приняты обозначения: S_1 , S_2 — площади входного и выходного отверстий фонаря, соответственно; S_6 — площадь боковой поверхности проема; $l = \frac{l_n b}{H(l_n + b)}$, где l_n — длина помещения вдоль оси пролетов, b — ширина помещения, H — высота покрытия над условной рабочей поверхностью.

Отношение площади световых проемов (фонарей) к площади пола определяется по формуле

$$100 \frac{S_{\Phi}}{S_{\Pi}} = \frac{e_{\Pi} \eta_{\Phi}}{\tau_{\Phi} K_{\Phi}} K_{\Sigma} \quad (4.23)$$

где e_{Π} — световая характеристика фонаря или светового проема в плоскости покрытия (табл. 4.13, 4.14); K_{Φ} — коэффициент, учитывающий тип фонаря.

4.3. ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Искусственное освещение может быть двух систем: общее и комбинированное. При комбинированном освещении к общему добавляется местное освещение, концентрирующее световой поток непосредственно на рабочих местах. Общее освещение подразделяется на общее равномерное и общее локализованное освещение. При-

Таблица 4.15. Световой поток ламп накаливания общего назначения (ГОСТ 2239—70)

Мощность Вт	Тип лампы	Световой поток при номиналь- ном напряжении (В), лм				Мощ- ность, Вт	Тип лампы	Световой поток при номиналь- ном напряжении (В), лм			
		127	127— 135	220	220— 235			127	127— 135	220	220— 235
15	В	135	110	105	85	150	Б	—	2000	2100	1840
25	В	260	195	220	190	200	Г	3200	2780	2800	—
40	Б	490	370	400	300	200	Б	—	—	2920	2540
40	БК	520	—	460	—	300	Г	4950	—	4600	4000
60	Б	820	650	715	550	500	Г	9160	—	8300	7200
60	БК	875	—	790	—	750	Г	—	—	13 100	—
100	Б	1560	1250	1350	1090	1000	Г	19 500	—	18 600	—
100	БК	1630	—	1450	—	1500	Г	29 600	—	29 000	—
150	Г	2300	—	2000	—						

Примечание. Световые потоки ламп с номинальной мощностью до 150 Вт в колбах МТ и ОП меньше на 3%, а МЛ — на 20% против табличных.

Таблица 4.16. Световой поток ламп накаливания для местного освещения [4]

Тип лампы	Световой по- ток, лм	Тип лампы	Световой поток, лм	Тип лампы	Световой поток, лм
МО 12-15	200	МОД 12-25	270	МОЗ 12-40	400
МО 12-25	380	МОД 12-40	480	МОЗ 12-60	660
МО 12-40	620	МОД 12-60	810	МОЗ 36-40	350
МО 12-60	850	МОД 36-25	240	МОЗ 36-60	650
МО 36-25	300	МОД 36-40	400	МОЗ 36-100	1200
МО 36-40	600	МОД 36-60	720		
МО 36-60	800	МОД 36-100	1380		
МО 36-100	1550				

менение одного местного освещения в производственных зданиях не допускается. Искусственное освещение подразделяется на рабочее аварийное, эвакуационное (аварийное освещение для эвакуации) и охранное.

Для искусственного освещения применяют лампы накаливания и газоразрядные лампы (люминесцентные, типа ДРЛ, ДРИ и ДКСт). Лампы накаливания изготавливаются различной мощности (15—1500 Вт) и напряжения (12, 36, 127, 220 В), а также различных типов, с улучшенными характеристиками излучения (биспиральные, газонаполненные, в колбах со светорассеивающими покрытиями).

В условных обозначениях типов ламп накаливания общего назначения буквы и цифры означают: В — вакуумная, Г — газонаполненная, Б — биспиральная, БК — биспиральная криптоновая; 127, 135, 220, 235 — напряжение, В; 15—1500 — номинальная мощность, Вт.

Лампы накаливания для местного освещения имеют буквенные обозначения МО — обычного исполнения, МОД — лампа-светильник с отражающим диффузным слоем, МОЗ — то же с зеркальным слоем. Следующие за этими буквами цифры

Таблица 4.17. Некоторые технические характеристики люминесцентных ртутных ламп низкого давления (ГОСТ 6825—74)

Номиналь- ная мощ- ность, Вт	Номинальный световой поток, лм, ламп типа					Размеры лампы, мм	
	ЛДЦ	ЛД	ЛХВ	ЛТБ	ЛБ	Диаметр	Длина по штырькам
15	500	590	675	700	760	27	451,6
20	820	920	935	975	1060	40	604,0
30	1450	1640	1720	1720	2100	27	908,8
40	2100	2340	3000	3000	3120	40	1213,6
65	3050	3570	3820	3980	4650	40	1514,2
80	3740	4070	4440	4440	5220	40	1514,2

Таблица 4.18. Световой поток ламп типов ДРЛ и ДРИ, лм [2] (ГОСТ 16354—70)

ДРЛ при номинальной мощности, Вт						ДРИ при номинальной мощности, Вт				
80	125	250	400	700	1000	250	400	700	1000	2000
3200	5600	11 000	19 000	35 000	50 000	18 700	32 000	59 500	90 000	190 000

обозначают номинальные напряжения (В) и номинальную мощность (Вт) лампы.

Систовые потоки лампы накаливания общего назначения и для местного освещения приведены соответственно в табл. 4.15 и 4.16.

Наиболее благоприятными с гигиенической точки зрения и более экономичными являются газоразрядные люминесцентные лампы низкого давления. Серийно выпускаются несколько типов ламп, различающихся спектральным составом света. Лампы днев-

Рис. 4.5. Защитный угол светильника (γ):

а — с лампами накаливания или ДРЛ; б — с люминесцентными лампами.



ного света (ЛД) и дневного света с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ) имеют голубоватый цвет свечения, по спектру наиболее приближающийся к дневному свету (отличается преобладанием сине-фиолетовой и желто-зеленой части спектра и меньшей интенсивностью в красной части). Спектр других типов ламп существенно отличается от спектра дневного света: лампы белого света (ЛБ) имеют слегка желтоватый оттенок, тепло-белого цвета (ЛТБ) — розоватый оттенок, а лампы холодного белого цвета (ЛХБ) занимают промежуточное положение между лампами ЛБ и ЛД. Некоторые технические характеристики люминесцентных ламп приведены в табл. 4.17.

Широкое распространение получили ртутные дуговые лампы высокого давления с исправленной цветностью. Существенным недостатком ламп ДРЛ является преобладание в спектре лучей сине-зеленой части, что исключает их применение, когда объектами различения являются лица людей или окрашенные поверхности. Световые потоки ламп ДРЛ приведены в табл. 4.18.

Перспективными являются металлогалогенные лампы типа ДРИ. Они характеризуются высокой светоотдачей и хорошим спектральным составом. Световые потоки ламп ДРИ приведены в табл. 4.18.

Светильники характеризуются распределением светового потока в пространстве, защитным углом и коэффициентом полезного действия. В зависимости от того,

какую долю всего светового потока составляет поток нижней полусферы, светильники разделены на 5 классов (по ГОСТ 16703—71): прямого света (П) — если эта доля более 80%; преимущественного прямого света (Н) — 60—80%; рассеянного света (Р) — 40—60%; преимущественно отраженного света (В) — 20—40% и отраженного света (О) — менее 20%. Защитный угол светильника определяется как угол между горизонталью и линией, касательной к светящему телу лампы и краю отражателя или непрозрачного экрана (рис. 4.5). По ГОСТ 16703—71 светильники классифицируются также по степени защиты от пыли, воды и взрыва; по способу установки и по электроизоляции. Некоторые виды светильников показаны на рис. 4.6. Технические характеристики светильников приведены в работе [2].

Искусственное освещение нормируется в соответствии со СНиП II-4—79. При этом нормируется абсолютное значение освещенности в зависимости от характера зрительной работы (линейного размера объекта различения), яркости фона, контраста объекта и фона, типа источника света и системы освещения (табл. 4.2, 4.3).

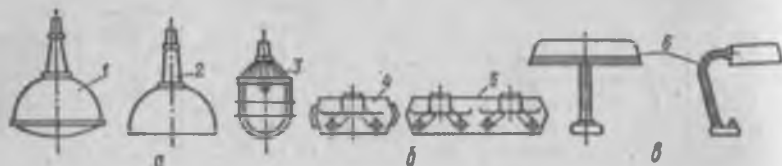


Рис. 4.6. Виды светильников:

а — для ламп накаливания в ДРЛ; б — для люминесцентных ламп; в — светильник местного освещения; г — «Астра-32»; д — «Астра-1», «Астра-12»; ж — ППР-500, РСРН-002; з — двухламповый; 4 — четырехламповый; 5 — ЛНП-01.

Для освещения помещений следует предусматривать газоразрядные лампы. В случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности применения газоразрядных источников света допускается использовать лампы накаливания.

Нормированные значения освещенности, отличающиеся на одну ступень, следует принимать по шкале: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 7; 10; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000, лк.

Освещенность при использовании ламп накаливания следует снижать по шкале освещенности:

а) на одну ступень при системе комбинированного освещения, если нормируемая освещенность составляет 750 лк и больше;

б) на одну ступень при системе общего освещения для разрядов работы I—V и VII, при этом освещенность от ламп накаливания не должна превышать 300 лк;

в) на две ступени при системе общего освещения для разрядов работы VI и VIII.

Нормы освещенности (табл. 4.2) следует повышать на одну ступень шкалы освещенности в следующих случаях:

а) при работах I—IV разрядов, если напряженная зрительная работа выполняется в течение всего рабочего дня;

б) при повышенной опасности травматизма, если освещенность от системы общего освещения составляет 150 лк и менее;

в) при специальных повышенных санитарных требованиях, если освещенность от системы общего освещения составляет 500 лк и менее;

г) при работе или производственном обучении подростков, если освещенность от системы общего освещения составляет 300 лк и менее;

д) в случае отсутствия в помещении естественного света при постоянном пребывании работающих, если освещенность от системы общего освещения составляет 1000 лк и менее.

В помещениях, где выполняются работы V и VI разрядов, нормы освещенности следует снижать на одну ступень при кратковременном пребывании людей или при наличии оборудования, не требующего постоянного обслуживания.

При выполнении в помещениях работ I—IV разрядов следует применять системы комбинированного освещения. Освещенность системы комбинированного освещения является суммой освещенности от общего и местного освещения. Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе ком-

бинированного, должна составлять 10% нормируемой для комбинированного освещения, при этом наибольшая и наименьшая освещенности должны составлять соответственно 500 и 150 лк при газоразрядных лампах и 100 и 50 лк при лампах накаливания.

Кроме абсолютного значения освещенности нормируются качественные характеристики освещения: показатель ослепленности (табл. 4.19) и коэффициент пульсации освещенности (табл. 4.20).

Аварийное освещение следует предусматривать, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение нормального обслуживания оборудования может вызвать взрыв, пожар, отравление людей, длительное нарушение технологического процесса, нарушение работы важных промышленных объектов (электро-

Таблица 4.19. Допустимый показатель ослепленности в производственных и вспомогательных помещениях (СНиП II-4—79)

Разряд и под- разряд зри- тельной рабо- ты	Показатель ослепленнос- ти	
	при посто- янном пре- бывании людей в помещении	при перио- дическом пребывании людей в помещении
I, II	20	—
III IV, V, VII	40	60
VI, VIIIa	60	80

Примечание. Показатель ослепленности для установок общего освещения не ограничивается для помещений, длина которых не превышает двойной высоты установки светильника над полом; для помещений, высота которых не превышает 2,5 м при выполнении в них работ VI и VIIIa разрядов или при временном пребывании в них людей независимо от характера выполняемых работ.

станции, узлы радиопередачи и связи, диспетчерские пункты, установки водоснабжения, канализации, теплофикации, вентиляции и кондиционирования воздуха). Наименьшая освещенность рабочих поверхностей производственных помещений и территорий предприятий, требующих обслуживания при аварийном режиме, должна составлять 5% освещенности, нормируемой для рабочего освещения при системе общего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территорий предприятий.

Эвакуационное освещение в помещениях или в местах ведения работ вне зданий следует предусматривать в местах, опасных для прохода людей; в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей, при числе эвакуирующихся более 50 чел.; по основным проходам производственных помещений, в которых работает более 50 чел.; в производственных помещениях с постоянно работающими людьми, где выход из помещения при аварийном отключении рабочего освещения связан с опасностью травматизма из-за продолжения работы производственного оборудования; в помещениях вспомогательных зданий, если в помещении могут одновременно находиться более 100 чел. Эвакуационное освещение должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу основных проходов, на земле и на ступенях лестниц 0,5 лк в помещении и 0,2 лк на открытых территориях.

Таблица 4.20. Допустимый коэффициент пульсации освещенности для производственных помещений (СНиП II-4—79)

Освещение	Допустимый коэффициент пульсации освещенности, %, для разрядов зритель- ной работы		
	I и II	III	IV— VIIIa
Общее	10	15	20
Комбинированное:			
общее	20	20	20
местное	10	15	20

Примечание. Допускается повышение значения коэффициента пульсации освещенности до 30% в помещениях, где выполняются работы VI и VIIIa разрядов при отсутствии в них условий для возникновения стробоскопического эффекта.

4.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Проектирование искусственного освещения ставит целью решение следующих задач: выбор системы освещения, типа источника света, светильника, расположение светильников, выполнение светотехнического расчета и определение мощности осветительной установки.

Расположение светильников общего освещения в помещении (рис. 4.7) определяется H — высотой помещения; h_c — расстоянием от светильников до перекрытия («свес»); $h_n = H - h_c$ — высотой, на которой светильники расположены над полом; h_p — высотой, на которой находится расчетная поверхность над полом; $h = h_n - h_p$ — расчетной высотой; L — расстоянием между соседними светильниками или рядами люминесцентных светильников; l — расстоянием от крайних светильников или рядов светильников до стены.

Основное требование при выборе высоты расположения светильников — доступность для обслуживания. Обычно h определяется размерами помещения. Расстояния между соседними светильниками или меж-

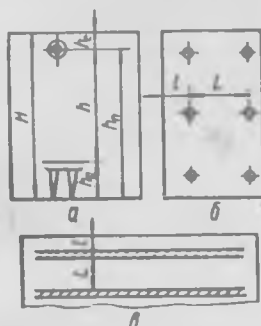


Рис. 4.7. Расположение светильников:

а — разрез вертикальной плоскостью; б — вид сверху (лампы накаливания и ДРЛ); в — вид сверху (люминесцентные лампы).

ду рядами светильников определяется, исходя из величины

$$\lambda = L : h, \quad (4.24)$$

приведенной в табл. 4.21. Значениями λ_c пользуются в тех случаях, когда увеличение λ не приводит к необходимости применения ламп с увеличенной световой отдачей (при люминесцентных лампах), а значениями λ_s — в остальных случаях.

Расстояние от крайних светильников до стены

$$l = (0,3 \dots 0,5) L \quad (4.25)$$

в зависимости от расстояния рабочих мест до стен или принимается равным нулю при выполнении работ непосредственно у стен.

Освещение рассчитывается по двум методам: методу коэффициента использования и точечному методу. Метод коэффициента использования предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих предметов. По точечному методу рассчитывается общее локализованное освещение, общее равномерное освещение при наличии существенных затенений и местное освещение. Для расчета применяются также упрощенные формы метода коэффициента использования: таблицы удельной мощности и графики по Гурову и Прохорову [4].

Для метода коэффициента использования основная расчетная формула для определения светового потока лампы (или ламп) в светильнике, лм, имеет вид:

$$\Phi = \frac{EK_z S z}{N \eta}, \quad (4.26)$$

где E — нормируемая освещенность, лк (табл. 4.2, 4.3); K_z — коэффициент запаса (табл. 4.10); S — освещаемая площадь, м²; z — коэффициент неравномерности освещения (принимается 1,1–1,2); N — число светильников; η — коэффициент использования светового потока.

При расчете освещения лампами накаливания или ДРЛ предварительно необходимо наметить количество светильников, разместив их по площади потолка равномерно с учетом расстояний L и l (формулы 4.24, 4.25).

Таблица 4.21. Рекомендуемые значения λ для светильников с типовыми крышками [4]

Типовая кривая силы света (по ГОСТ 13828–74)	λ_c	λ_s
Концентрированная	0,6	0,6
Глубокая	0,9	1,0
Косинусная	1,4	1,6
Равномерная	2,0	2,6
Полуширокая	1,6	1,8

Для определения коэффициента использования находится индекс помещения I по табл. 4.22 оцениваются значения коэффициентов отражения потолка (ρ_n) и стен (ρ_c), а также расчетной поверхности или пола (ρ_p). Индекс помещения

$$I = \frac{AB}{h(A+B)} \quad (4.27)$$

где A и B — соответственно длина и ширина помещения. Полученная расчетная величина I округляется до ближайшей табличной и по табл. 4.23 определяется коэффициент использования.

По полученному в результате расчета требуемому световому потоку (4.26) выбирается ближайшая стандартная лампа накаливания (табл. 4.15) или ДРЛ (табл. 4.18). Допускается отклонение светового потока лампы не более чем на

Таблица 4.22. Ориентировочные значения коэффициентов отражения потолка ρ_n и стен ρ_c производственных помещений

Состояние потолка	$\rho_n, \%$	Состояние стен	$\rho_c, \%$
Свежепобеленный	70	Свежепобеленные с окнами, закрытыми белыми шторами	70
Побеленный в сырых помещениях	50	Свежепобеленные с окнами без штор	50
Чистый бетонный	50	Бетонные с окнами	30
Светлый деревянный (окрашенный)	50	Оклеенные светлыми обоями	30
Бетонный грязный	30	Грязные	10
Деревянный шпаклеванный	30	Кирпичные неоштукатуренные	10
Грязный	10	С темными обоями	10

—10...+20%. При невозможности выбора лампы с таким приближением корректируется количество светильников.

При расчете люминесцентного освещения световой поток выбранной лампы Φ , известен и определено количество ламп в светильнике n . Поэтому определяется необходимое количество светильников

$$N = \frac{EK_3 Sz}{n \Phi_{\lambda} \eta} \quad (4.28)$$

Делением общего числа светильников N на количество рядов определяется число светильников в каждом ряду, а так как длина светильника известна, то можно найти полную длину всех светильников ряда. Если полученная длина близка к длине помещения, ряд получается сплошным, если меньше длины помещения, ряд выполняется с разрывами, а если больше — увеличивают число рядов или каждый ряд выполняют из двоянных или строенных светильников.

При точечному методу при круглосимметричных точечных излучателях (лампы накаливания и ДРЛ) принимается, что световой поток лампы (или суммарный световой поток ламп) в каждом светильнике равен 1000 лм. Создаваемую таким светильником освещенность называют условной. Величина условной освещенности зависит от светораспределения светильника и геометрических размеров: расстояния точки до проекции освещающего ее светильника (d) и высоты расположения светильника над уровнем освещаемой поверхности (h). Световой поток лампы в каждом светильнике

$$\Phi = \frac{1000 EK_3}{\mu \Sigma E_y} \quad (4.29)$$

где μ — коэффициент, учитывающий действие «удаленных» светильников (принимается 1,1—1,2); ΣE_y — суммарная условная освещенность в контрольной точке;

Таблица 4.23. Значения коэффициентов использования светового потока [4]

Тип светильника	Коэффициент отражения, %			Коэффициенты использования, %, при индексе помещения																
	$\rho_{\text{п}}$	$\rho_{\text{с}}$	$\rho_{\text{р}}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	3	3,5	4	5
<i>Светильники с лампами накаливания</i>																				
У; УПМ-15; «Астра-1, 11, 12»	70	50	30	24	34	42	46	49	51	53	56	60	63	66	68	70	73	76	78	81
	70	50	10	22	32	39	44	47	49	50	52	55	58	60	62	64	66	68	70	73
	50	30	10	20	26	34	38	41	43	45	47	50	53	55	57	59	62	64	66	69
	30	10	10	17	23	30	34	37	39	41	43	46	48	51	53	55	58	61	62	64
У-15	70	50	30	20	28	34	37	39	41	43	45	48	50	52	54	56	59	61	64	65
	70	50	10	19	27	32	35	37	39	40	42	44	46	48	49	51	53	55	56	57
	50	30	10	15	22	28	31	33	35	36	38	40	42	44	45	47	49	51	52	53
	30	10	10	12	19	25	28	30	31	32	34	36	39	40	42	44	46	48	49	51
УП-24	70	50	30	30	33	38	41	46	48	49	52	55	58	61	63	64	67	69	71	73
	70	50	10	28	31	36	39	42	45	46	47	50	52	55	56	57	59	61	63	64
	50	30	10	25	26	31	34	37	40	41	43	46	49	51	52	53	56	57	59	61
	30	10	10	21	23	28	30	33	37	38	40	43	46	48	49	50	53	55	57	59
УПД	70	50	30	28	36	40	44	47	50	52	57	61	65	68	71	73	77	79	81	82
	70	50	10	27	34	38	42	45	47	49	52	57	60	62	64	65	67	69	70	72
	50	30	10	23	28	33	36	39	42	44	47	51	56	58	60	61	64	66	67	69
	30	10	10	20	25	29	33	36	39	41	44	47	50	54	56	58	61	63	64	66
НСП02, НСП03	70	50	30	12	16	20	23	26	28	29	31	35	37	39	42	44	48	51	53	57
	70	50	10	10	15	19	21	24	26	27	28	31	33	35	37	39	43	45	47	50
	50	30	10	7	10	14	16	18	20	21	23	25	27	29	30	32	35	37	39	42
	30	10	10	5	7	10	12	15	17	18	19	21	22	23	25	27	29	31	32	35
<i>Светильники с лампами ДРЛ</i>																				
ППД-100, ППД-200	70	50	30	25	31	39	43	45	47	49	51	55	58	61	63	65	68	70	72	74
	70	50	10	24	30	36	41	43	44	45	47	51	53	55	57	58	61	63	64	65
	50	30	10	20	24	30	36	38	39	41	42	45	49	51	53	54	56	58	60	62
	30	10	10	17	20	26	32	34	36	38	39	42	45	47	49	51	54	56	57	58
ППД-500	70	50	30	24	28	35	39	41	42	44	46	50	53	55	57	59	62	65	67	69
	70	50	10	23	27	32	37	39	40	41	43	46	48	50	52	53	56	58	59	61
	50	30	10	18	21	26	31	33	34	35	37	40	42	44	46	48	50	52	54	56
	30	10	10	15	17	22	28	29	30	31	33	36	38	40	42	44	46	48	50	52
<i>Светильники с лампами ДРЛ</i>																				
УПДРЛ	70	50	30	30	37	42	45	47	49	51	55	59	62	67	69	71	73	75	77	79
	70	50	10	30	36	40	43	45	47	50	53	56	58	60	62	63	66	67	69	70
	50	30	10	23	30	33	37	40	41	43	47	50	53	56	57	59	60	61	63	66
	30	10	10	20	27	31	34	37	40	42	44	48	50	53	54	57	58	59	61	63
РСП07; РСП08/100 РСП08/150	70	50	30	23	30	35	40	43	47	50	53	58	62	66	68	70	74	77	79	82
	70	50	10	22	30	32	38	39	40	44	50	54	57	60	62	64	67	70	71	72
	50	30	10	18	22	27	30	33	37	40	42	46	50	54	56	58	60	62	63	65
	30	10	10	12	18	21	25	29	31	33	37	41	44	48	50	52	56	58	59	63
РСП05/Д03; СД2РТС; СД2ДРЛ РСП08/Д03 РСП08/Д53	70	50	30	33	38	43	46	49	52	54	57	62	66	68	70	72	74	76	77	80
	70	50	10	29	37	41	44	47	49	51	54	57	60	62	63	65	67	68	69	71
	50	30	10	27	31	35	38	41	44	46	48	53	56	58	59	61	62	64	65	68
	30	10	10	22	27	32	35	38	40	43	45	49	52	54	56	58	60	62	63	65
<i>Светильники с люминесцентными лампами</i>																				
Светильники группы 1	70	50	30	28	33	38	42	46	49	52	55	60	63	65	68	70	73	75	77	80
	70	50	10	27	32	36	39	42	45	48	50	54	57	59	62	63	65	67	68	70
	50	30	10	21	25	30	33	37	40	42	45	49	52	55	57	58	61	62	64	67
	30	10	10	18	22	26	29	32	35	38	40	45	48	51	53	55	58	60	61	65

Таблица 4.23. Значения коэффициентов использования светового потока [4]

Тип светильника	Коэффициент отражения, %			Коэффициенты использования, %, при индексе помещения																
	$\rho_{\text{п}}$	$\rho_{\text{с}}$	$\rho_{\text{д}}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	3	3,5	4	5
<i>Светильники с лампами накаливания</i>																				
У; УПМ-15; «Астра-1, 11, 12»	70	50	30	24	34	42	46	49	51	53	56	60	63	66	68	70	73	76	78	81
	70	50	10	22	32	39	44	47	49	50	52	55	58	60	62	64	66	68	70	73
	50	30	10	20	26	34	38	41	43	45	47	50	53	55	57	59	62	64	66	69
	30	10	10	17	23	30	34	37	39	41	43	46	48	51	53	55	58	61	62	64
У-15	70	50	30	20	28	34	37	39	41	43	45	48	50	52	54	56	59	61	64	65
	70	50	10	19	27	32	35	37	39	40	42	44	46	48	49	51	53	55	56	57
	50	30	10	15	22	28	31	33	35	36	38	40	42	44	45	47	49	51	52	53
	30	10	10	12	19	25	28	30	31	32	34	36	39	40	42	44	46	48	49	51
УП-24	70	50	30	30	33	38	41	46	48	49	52	55	58	61	63	64	67	69	71	73
	70	50	10	28	31	36	39	42	45	46	47	50	52	55	56	57	59	61	63	64
	50	30	10	25	26	31	34	37	40	41	43	46	49	51	52	53	56	57	59	61
	30	10	10	21	23	28	30	33	37	38	40	43	46	48	49	50	53	55	57	59
УПД	70	50	30	28	36	40	44	47	50	52	57	61	65	68	71	73	77	79	81	82
	70	50	10	27	34	38	42	45	47	49	52	57	60	62	64	65	67	69	70	72
	50	30	10	23	28	33	36	39	42	44	47	51	56	58	60	61	64	66	67	69
	30	10	10	20	25	29	33	36	39	41	44	47	50	54	56	58	61	63	64	66
НСП02, НСП03	70	50	30	12	16	20	23	26	28	29	31	35	37	39	42	44	48	51	53	57
	70	50	10	10	15	19	21	24	26	27	28	31	33	35	37	39	43	45	47	50
	50	30	10	7	10	14	16	18	20	21	23	25	27	29	30	32	35	37	39	42
	30	10	10	5	7	10	12	15	17	18	19	21	22	23	25	27	29	31	32	35
<i>Светильники с лампами ДРЛ</i>																				
ППД-100, ППД-200	70	50	30	25	31	39	43	45	47	49	51	55	58	61	63	65	68	70	72	74
	70	50	10	24	30	36	41	43	44	45	47	51	53	55	57	58	61	63	64	65
	50	30	10	20	24	30	36	38	39	41	42	45	49	51	53	54	56	58	60	62
	30	10	10	17	20	26	32	34	36	38	39	42	45	47	49	51	54	56	57	58
ППД-500	70	50	30	24	28	35	39	41	42	44	46	50	53	55	57	59	62	65	67	69
	70	50	10	23	27	32	37	39	40	41	43	46	48	50	52	53	56	58	59	61
	50	30	10	18	21	26	31	33	34	35	37	40	42	44	46	48	50	52	54	56
	30	10	10	15	17	22	28	29	30	31	33	36	38	40	42	44	46	48	50	52
<i>Светильники с лампами ДРЛ</i>																				
УПДДРЛ	70	50	30	30	37	42	45	47	49	51	55	59	62	67	69	71	73	75	77	79
	70	50	10	30	36	40	43	45	47	50	53	56	58	60	62	63	66	67	69	70
	50	30	10	23	30	33	37	40	41	43	47	50	53	56	57	59	60	61	63	66
	30	10	10	20	27	31	34	37	40	42	44	48	50	53	54	57	58	59	61	63
РСП07; РСП08/Л00 РСП08/Л50	70	50	30	23	30	35	40	43	47	50	53	58	62	66	68	70	74	77	79	82
	70	50	10	22	30	32	38	39	40	44	50	54	57	60	62	64	67	70	71	72
	50	30	10	18	22	27	30	33	37	40	42	46	50	54	56	58	60	62	63	65
	30	10	10	12	18	21	25	29	31	33	37	41	44	48	50	52	56	58	59	63
РСП05/Д03; СД2РТС; СД2ДРЛ РСП08/Д03 РСП08/Д53	70	50	30	33	38	43	46	49	52	54	57	62	66	68	70	72	74	76	77	80
	70	50	10	29	37	41	44	47	49	51	54	57	60	62	63	65	67	68	69	71
	50	30	10	27	31	35	38	41	44	46	48	53	56	58	59	61	62	64	65	68
	30	10	10	22	27	32	35	38	40	43	45	49	52	54	56	58	60	62	63	65
<i>Светильники с люминесцентными лампами</i>																				
Светильники группы 1	70	50	30	28	33	38	42	46	49	52	55	60	63	65	68	70	73	75	77	80
	70	50	10	27	32	36	39	42	45	48	50	54	57	59	62	63	65	67	68	70
	50	30	10	21	25	30	33	37	40	42	45	49	52	55	57	58	61	62	64	67
	30	10	10	18	22	26	29	32	35	38	40	45	48	51	53	55	58	60	61	65

Тип светильника	Коэффициент отражения, %			Коэффициенты использования, %, при индексе помещения																
	ρ_n	ρ_c	ρ_p	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	3	3,5	4	5
Светильники группы 2	70	50	30	30	34	38	42	47	50	53	56	61	65	68	70	73	76	78	80	84
	70	50	10	28	32	36	40	43	46	49	52	56	59	61	64	66	68	69	71	74
	50	30	10	20	24	29	32	36	39	41	44	48	52	54	56	58	60	62	64	67
	30	10	10	16	20	24	27	30	33	35	38	42	46	48	50	52	55	57	59	62
Светильники группы 3	70	50	30	26	32	37	41	45	48	50	53	57	60	63	65	67	70	71	73	77
	70	50	10	24	31	35	38	41	44	46	48	52	55	57	59	60	62	64	65	67
	50	30	10	20	25	29	32	36	39	41	43	48	51	53	55	56	58	60	61	64
	30	10	10	17	21	26	28	32	35	37	39	44	47	49	51	53	55	57	59	62
ЛСП01-2х150-15	70	50	30	27	33	38	41	44	47	49	51	55	57	59	61	63	65	67	68	72
	70	50	10	25	31	33	38	41	43	45	47	50	52	54	56	57	59	60	61	63
	50	30	10	23	29	33	36	38	40	42	44	46	49	50	52	53	54	56	56	58
	30	10	10	22	26	30	32	35	37	39	41	44	47	48	50	51	52	54	55	57
ЛОУ-2х40-1001	70	50	30	28	31	36	39	43	46	48	51	55	58	60	63	65	67	69	70	74
	70	50	10	26	29	34	37	40	42	44	47	50	53	55	57	58	60	61	62	63
	50	30	10	19	23	28	30	34	36	38	41	45	48	49	51	52	54	56	57	59
	30	10	10	17	20	24	26	29	32	34	36	40	42	44	46	48	50	52	53	56

Примечание. Коэффициенты использования для других типов светильников приведены в работе [4].

E_y отдельного светильника определяется по графикам пространственных изолуксов (рис. 4.8, а) [4]; в качестве контрольных выбираются точки, в которых ΣE_y имеет наименьшее значение.

По полученному световому потоку подбирается лампа (табл. 4.15—4.17), поток которой должен отличаться от требуемого в пределах $(-10...+20)\%$. При нево-

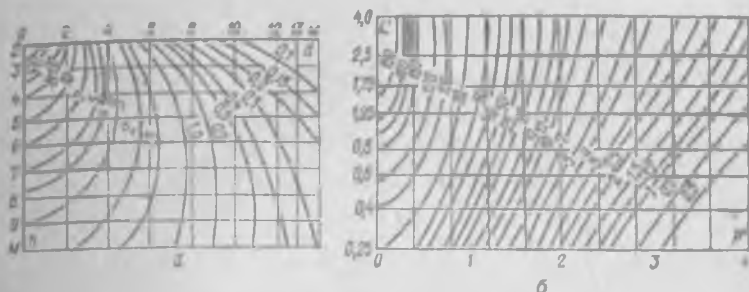


Рис. 4.8. Изолуксы светильников:

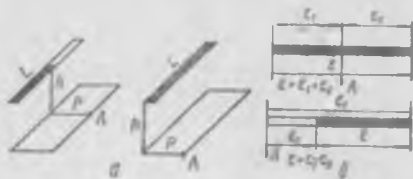
а — пространственные изолуксы условной горизонтальной освещенности светильников У, УПМ15, УП-24, «Астра-1, 11, 12» для ламп накаливания и ДРЛ; б — линейные изолуксы светильников группы 1 для люминесцентных ламп ПВЛМ-Д, ЛД; ЛСОН 02, 04, 05, 06, 34-36.

можности выбора лампы с допуском в этом диапазоне корректируется расположение светильников или выбираются другие светильники. Формула (4.29) может использоваться для определения освещенности при известном потоке лампы.

При расчете светящихся линий (излучателей, длина которых превышает половину расчетной высоты h ; люминесцентных светильников, располагаемых рядами) принимается относительная освещенность ϵ , т. е. освещенность, создавае-

Рис. 4.9. Расчет люминесцентного освещения точечным методом:

а — определение координат графика линейных изолуксов; б — определение освещенности точек, не лежащих против конца светящейся линии.



мая светильниками при линейной плотности светового потока $\Phi' = 1000$ лм/м и высоте расположения светильников $h = 1$ м. Необходимая линейная плотность потока

$$\Phi' = \frac{1000EK_h}{\mu \Sigma \epsilon}, \quad (4.30)$$

где $\Sigma \epsilon$ — суммарная относительная освещенность, создаваемая ближайшими рядами светильников.

Для определения ϵ используются графики линейных изолуксов в функции параметров (рис. 4.8, б) [4]:

$$P' = P/h \text{ и } L' = L/h, \quad (4.31)$$

где L — габаритная длина линии.

Если контрольная точка А не находится против конца ряда (рис. 4.9, а), то ряд разделяют на две части, для каждой из которых находят значение ϵ как алгебраическая сумма в соответствии с рис. 4.9, б. Умножая Φ' на длину каждого ряда светильников, находят полный световой поток ламп ряда, на основании чего подбирают число и мощность ламп (табл. 4.17):

$$\Phi = \Phi' L. \quad (4.32)$$

Если выбран тип светильников и известен световой поток ламп, установленных в светильниках Φ , расстояние между центрами соседних светильников в ряду, м:

$$b = \Phi/\Phi'. \quad (4.33)$$

Если b оказывается меньше, чем длина светильника, то следует применять светильники с большим числом ламп, или удвоенные, или увеличивать число рядов светильников. Ряды светильников могут рассматриваться при расчете как непрерывные с равномерно распределенным по их длине потоком при условии, что разрыв между соседними светильниками (в свету) не превышает 0,5 расчетной высоты. При больших разрывах e' от каждого светильника следует находить отдельно. Контрольная точка, как и при светильниках с лампами накаливания, выбирается с наименьшей освещенностью в пределах фактического расположения рабочих мест, т. е. обычно между рядами.

При длинных рядах светильников для предотвращения уменьшения освещенности в конце рядов следует либо продолжить ряды на длину 0,5 h за пределы рабочих мест, либо на такой же длине у конца каждого ряда создать удвоенную плотность потока, либо по концам продольных рядов светильников установить еще по одному поперечному ряду. При выполнении одного из этих условий контрольные точки можно выбирать у середины рядов.

Список литературы

1. Епанешников М. М. Электрическое освещение. М., Энергия, 1973. 352 с.
2. Кнорринг Г. М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения. М.—Л., Энергия, 1973. 200 с.
3. Мешков В. Б., Епанешников М. М. Осветительные установки. М., Энергия, 1972. 360 с.
4. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г. М. Кнорринга. Л., Энергия, 1976. 348 с.
5. Справочное пособие. Безопасность труда на производстве. Исследования и испытания. Под ред. Б. М. Злобинского. М., Металлургия, 1976. 400 с.
6. Черниковская Ф. М. Освещение промышленных предприятий и его гигиеническое значение. М.—Л., Медицина, 1971. 288 с.

Глава 5

ЗАЩИТА ОТ ШУМА И ВИБРАЦИИ

5.1. ЗАЩИТА ОТ ШУМА

Шум возникает при механических колебаниях в твердых телах, жидких и газообразных средах. Механические колебания в диапазоне частот 20—20 000 Гц воспринимаются ухом человека как звук, колебания с частотой ниже 20 Гц (инфразвук) и выше 20 000 Гц (ультразвук) не вызывают слуховых ощущений, но оказывают биологическое воздействие на организм человека.

Шум с физиологической точки зрения рассматривается как звуковой процесс, неблагоприятный для восприятия и отрицательно влияющий на здоровье человека.

При длительном воздействии шума снижается острота слуха, изменяется кровяное давление, ослабляется внимание, ухудшается зрение, происходит изменение в дыхательных центрах, что вызывает изменения в координации движения, кроме того, значительно увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке.

Интенсивный шум является причиной нарушений сердечно-сосудистой системы, нормальной функции желудка и ряда других функциональных нарушений в организме человека. В шумных цехах наиболее часты случаи промышленного травматизма.

Вредное воздействие шума отражается прежде всего на органах слуха. Различают три формы этого воздействия — утомление слуха, шумовую травму и профессиональную тугоухость. Первая характеризуется острым утомлением клеток кортиева части уха и может стать причиной развития профессиональной тугоухости. Шумовая травма может возникнуть в результате воздействия исключительно высокого звукового давления — при взрывных работах, испытаниях мощных реактивных двигателей и т. п. При этом у пострадавших наблюдаются головокружение, шум и боль в ушах, а также поражения барабанной перепонки. Профессиональная тугоухость ведет к профессиональному снижению слуха вплоть до его полной потери.

5.1.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШУМА

Звук характеризуется частотой f , интенсивностью I и звуковым давлением P . Часть пространства, в котором распространяются звуковые волны, называется звуковым полем. Разность между мгновенным значением полного давления и средним давлением, которое наблюдается в невозмущенной среде, называется звуковым давлением. Интенсивность звука измеряется средним количеством звуковой энергии, проходящей в единицу времени через единицу поверхности, перпендикулярной к направлению распространения звука.

$$I = vP \text{ или } I = \frac{P^2}{\rho c},$$

где I — интенсивность звука, Вт/м²; v — мгновенное значение скорости колебаний, м/с; P — мгновенное значение звукового давления, Па; ρ — плотность среды, кг/м³; c — скорость звука в данной среде, м/с.

Нижнему порогу слышимости при частоте 1000 Гц соответствует интенсивность звука 10^{-16} Вт/см². При интенсивности звука 10^3 Вт/см² создается ощущение боли в ушах. Этот уровень называется порогом болевого ощущения, он превышает порог слышимости в 10^{14} раз. Поэтому для оценки шума удобно измерять не абсолютное значение интенсивности, а относительный ее уровень в логарифмических единицах. По логарифмической шкале увеличение любой интенсивности звука в 10 раз соответствует приросту ощущения интенсивности звука на 1 единицу, называемую бсом:

$$L = \lg \frac{I}{I_0},$$

где I_0 — интенсивность звука на пороге слышимости.

Производной величиной является децибел. Уровень интенсивности в децибелах (дБ)

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0}.$$

Так как верхний порог слышимости превышает нижний порог в 10 раз, то ему соответствует уровень интенсивности звука 140 дБ. Таким образом, условно принямая за нуль нижний предел слышимости, шкала укладывается в 140 дБ.

Уровень интенсивности звука в децибелах можно определить, зная прирост звукового давления, дБ:

$$L = 10 \lg \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \lg \frac{P}{P_0},$$

где $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ — пороговое звуковое давление, выбрано таким образом, чтобы при нормальных атмосферных условиях уровни звукового давления были равны уровням интенсивности, Па; P — среднеквадратичная величина звукового давления, Па.

Уровень интенсивности звука используется при акустических расчетах, а уровень звукового давления — для измерений шума и оценки его воздействия на человека, поскольку орган слуха чувствителен не к интенсивности, а к среднеквадратичному давлению.

Уменьшение шума оценивается также в децибелах:

$$L_1 - L_2 = 20 \lg \frac{P_1}{P_0} - 20 \lg \frac{P_2}{P_0} = 20 \lg \frac{P_1}{P_2} = 10 \lg \frac{I_1}{I_0}.$$

Например, если шум агрегата снизить по интенсивности в 100 раз, то уровень интенсивности будет уменьшен на

$$L_1 - L_2 = 16 \lg 100 = 20 \text{ дБ}.$$

Если шум в точку попадает от нескольких источников, складываются их интенсивности, но не уровни:

$$L = 10 \lg (10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}}),$$

где $L_1, L_2, \dots, L_n$ — уровень звукового давления или уровни интенсивности в данной точке.

Если имеется n одинаковых источников шума с уровнем звукового давления L_1 , создаваемого каждым источником, то суммарный шум (дБ)

$$L = L_1 + 10 \lg n.$$

Из формулы следует, что два одинаковых источника совместно создадут уровень давления на 3 дБ больший, чем каждый источник.

При одновременном действии двух источников с различными уровнями суммарный уровень

$$L_{\Sigma} = L_1 + \Delta L,$$

где L_1 — наибольший из двух суммарных уровней шума; ΔL — добавка в функции разности уровней источников (некоторые значения по ГОСТ 20445—75 приведены ниже).

Разность уровней двух источников $L_1 - L_2$		Величина ΔL , добавляемая к L_1
0		3
1		2,5
2,5		2
4		1,5
6		1
10		0,4

При большем числе источников шума уровни интенсивности суммируются последовательно от наибольшего к наименьшему.

Количество звуковой энергии, излучаемой источником шума за единицу времени, называется звуковой мощностью (Вт) и определяется по формуле

$$W = SI,$$

где S — площадь сечения, в котором излучается звуковая энергия, m^2 .

Уровень звуковой мощности определяется аналогично уровню интенсивности звука, дБ:

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0},$$

где W_0 — пороговое значение звуковой мощности, принятое равным 10^{-12} Вт.

Например, уровень звукового давления в кузнечном цехе в среднем равен 98 дБ, при ударе молота по стальной плите — 114 дБ.

Третьей важной характеристикой звука кроме звукового давления и интенсивности является частота колебания, измеряемая числом колебаний в 1 с (1 Гц). Слышимый диапазон частот распределен на октавные полосы, в которых верхняя граничная частота равна удвоенной нижней частоте. Каждая октавная полоса характеризуется среднегеометрической частотой

$$f = \sqrt{f_1 f_2} = \sqrt{2 f_1^2} = 1,41 f_1,$$

где f_1 — нижняя граничная частота; f_2 — верхняя граничная частота.

Зависимость среднеквадратичных значений синусоидальных составляющих шума от частоты называют частотным спектром шума. Спектры получают, используя анализаторы шума — набор электрических фильтров, которые пропускают сигналы в определенной полосе частот. На практике применение получили октавные фильтры. Граничные и среднегеометрические частоты октавных полос приведены ниже.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Граничные частоты октавных полос, Гц
16	45—90
125	90—180
250	180—335
500	335—710
1000	710—1400
2000	1400—2800
4000	2800—5600
8000	5600—11200

Измерение спектра шума в октавных полосах проводят для сравнения шума с нормами, нормирования и других целей. Для детальных исследований источников шума применяют третьоктавные фильтры и узкополосные анализаторы.

Спектры шума бывают дискретными, когда отдельные составляющие отделены друг от друга значительными частотными интервалами. Такой шум называется тональным, например шум дисковой пилы.

Спектры могут быть сплошными, в них интервалы между частотными составляющими бесконечно малы. Например, шум реактивного двигателя имеет сплошной спектр.

Суммарный уровень шума может быть получен путем суммирования уровней шума в каждой полосе частот, например в октавной.

Шум может быть стабильным и импульсным. Первый характеризуется постоянством уровня звукового давления, второй — быстрым изменением уровня во времени.

5.1.2. НОРМИРОВАНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШУМА

Многочисленными исследованиями установлены предельные уровни шума, при которых он, действуя на работающего в течение восьмичасового дня, не причинит вреда его здоровью.

В Советском Союзе действуют санитарные нормы проектирования промышленных предприятий СН 245-71 и санитарные нормы допустимого шума в жилых и общественных зданиях и на территории жилой застройки. Уровень шума, создаваемого предприятиями на территории жилой застройки, не должен превышать значений, приведенных в СН 245-71. Шум в жилых и общественных зданиях нормируется по СН 872-70.

Нормирование шума осуществляется по предельному спектру шума и по уровню звукового давления. При первом методе предельно допустимые уровни

Таблица 5.1. Допустимые уровни звукового давления и уровни звука на постоянных рабочих местах

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							Уровни звука и эквивалентные уровни, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	
Помещения конструкторского бюро, расчетчиков, программистов, лабораторий для теоретических исследований и обработки экспериментальных данных	71	61	54	49	45	42	40	38
Помещения управления, рабочие комнаты	79	70	68	58	55	52	50	49
Кабины наблюдений и дистанционного управления:								
без связи по телефону	94	87	82	78	75	79	71	70
Помещения и участки точной сборки, машинописное бюро	83	74	68	63	60	57	55	54
Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, помещения для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	94	87	82	78	75	73	71	70
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	99	92	86	83	80	78	76	74
Аудитории	63	52	45	39	35	32	30	28
Жилые комнаты	55	44	35	29	25	22	20	18

звукового давления нормируются в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. В табл. 5.1 указаны допустимые уровни звукового давления и уровни звука на постоянных рабочих местах в соответствии с ГОСТ 12.1.003—76. Для оценки шума по санитарным нормам допускается измерить шумомером по шкале «А» так называемый «уровень звука», который затем сравнивается с допустимым уровнем.

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука в дБА на рабочих местах следует принимать для широкополосного шума — по табл. 5.1, для тонального и импульсного шума, измеренного шумомером на характеристике «медленно», — на 5 дБ меньше значений, указанных в таблице (ГОСТ 12.1.003—76).

Таблица 5.2. Поправки к допустимым уровням звукового давления, дБ

Суммарная длительность воздействия за смену, ч	Широкополосный	Тональный или импульсный	Суммарная длительность воздействия за смену, ч	Широкополосный	Тональный или импульсный
4—8	0	—5	$1/12$ — $1/4$	+18	+13
1—4	+6	+1	Менее $1/12$	+25	+19
$1/4$ —1	+12	+7			

Широкополосные шумы — это шумы с непрерывным спектром шириной более одной октавы, тональные — шумы, в спектре которых имеются слышимые дискретные тона. Тональный характер шума устанавливается измерением в третьоктавных полосах частот по превышению уровня в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ. Импульсные шумы состоят из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый длительностью менее 1 с. Измеренные при включении характеристик шумомера «медленно» и «импульс», они различаются не менее чем на 10 дБ.

Допустимые параметры шума дополняются поправкой на продолжительность его воздействия в течение рабочего дня, его спектральный состав и временную структуру (табл. 5.2), поскольку физиологическое действие шума определяется этими факторами.

Регламентированы также допустимые уровни звукового давления на рабочих местах около ультразвуковых установок:

Среднегеометрическая частота $1/3$ октавных полос, кГц	Уровень звукового давления, дБ
12,5	75
16	85
20 и более	110

Эти допустимые уровни звукового давления также дополняются поправкой на продолжительность действия ультразвука:

Суммарная длительность воздействия, ч	Поправка, дБ
1—4	+6
$1/4$ —1	+12
$1/12$ — $1/4$	+13
Менее $1/12$	+24

Шум измеряется с целью определения уровней звуковых давлений на рабочих местах и соответствия их санитарным нормам, а также для разработки и оценки эффективности различных шумоглушащих мероприятий.

Основным прибором для измерения шума является шумомер. В шумомере звук, воспринимаемый микрофоном, преобразуется в электрические колебания, которые усиливаются и затем, пройдя через корректирующие фильтры и выпрямитель, регистрируются стрелочным прибором.

Диапазон измеряемых суммарных уровней шума обычно составляет 30—130 дВ при частотных границах 50—8000 Гц.

Современные шумомеры имеют корректирующие частотные характеристики А, В и С. Линейная характеристика С используется при измерениях уровней звукового давления, т. е. при объективной оценке шума. Чтобы показания шумомера приближались к субъективным ощущениям громкости, используется характеристика шумомера А, которая примерно соответствует чувствительности органа слуха при разной громкости. Для определения спектров шума шумомер подключают к фильтрам и анализаторам. Анализаторы имеют полосы пропускания в одну октаву, $1/2$ или $1/3$ октавы, охватывающие частотный диапазон от 40 до 10 000 Гц. При измерениях в условиях производства регистрируется лишь общий уровень шума. Можно шум записать на магнитофон (через шумомер) и затем анализировать в лабораторных условиях.

Шум на рабочих местах измеряется на высоте 1,5 м над уровнем пола или на уровне уха работающего при включении не менее $1/3$ установленного оборудования (ГОСТ 20445—75). Для измерения шума используются отечественные шумомеры Ш-63, Ш-70, Ш-71, универсальный шумо-вибронизмерительный прибор ИШВ в комплекте с октавными фильтрами. Для анализа шума применяют спектрометры СЗ4, фильтры ОФ-6. Из зарубежных приборов хорошие характеристики имеют акустические комплекты фирм «RFT» и «Брюль и Кьер». Основные виды шумомеров и анализаторов, а также их главные характеристики представлены в табл. 5.3—5.6.

5.1.3. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА И УЛЬТРАЗВУКА

Для снижения шума могут быть применены следующие методы: уменьшение шума в источнике; изменение направленности излучения; рациональная планировка зданий и цехов, акустическая обработка помещений; уменьшение шума на пути его распространения. Борьба с шумом посредством уменьшения его в источнике является наиболее рациональной.

Шум механизмов возникает вследствие упругих колебаний как всей машины в целом, так и отдельных ее деталей. Причины возникновения этих колебаний — механические, аэродинамические и электрические явления, определяемые конструктивными и технологическими особенностями машины, а также условиями ее эксплуатации. В связи с этим различают шумы механического, аэродинамического и электромагнитного происхождения. Механические шумы возникают при соударении деталей в сочленениях вследствие существующих зазоров; трении в сочленениях деталей механизмов; при ударных процессах; в подшипниках качения, зубчатых передачах и т. д.

Для уменьшения механического шума необходимо своевременно проводить профилактический ремонт оборудования; заменять ударные процессы на безударные; шире применять принудительную смазку трущихся поверхностей; применять балансировку вращающихся элементов машин. Следует также, когда это возможно, заменять подшипники качения на подшипники скольжения (шум снижается на 10—15 дБ); заменять зубчатые и цепные передачи клиноременными и зубчатоременными (шум снижается на 10—15 дБ); заменять металлические детали деталями из пластмасс.

Аэродинамические шумы возникают при работе вентиляторов, воздуходувок, компрессоров, газовых турбин, насосов и т. п. Звуковая мощность вихревого шума

$$P = KC_x^2 D^5,$$

где K — коэффициент, зависящий от формы тела и режима течения; C_x — коэффициент лобового сопротивления.

Для уменьшения вихревого шума необходимо прежде всего уменьшить скорость обтекания и улучшить аэродинамику тела.

Одним из самых мощных источников шума является свободная струя. Звуковая мощность струи зависит главным образом от скорости истечения v_c , также от диаметра отверстия D_c и плотности воздуха или газа

$$P = K v_c^8 D_c^2 \rho^2,$$

где K — коэффициент подобия.

Снижение аэродинамического шума достигается в основном путем звукоизоляции источника и установки глушителей.

Таблица 5.6. Коэффициенты звукопоглощения материалов и конструкций α на различных частотах

Конструкция, материал	α при частоте, Гц				
	250	500	1000	2000	4000
Закрытое окно	0,25	0,18	0,12	0,07	0,07
Дверные проемы	0,03	0,3	0,4	0,4	0,4
Бетон	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
Фанера 3 мм на брусках 5 см	0,025	0,26	0,09	0,12	0,11
Древесно-волокистая плита					
25 мм	0,11	0,19	0,39	0,95	0,56
Пол на деревянных балках	0,11	0,1	0,07	0,06	0,07
Паркет по асфальту	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Линолеум 5 мм на полу	—	0,03	—	0,04	—
Резина 5 мм по полу	0,04	0,08	0,12	0,03	0,1
Шлаковая вата					
25 мм	0,23	0,53	0,72	0,75	0,77
50 мм	0,53	0,74	0,78	0,75	0,77
100 мм	0,84	0,82	0,78	0,75	0,77
Войлок строительный					
12,5 мм	0,08	0,7	0,48	0,52	0,51
25 мм	0,22	0,54	0,63	0,57	0,52
75 мм	0,66	0,77	0,68	0,68	0,52
Асбестовый войлок 10 мм	0,14	0,32	0,25	0,19	—
Стекловолок 30 мм	0,12	0,36	0,81	—	—
Акустическая штукатурка 10 мм	0,03	0,07	0,11	0,2	0,34

Таблица 5.7. Коэффициенты звукопоглощений перфорированных конструкций

Конструкция	α при частоте, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	6000
Перфорированные панели (заполнитель-асбестовая вата)							
$h = 40$ мм; $d = 4$ мм; $D = 40$ мм; $L = 50$ мм	0,25	0,43	0,36	0,25	0,15	0,13	0,11
$h = 3$ мм; $d = 4$ мм; $D = 40$ мм; $L = 100$ мм	0,47	0,47	0,36	0,28	0,25	0,27	0,28
$h = 3$ мм; $d = 6$ мм; $D = 25$ мм; $L = 50$ мм	0,2	0,46	0,58	0,52	0,42	0,31	0,41
$h = 3$ мм; $d = 6$ мм; $D = 25$ мм; $L = 100$ мм	0,52	0,54	0,54	0,50	0,41	0,33	0,33
$h = 3$ мм; $d = 7$ мм; $D = 30$ мм; $L = 50$ мм	0,19	0,36	0,45	0,43	0,30	0,24	0,22
$h = 3$ мм; $d = 7$ мм; $D = 30$ мм; $L = 100$ мм	0,45	0,51	0,55	0,48	0,34	0,21	0,17
$h = 6$ мм; $d = 4$ мм; $D = 40$ мм; $L = 50$ мм	0,32	0,42	0,31	0,18	0,13	0,1	—
Панели из фанеры							
10 мм на расстоянии							
10 см от стены	0,34	0,19	0,1	0,09	0,12	0,11	0,06
То же на расстоянии 3 м	0,32	0,35	0,19	0,13	0,11	0,10	0,08

Примечание. h — толщина панели; d — диаметр перфорации; D — расстояние между центрами перфорации; L — толщина слоя заполнителя.

Пути воздействия УЗК на организм работающего могут быть различными в зависимости от способа его распространения в окружающей среде (жидкой, твердой, газообразной) и типа генераторов. Через воздух УЗК могут оказывать вредное воздействие на работающих при эксплуатации мощных УЗ-источников высокой частоты, когда УЗК комбинируются со звуковыми. Через жидкие и твердые среды УЗ может воздействовать на организм контактным путем при работе установок, когда возможность перехода УЗК из плотной среды в менее плотную (воздух) очень мала, так как происходит их отражение. Степень биологического действия ультразвука на организм зависит от длительности воздействия, интенсивности, частоты и характера УЗК. У работающих с ультразвуковыми установками нередко наблюдаются функциональные нарушения нервной, сердечно-сосудистой системы, изменения давления, состава и свойства крови, частые жалобы на головные боли, быстрая утомляемость, потеря слуховой чувствительности.

Таблица 5.8. Звукоизоляция некоторых материалов и конструкций

Материал	Масса 1 м ² , кг	Средняя звукоизоляция, дБ
Стены, жесткие материалы, перегородка двойная из фанеры 3 мм с промежутком 25 мм, заполненным шлаковой ватой	8	26
То же с промежутком 50 мм	12	29
» » 65 мм	14	34
Фанера 3,2 мм трехслойная	2,2—2,5	17—19
То же 6,4 мм	4,5	21
Дерево толщиной 5 см	27,5	18,5
Сталь листовая 0,7 мм	5,6	25
» » 2 мм	15,7	33
Дюралюминий 0,5 мм	1,8	15
Стекло 3—4 мм	8—10	28
» 6 мм	16	31
Стеклопластик (стеклоткань) марки Т на смоле ПН 11,5 мм	—	23
То же 15 мм	—	26
Линолеум толщиной 0,5 см	55	25—30
Ткань шерстяная 2 мм	0,05	5—6
Брезент	3,4—6,8	4—8
Войлок волосистой 15 мм	2,8	6
То же два слоя	5,6	9
» четыре слоя	11,3	17
Картон 5 мм	3	16
» 20 мм	12	20
Пробковая плита 50 мм	30	20

Уровни звукового давления, согласно ГОСТ 12.1.001—75, не должны превышать на среднегеометрической частоте третьоктавной полосы: 12,5 кГц — 75 дБ; 16 кГц — 85 дБ; 20 кГц и выше — 110 дБ.

Существует несколько способов уменьшения уровня давления УЗ и смешанных шумов: снижение шума и ультразвука в источнике, звукопоглощение и звукоизоляция. Хорошими звукоизолирующими свойствами обладают металлические кожухи из листовой стали толщиной 1,5—2 мм, покрытые слоем резины до 1 мм. Устранение непосредственного контакта рабочих с источником УЗК может быть достигнуто механизацией и автоматизацией процессов; применением индивидуальных средств защиты в виде двойных перчаток (хлопчатобумажных и резиновых), отражающих УЗК, слоев воздуха и отключением установок на время загрузки и выгрузки деталей. При определении ультразвуковой характеристики измерения проводятся в контрольных точках на высоте 1,5 м от пола на расстоянии 0,5 м от контура оборудования и не менее 2 м от отражающей поверхности (ГОСТ 12.1.001—75).

Ультразвуковые колебания возникают при работе компрессоров, вентиляторов, вибростендов и агрегатов, имеющих поверхности больших размеров, а также при движении потоков газов или жидкостей.

В результате длительного воздействия инфразвуковых колебаний у человека появляются слабость, утомляемость, раздражительность, нарушается сон. Частоты колебаний от 2 до 15 Гц являются особо опасными, так как возникают резонансные явления в организме. Инфразвук с частотой 8 Гц наиболее опасен для человека в связи с тем, что эта частота совпадает с альфа-ритмом биотоков мозга. В диапазоне частот от 5 до 12 Гц появляются болезненные ощущения в грудной клетке, нижней части живота, боли в пояснице, боли в полости рта, гортани, мочевого пузыря, а также в некоторых мышцах.

Снижение интенсивности инфразвука достигается за счет применения комплекса мероприятий: уменьшения его источника, изоляции, поглощения, применения индивидуальных средств защиты.

5.2. ЗАЩИТА ОТ ВИБРАЦИИ

Вибрация представляет собой процесс распространения механических колебаний в твердом теле. Колебания механических тел с частотой ниже 20 Гц воспринимаются организмом как вибрация, а колебания с частотой выше 20 Гц — одновременно и как вибрация и как звук. Источниками вибраций являются различные технологические процессы, механизмы, машины и их рабочие органы. Колебания, распространяясь по элементам конструкции, ускоряют их разрушение, а кроме этого они воздействуют на работающего.

Вибрация приводит тело или его отдельные части в колебательное движение. Различают поперечные и продольные колебания. В зависимости от воздействия на человека вибрация делится на местную и общую. Общая вибрация вызывает сотрясение человека, местная — вовлекает в колебательные движения лишь отдельные части тела.

Весь организм, желудок и органы брюшной полости резонируют при действии колебаний с частотой 8 Гц, колебания с частотой от 17 до 25 Гц резонансны для головы человека. Начиная с частоты 40 Гц, колебания тела человека под влиянием вибрации становятся во много раз меньше вибрирующей поверхности. Колебания рабочих мест с указанными частотами весьма опасны, так как могут вызвать механические повреждения и даже разрыв этих органов. Систематическое воздействие общих вибраций в резонансной или околорезонансной зоне может быть причиной вибрационной болезни — стойких нарушений физиологических функций организма, обусловленных преимущественно воздействием вибраций на центральную нервную систему. Эти нарушения проявляются в виде головных болей, головокружений, плохого сна, пониженной работоспособности, плохого самочувствия, нарушений сердечной деятельности.

Локальная вибрация вызывает спазмы сосудов, которые, начинаясь с концевых фаланг пальцев, распространяются на всю кисть, предплечье и охватывают сосуды сердца. Одновременно наблюдается воздействие вибраций на нервные окончания, мышечные и костные ткани, выражающееся в нарушении чувствительности кожи, окостенении сухожилий, болях и отложениях солей в суставах, что приводит к деформации и уменьшению подвижности суставов.

Виброболье относится к группе профзаболеваний. Эффективное лечение возможно лишь на ранних стадиях. В особо тяжелых случаях в организме наступают необратимые изменения, приводящие к инвалидности.

Степень воздействия вибрации на человека определяется такими параметрами колебательного процесса, как частота, смещение, скорость и ускорение, а также продолжительность действия.

Лица, вновь поступающие на работу и работающие на производствах, связанных с воздействием шума и вибрации, должны проходить медицинский осмотр. Согласно санитарным нормам, лица, у которых между двумя периодическими медицинскими осмотрами обнаружится резкое ухудшение здоровья или признаки вибрационной болезни, должны быть переведены на работу, не связанную с воздействием вибраций.

5.2.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРАЦИЙ

Вибрации с физической стороны характеризуются частотой колебаний f , амплитудой смещения A , колебательной скоростью V , колебательным ускорением ω . Основная частота гармонического колебательного движения, Гц,

$$f = \frac{n}{60},$$

где n — число оборотов в минуту.

Виброскорость V , м/с, и виброускорение W , м/с², в случае гармонических колебаний определяют из выражений

$$V = 2\pi f A = \omega A;$$

$$W = 4\pi^2 f^2 A = \omega^2 A,$$

где ω — угловая частота, с⁻¹.

Кроме абсолютных величин, вибрацию как шум можно характеризовать и относительными величинами. При этом вибрация оценивается величиной, выраженной в децибелах. Так, значение уровня виброскорости, дБ (ГОСТ 12.1.012—78),

$$L_V = 20 \lg \frac{V}{V_0},$$

где $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с — опорная виброскорость; V — среднеквадратичное значение виброскорости, м/с.

5.2.2. НОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ВИБРАЦИЙ

Вибрации измеряются, в основном, для гигиенической оценки (сравнения с санитарными нормами); определения источников; проверки эффективности принятых мер по борьбе с вибрацией; определения степени воздействия на организм человека и для ряда других специальных исследований.

Допустимые уровни общих и локальных вибраций рабочих мест установлены СН 245—71, а также СНиП 626—66 «Санитарные нормы и правила при работе с инструментами, механизмами и оборудованием, создающими вибрации, передаваемые на руки работающих». Нормируемыми параметрами общих вибраций являются среднеквадратичные величины колебательной скорости в октавных полосах частот со среднегеометрическими значениями.

Согласно этим нормам, уровень вибрации оценивается по спектру виброскорости в диапазоне частот от 11 до 2800 Гц в октавных полосах частот со следующими среднегеометрическими значениями: 5; 16; 31; 63; 125; 250; 500; 1000; 200 Гц. Каждой октаве соответствует предельно допустимая величина среднеквадратичного значения виброскорости V (см/с) и ее уровни L_V (дБ), которые приведены в табл. 5.9.

Исходя из требований санитарных норм по ограничению местной вибрации, разработан ГОСТ 17770—72 «Машины ручные. Допустимые уровни вибрации».

Установлены предельно допустимые величины, ограничивающие общие вибрации при частоте до 11 Гц — нормируемым параметром является смещение (табл. 5.10), при частоте от 11 до 355 Гц — виброскорость (табл. 5.11).

Допустимые параметры общей вибрации на рабочих местах дополняются поправкой на продолжительность воздействия в течение рабочего дня:

Санитарная длительность воздействия вибрации, ч	Поправка
4—3	0
2—1	+3
1—2	+6
1	+9

Для измерения вибрации применяются виброметры и шумомеры с дополнительным приспособлением — предусилителем, устанавливаемым вместо микрофона. Приборы для измерения вибраций делятся на две группы: приборы, измеряющие вибрацию неэлектрическими методами; приборы о преобразовании механических колебаний в электрические.

Таблица 5.9. Допустимые величины параметров локальных вибраций

Показатель	Диапазон граничных частот, Гц								
	До 11	11—12	22—45	45—90	90—180	180—355	355—710	710—1400	1400—2800
	Среднегеометрическая частота октавных полос, Гц								
	8	16	32	63	125	250	500	1000	2000
Уровни виброскорости L_v , дБ	120	120	117	114	111	108	105	102	99
Виброскорость V , см/с	5	5	3,5	2,5	1,8	1,2	0,9	0,63	0,45

Таблица 5.10. Зависимость величины смещения от частоты

Основная частота, Гц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Смещение, мм	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	0,08	0,07	0,05	0,045	0,04	0,035

Таблица 5.11. Допустимые величины параметров общих вибраций (технологических)

Показатель	Диапазон граничных частот, Гц					
	14—28	28—56	56—11	11—22	22—44	44—88
	Среднегеометрическая частота октавных полос, Гц					
	2	4	8	16	31,5	63
Уровень виброскорости, дБ	108	99	93	92	92	92
Виброскорость, см/с	1,3	0,45	0,22	0,2	0,2	0,2

Таблица 5.12. Основные параметры некоторых вибронизмерительных приборов

Характеристика	ВА1-2	ВНП-2
Измеряемый параметр	Смещение, ускорение	Смещение, ускорение
Частотный диапазон, Гц	Нет свед.	125—200
Тип вибродатчика	Индукционный	Пьезоэлектрический
Наличие в комплекте анализатора	Нет	Нет
Питание	Батарейное	Батарейное
Масса, кг	—	3

При измерении производственной вибрации часто применяют механические вибрографы — щупы, которые прижимаются к вибрирующей поверхности вручную посредством стержней различной длины. В настоящее время применяют щупы ВР-1 и ВР-2, которые принципиально между собой не различаются. Экспериментатор регулирует степень нажатия таким образом, чтобы исходное положение записывающего пера было в цилиндре бумаги. Приборы записывают вертикальную, горизонтальную или угловую вибрации.

Таблица 5.13. Основные характеристики некоторых зарубежных приборов для измерения вибрации

Характеристика	ВР 102 (ГДР)	2510 (Дания)
Измеряемый параметр	Виброскорость, смещение	Виброскорость
Диапазон измерения	0,01—100 мм/с 0,2—1000 мкм 15—3000 мкм	0,12—30 мм/с
Частотный диапазон		10 Гц—1 кГц
Тип датчика		Пьезоэлектрический
Питание (тип батарей)	Никелькадмиевые муляторы	Сеть 100—240 В Марс 373 — 3 шт., напряжение в диапазоне 3—4,5 В
Масса, кг	1,5	3,3

Вибрографы типа ВР имеют небольшие габариты (11 × 120 × 180 мм) и массу 1,65 кг, что делает их удобными в обращении. Ширина ленты для записи — 24 мм. Приборы предназначены для измерения вибраций с амплитудой в пределах 0,05—6 мм, с диапазоном частот от 15 до 100 Гц. Прибор не дает большой точности, с его помощью невозможно получить запись мгновенных значений колебаний для проведения гармонического анализа.

Для измерения механических колебаний большое распространение получили приборы, в которых механические колебания преобразуются в электрические. Запись трансформируемых колебаний производится светолучевыми осциллографами либо самопишущими приборами. Преимуществом этого метода измерения вибрации является возможность отделить вибродатчик от измерительной аппаратуры на любое расстояние. Используя несколько датчиков, можно измерять вибрацию одновременно в нескольких точках. Колебательный процесс записывается без искажений. При этом легко могут быть выделены отдельные составляющие вибрации. Наиболее

выпускаемых в СССР

ВА 2	НВА 1	ИШВ 1	К-001
Скорость, ускорение 5—10	Скорость 1,4—355	Звуковое давление, скорость, ускорение 20—12 500; 10—2800; 10—12 500	Смещение 0—200
трический		Конденсаторный микрофон, пьезоэлектрический	Индукционный
Нет	Есть	Есть	Нет
Сеть 220 В	Сеть 127—220 В, батарейное	Сеть 127—220 В, батарейное	—
25	23	35	

распространены датчики индукционные (магнитоэлектрические), электромагнитные и пьезоэлектрические.

В настоящее время выпускается аппаратура для измерения низкочастотной вибрации НВА-1 и вибрации шума ИШВ-1 с пьезоэлектрическими датчиками. Она предназначена для измерения среднеквадратичных значений уровней виброскорости и приведенной скорости в октавных полосах частот.

НВА-1 применяют для измерения установившихся вибраций на машинах, механизмах, средствах транспорта и других объектах. Основные параметры прибора приведены в табл. 5.12.

Измеритель шума и вибраций ИШВ-1 предназначен для измерения значений среднеквадратичных уровней звукового давления и виброскорости в октавных полосах частот и уровней звука по коррекции А, В, С машин, различных механизмов, средств транспорта и др. В табл. 5.12 приведены основные параметры прибора ИШВ-1, а также других приборов, выпускаемых нашей промышленностью для измерения вибраций.

В Советском Союзе применяется аппаратура фирмы «RFT» (ГДР) VP 102 и фирмы «Брюль и Кьер» (Дания) 2510, характеристики которых приведены в табл. 5.13.

5.2.3. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ

Основными в борьбе с вибрацией машин и оборудования являются следующие методы.

Борьба с вибрациями в источнике ее возникновения посредством снижения или ликвидации действующих переменных (замена кривошипных механизмов равномерного вращающимися; ковки и штамповки — прессованием; тщательный подбор зубчатых пар; уравнивание вращающихся элементов и т. п.). Отстройка от резонанса путем рационального выбора приведенной массы (устранение резонансного режима технологического оборудования осуществляется с помощью изменения характеристики системы или установлением нового режима работы). Метод вибродемпфирования — это уменьшение уровня вибрации защищаемого объекта путем превращения энергии механических колебаний колеблющейся системы в другие виды энергии (использование в качестве конструктивных материалов пластмасс, дерева, резины, вибродемпфирующих покрытий). Виброгашение — уменьшение уровня вибраций путем введения в систему дополнительных реактивных импедансов (установка агрегата на самостоятельный фундамент, установка виброгасителей). Виброизоляция — уменьшение уровня вибраций защищаемого объекта путем уменьшения передачи колебаний от источника (введение дополнительной упругой связи, виброзащитные рукоятки, резиновые пружинные и комбинированные виброизоляторы), средства индивидуальной защиты от вибраций.

При работе с пневматическими и электрическими ручными машинами применяют средства индивидуальной защиты рук от воздействия вибраций. К ним относятся рукавицы или перчатки с амортизирующими прокладками. Общие технические требования к средствам индивидуальной защиты рук от вибраций определены ГОСТ 12.4.002—74. При работе с вибрирующим инструментом продолжительность контакта с вибрирующей поверхностью не должна превышать $\frac{1}{3}$ длительности рабочего дня. С этой целью рекомендуется в рабочий процесс включать технологические операции, не связанные с воздействием вибрации, или устанавливать 10—15-минутные перерывы после каждого часа работы. Сверхурочные работы с вибрирующим инструментом не разрешаются.

Список литературы

1. Алексеев С. П., Казиков А. М., Колотилев Н. Н. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. М., Машиностроение, 1970. 318 с.
2. Брок Е. Т. Применение измерительных систем фирмы «Брюль и Кьер» для измерения механических колебаний и ударов. Дания, «Брюль и Кьер», 1973. 305 с.
3. Бирн Л. Д. Измерение вибрации. Новосибирск, Наука, 1972. 215 с.
4. Охрана труда в машиностроении. Под ред. Е. Я. Юдина. М., Машиностроение, 1976. 410 с.
5. Потемкин Г. А. Вибрационная защита и проблема стандартизации. М., Издательство стандартов, 1969. 199 с.
6. Саввин М. И. Провозвездный шум и борьба с ним. М., Профиздат, 1955. 167 с.
7. Харевич А. А. Спектры и анализ. М., Физматгиз, 1962. 236 с.
8. Юдин Е. Я. Защита от шума. М., Стройиздат, 1974. 507 с.

Раздел III

ЗАЩИТА ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Глава 6

ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

6.1. ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАДИОЧАСТОТ И ХАРАКТЕР РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИХ В РАБОЧИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Источниками излучения электромагнитной энергии являются различные установки, начиная от мощных телевизионных, радиовещательных станций, промышленных установок высокочастотного нагрева до измерительных, конструкторских и лабораторных приборов различного назначения. Электромагнитная энергия излучается через неэкранированные смотровые окна, отверстия, жалюзи, а также щели и неплотности. Источниками излучения могут быть любые элементы, включенные в высокочастотную цепь. Диапазон излучаемой электромагнитной энергии радиочастот от 3 до $3 \cdot 10^{12}$ Гц.

Электромагнитное поле (ЭМП) характеризуется длиной волны λ или частотой колебания f :

$$\lambda = cT = \frac{c}{f} \quad \text{или} \quad c = \lambda f, \quad (6.1)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость распространения радиоволн, равная скорости света; f — частота колебаний, Гц; T — период колебаний ($T = 1/f$).

Рабочие места обслуживающего персонала могут оказаться в зоне индукции, промежуточной и зоне излучения в зависимости от частоты электромагнитного поля, параметров и типов излучений системы и расстояния от источника излучения до рабочего места.

При всенаправленном (изотопном) излучении ближняя зона простирается на расстояние

$$r_{б.з.} \leq \frac{\lambda}{2\pi}. \quad (6.2)$$

Дальняя зона начинается при расстояниях $r \gg \lambda$.

При направленных излучениях для параболических и круглых антенн границы ближних зон

$$r_{б.з.} \leq \frac{D^2}{4\lambda}, \quad (6.3)$$

для других типов отражателей

$$r_{б.з.} \leq \frac{L_1 L_2}{4\lambda}. \quad (6.4)$$

Дальняя зона для параболических и круглых отражателей начинается при

$$r_{д.з.} \geq \frac{D^2}{\lambda}, \quad (6.5)$$

для других типов отражателей

$$r_{д.з.} \geq \frac{L_1 L_2}{\lambda}. \quad (6.6)$$

В формулах 6.3—6.6 D — диаметр отражателя; L_1 и L_2 — горизонтальные и вертикальные размеры раскрыва антенн.

Район промежуточной зоны

$$r_{п.з} = r_{д.з} - r_{б.з.} \quad (6.7)$$

Амплитуда электрической составляющей поля в зоне индукции убывает обратно пропорционально кубу расстояния от источника излучения, а магнитной составляющей — обратно пропорционально квадрату расстояния. В зоне излучения амплитуда обеих составляющих поля убывает обратно пропорционально первой степени расстояния от источника. На характер распределения поля по помещению оказывают влияние оборудование, приборы и металлические конструкции зданий, которые создают электромагнитное поле вторичного излучения. Деформация поля происходит также за счет присутствия людей и наличия несовершенных диэлектриков.

6.2. ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Различают термическое и морфологическое воздействие полей, а также функциональные изменения в организме.

Первичным проявлением действия электромагнитной энергии на организм человека является нагрев тканей и органов, который может привести к изменениям и даже повреждениям их. При воздействии электромагнитных полей на организм происходит поглощение энергии поля тканями тела. Механизм поглощения энергии сложный. В облучаемых тканях имеет место ионная дисперсия, дипольное и резонансное поглощения. Нагрев тканей и органов является функцией интенсивности и частоты поля и длительности облучения. Тепловое воздействие характеризуется общим повышением температуры тела, подобным лихорадочному состоянию, либо локализованным нагревом тканей. При общем облучении повышение температуры тела более чем на 1°C недопустимо. Нагрев особенно опасен для органов со слабой терморегуляцией, которые имеют небольшое число кровеносных сосудов или недостаточно интенсивное кровообращение. Это мозг, глаз, хрусталик, ряд органов пищеварительного и мочеполового тракта (почки, желудок, кишечник, желчный и мочевой пузыри, семенники). Электромагнитная энергия с длиной волны от 1 до 20 см оказывает вредное воздействие на глаз, вызывая катаракту, т. е. потерю зрения. Под влиянием магнитного поля частотой 50 Гц появляется «магнитный фосфор» (ощущение мелькания). Под действием магнитного поля возрастает время неясного видения.

Исследованиями установлено и нетепловое действие электромагнитных полей, которое проявляется при интенсивностях как ниже, так и выше тепловых порогов. Это действие может быть морфологическим, т. е. касающимся строения и внешнего вида тканей и органов тела человека (от ожогов, омертвений, кровоизлияния, изменений структуры клеток и т. п. в наиболее тяжелых случаях до умеренных или слабых, обратимых сосудистых изменений, расстройства питания тканей, органов или организма в целом и т. д.).

Функциональные изменения проявляются в преждевременной утомляемости, сонливости или в нарушении сна, головной боли, наступает расстройство нервной системы, наблюдаются и другие заболевания. При систематическом облучении наблюдаются изменения кровяного давления (гипотония или гипертония), замедление пульса, нервно-психические заболевания и трофические явления (выпадение волос, ломкость ногтей), понижение половой потенции и т. д.

Для предупреждения профессиональных заболеваний установлены допустимые нормы облучения.

6.3. ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Опасность действия электромагнитных полей с частотами до 300 МГц оценивается напряженностью их составляющих, а в диапазоне частот 300 МГц — 300 ГГц — плотностью потока энергии.

Предельно допустимая напряженность ЭМП на рабочих местах и в местах возможного нахождения персонала, связанного профессионально с воздействием ЭМП, в течение рабочего дня по ГОСТ 12.1.006—76 и ГОСТ 12.1.002—75 не должна превышать приведенных ниже значений.

Частота электромагнитного поля, Гц	Допустимая напряженность электромагнитного поля, В/м
Постоянное поле	20 000
50	5 000
6 · 10 ⁴ — 3 · 10 ⁶	50
3 · 10 ⁶ — 3 · 10 ⁷	20
3 · 10 ⁷ — 5 · 10 ⁷	10
5 · 10 ⁷ — 3 · 10 ⁸	5
Частота электромагнитного поля, Гц	Допустимая напряженность магнитного поля, А/м
Постоянное поле	8000
10 ⁴ — 3 · 10 ⁴	100
6 · 10 ⁴ — 1,5 · 10 ⁶	5
3 · 10 ⁶ — 5 · 10 ⁷	0,3

Для ЭМП в диапазоне частот 300 МГц — 300 ГГц установлены предельно допустимые величины плотности потока энергии (ППЭ) с учетом времени облучения (табл. 6.1).

Таблица 6.1. Предельно допустимая ППЭ

Плотность потока энергии Вт/м ²	Время облучения	Примечание
До 0,1 От 0,1 до 1 От 1 до 10	Рабочий день Не более 2 ч Не более 20 мин (при условии пользования защитными очками)	— В остальное рабочее время ППЭ не должна превышать 0,1 Вт/м ² (10 мкВт/см ²)

Таблица 6.2. Предельно допустимая ППЭ от вращающихся и сканирующих антенн

Плотность потока энергии, Вт/м ²	Время облучения	Примечание
До 1 От 1 до 10	Рабочий день Не более 2 ч	— В остальное рабочее время ППЭ не должна превышать 1 Вт/м ² (100 мкВт/см ²)

При эксплуатации радиотехнических систем, работающих в режиме сканирования или кругового обзора, облучение будет периодическим, поэтому предельно допустимые ППЭ увеличены в 10 раз (табл. 6.2). Интерполяция по таблицам не допускается.

6.4. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИБОРЫ

Для измерения интенсивности электромагнитных полей применяются следующие приборы:

Тип прибора	Рабочий диапазон частот
ИНЭП-60	50 Гц
ИЭМП-2	50 Гц—100 кГц
ИЭМП-1	100 кГц—300 МГц
ПЗ-2	200 кГц—300 МГц
ПО-1	150—16 700 МГц
ПЗ-2	300—16 000 МГц
ПЗ-9	300—37 500 МГц

Исследование поля на рабочих местах необходимо проводить по методике, утвержденной Минздравом СССР и в соответствии с ГОСТ 12.1.006—76 и ГОСТ 12.1.002—75.

Для определения интенсивности электромагнитных полей, действующих на обслуживающий персонал, замеры проводят в зоне нахождения персонала по высоте от уровня пола до 2 м через 0,5 м. С целью определения характера распространения и интенсивности полей в кабине, цехе должны быть проведены измерения в точках пересечения координатной сетки со стороной в 1 м. Измерения проводят (при максимальной мощности установки) периодически не реже одного раза в год в порядке текущего санитарно-гигиенического надзора, а также в следующих случаях: при приеме в эксплуатацию новых установок; изменении конструкции средств защиты от воздействия ЭМП; внесении изменений в схему подключения излучающих элементов и режимов работы установок; организации новых рабочих мест; после проведения ремонтных работ на установках.

В случаях, когда установка имеет несколько рабочих режимов, измерения необходимо проводить в каждом режиме.

Измерения ППЭ ЭМП от вращающихся и сканирующих антенн проводят при установленной антенне в направлении излучений. Полученные результаты распространяются на весь сектор, охватываемый антенной при ее движении.

Результаты измерений фиксируются в специальном журнале или в протоколе, который подписывается руководителем участка (цеха, отделения), представителем службы охраны труда и лицом, проводившим измерения.

6.5. ПОБОЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

Работа электровакуумных приборов в ряде случаев сопровождается побочными эффектами, оказывающими вредное воздействие на обслуживающий персонал. В частности, любой электровакуумный прибор, работающий при высоких напряжениях на электродах, является источником рентгеновского излучения, мощным генератором тяжелых и легких ионов обеих полярностей, источником образования озона и окислов азота, а также повышения температуры воздуха.

Мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения, А/кг, для массивных анодов

$$\dot{\chi} = \frac{10^7 k_1 k_2 U^2 Z \mu_a}{0,114 \pi r^2} 2,58 \cdot 10^{-4}, \quad (6.8)$$

где $k_1 = 3 \cdot 10^{-5} - 10^{-7}$ — коэффициент пропорциональности, характеризующий вероятность торможения электронов в электрическом поле ядра; k_2 — коэффициент, равный 1 при $\dot{U} = \text{const}$ и меньше 1 при $U = \text{var}$.

При пульсирующем напряжении

$$k_2 = \frac{1}{Q_n}, \quad (6.9)$$

В формулах 6.8, 6.9 приняты следующие обозначения: U — анодное напряжение, кВ; i — анодный ток, мА; Z — атомный порядковый номер химического элемента материала анода; μ_a — коэффициент поглощения излучения в воздухе, зависящий от энергии квантов, см^{-1} ; 10^7 — эквивалент ватта, эрг/с; 0,114 — энергетический эквивалент рентгена, эрг/см²; n — ослабление излучения колбой; r — расстояние от анода электровакуумного прибора до рассматриваемой точки рабочего пространства, см; Q — скважность, т. е. отношение периода повторения импульсов к длительности импульсов.

Для тонких анодов мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения, А/кг

$$\dot{\chi} = \frac{10^7 \mu_a 19 (U + 511) Z^2 \frac{P}{A} t_d}{0,114 \pi r^2} 2,58 \cdot 10^{-4}, \quad (6.10)$$

где ρ — плотность вещества мишени (анода), г/см³; d — толщина мишени, см; A — атомная масса химического элемента материала мишени.

В случае, когда материал анода состоит из нескольких элементов, определяется эффективный порядковый номер вещества анода

$$Z_{\text{эф}} = \frac{\sum_{i=1}^m a_i Z_i^2}{\sum_{i=1}^m a_i Z_i}, \quad (6.11)$$

где a_i — число атомов вещества с порядковым номером Z_i в сложном веществе.

Согласно ГОСТ 12.2.006—75, мощность дозы рентгеновского излучения бытовой аппаратуры в любой точке на расстоянии 5 см от ее внешней поверхности не должна превышать 7,2 пА/кг при любом положении внешних регулировок, а для производственной аппаратуры (ГОСТ 12.2.018—76) — 1,43 пА/кг в любой точке от корпуса аппарата на расстоянии 5 см и 36 пА/кг для видеоконтрольных устройств телевизионной системы на расстоянии 5 см от корпуса аппарата на стороне, обращенной к оператору.

Для измерения мощности дозы рентгеновского излучения служат дозиметры МРМ-2, «Кура», фотодозиметры ИФК-2, -3 и т. д.

6.6. РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

При настройке, ремонте, испытании и эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) возможно облучение обслуживающего персонала. Поэтому на стадии проектирования РЭА необходимо проводить предварительный расчет возможной интенсивности облучения электромагнитными полями и разработать методы защиты от облучений.

При изотропном излучении напряженность электрической (В/м) и магнитной (А/м) составляющих поля в ближней зоне

$$E = \frac{I}{2\pi\omega\epsilon r^2}; \quad H = \frac{I}{4\pi r^2}, \quad (6.12)$$

где I — ток в проводнике (антенне), А; l — длина проводника (антенны), м; ϵ — диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м; ω — круговая частота поля.

В дальней зоне напряженность электрической и магнитной составляющих поля

$$E = \frac{\sqrt{30P\sigma}}{r}; \quad H = \frac{\sqrt{P\sigma/30}}{4\pi r}, \quad (6.13)$$

где P — мощность излучения, Вт; σ — коэффициент усиления антенны.

При направленном излучении плотность потока энергии в ближней зоне по оси диаграммы направленности излучения

$$\text{ППЭ}_{\text{б.з.}} = \frac{3P_{\text{ср}}}{S}, \quad (6.14)$$

где $P_{\text{ср}}$ — средняя мощность излучения, Вт; S — площадь излучения антенны, м².

Для установок, работающих в импульсном режиме, средняя мощность

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{имп}} \frac{\tau}{T}, \quad (6.15)$$

где $P_{\text{имп}}$ — мощность излучения в импульсе; τ — длительность импульса; T — период следования импульсов.

В промежуточной зоне

$$\text{ППЭ}_{\text{п.з.}} = \frac{3P_{\text{ср}}}{S} \left(\frac{r_{\text{б.з.}}}{r} \right)^2, \quad (6.16)$$

где r — расстояние от центра раскрыва антенны до данной точки, расположенной в промежуточной зоне.

В дальней зоне ППЭ по оси излучения

$$\text{ППЭ}_{\text{д.з}} = \frac{P_{\text{ср}} \sigma}{4\pi r^2}. \quad (6.17)$$

Кроме трех вышеупомянутых зон существует так называемая «мертвая зона», в которой поле отсутствует. Размеры мертвой зоны определяются только экспериментально.

Вышеприведенный расчет является ориентировочным и подлежит проверке после установки РЭА.

6.7. ОСНОВНЫЕ МЕРЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РАДИОЧАСТОТ

В зависимости от условий облучения, характера и местонахождения РЭА могут быть применены различные средства и методы защиты от облучения: защита временем; защита расстоянием; экранирование источника излучения; уменьшение излучения непосредственно в самом источнике излучения; экранирование рабочих мест; средства индивидуальной защиты; выделение зон излучения.

Таблица 6.3. Допустимое время облучения электрическим полем промышленной частоты

Напряженность электрического поля, кВ/м	5	10	15	20	25
Допустимое время облучения, мин	Длительно	180	90	10	5

Защита временем предусматривает ограничение времени пребывания человека в электромагнитном поле и применяется, когда нет возможности снизить интенсивность излучения до допустимых значений и только для частот 50 Гц, в диапазоне 300 МГц — 300 ГГц. Допустимое время пребывания зависит от интенсивности облучения (табл. 6.3).

Если интенсивность облучения в диапазоне 300 МГц — 300 ГГц находится между двумя нормированными уровнями (табл. 6.1), то допустимое время облучения

$$6,42 = \text{ППЭ} \text{ th}(0,05t)^{1,2}, \quad (6.18)$$

где $\text{th}(0,05t)^{1,2}$ — гиперболический тангенс; t — допустимое время облучения, ч.

С помощью формулы (6.18) можно определить допустимое время облучения при любой величине ППЭ в интервале 10—1000 мкВт/см².

Защита расстоянием применяется в том случае, если невозможно ослабить интенсивность облучения другими мерами, в том числе и сокращением времени пребывания человека в опасной зоне. В этом случае прибегают к увеличению расстояния между излучателем и обслуживающим персоналом. Расстояние, соответствующее предельно допустимому уровню облучения для каждого конкретного случая, определяется из выражений (6.12; 6.13; 6.16; 6.17).

Уменьшение мощности излучения непосредственно в самом источнике излучения достигается за счет применения специальных устройств. С целью предотвращения излучения в рабочее помещение в качестве нагрузки генераторов вместо открытых излучателей применяют поглотители мощности (эквивалент антенны и нагрузки РЭА), при этом интенсивность излучения ослабляется до 60 дБ и более. Промышленностью выпускаются эквиваленты антенн, рассчитанные на поглощение излучения мощностью 5, 10, 30, 50, 100 и 250 Вт с длинами волн 3,1—3,5 и 6—1000 см.

Снижение уровня мощности может быть достигнуто с помощью аттенуаторов, которые позволяют ослабить в пределах от 0 до 120 дБ излучение мощностью 0,1; 0,5; 1,5; 10; 50 и 100 Вт и длинами волн 0,4—0,6; 0,8—300 см.

При снятии диаграмм направленности антенных устройств, при проверке режима работы РЭА применяют направленные ответвители, делители мощности, волноводные ослабители, которые подсоединяются между трактом и антенной или измерительным прибором. Меньшая часть мощности подается в антенну или прибор, большая — поглощается ослабителем или отводится в рукав ответвителя или делителя, который нагружается на поглотитель мощности. Направленные ответвители дают ослабление мощности излучения на 20—60 дБ.

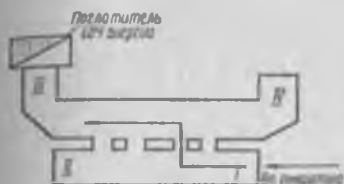


Рис. 6.1. Щелевой волноводный мост (I, II, III, IV — плечи щелевого волноводного моста).

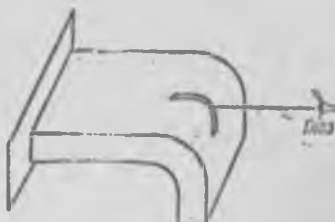


Рис. 6.2. Волноводный изгиб в плоскости E со щелью в центральной части широкой стенки волновода.

Фланцевые соединения являются также источником побочных излучений, их ослабляющая способность достигает 40—50 дБ. Применение бронзовых прокладок между фланцами обеспечивает ослабление излучения до 60 дБ, а дроссельных фланцев — до 70—80 дБ. При недостаточном ослаблении излучения в зазоре фланцевого соединения применяют специальные металлические хомуты, покрытые радиопоглощающим материалом с облучаемой стороны.

При регулировке по устранению искрений, пробоев и коронирования в элементах СВЧ тракта применяют специальные устройства, которые предотвращают облучение и позволяют на-

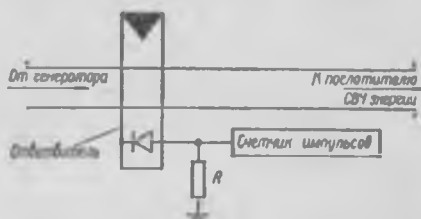


Рис. 6.3. Схема регистрации пробоев в волноводном тракте.

блюдают искрения в волноводе. Одно из таких устройств основывается на свойствах щелевого волноводного моста (рис. 6.1), другим устройством является волноводный изгиб в плоскости E (рис. 6.2) с узкой щелью в центральной части широкой стенки волновода. Эти устройства позволяют уменьшить интенсивность облучения до 60 дБ. Применяется устройство, состоящее из направленного ответвителя, которое обеспечивает дистанционный контроль и подсчет количества пробоев (рис. 6.3).

Границы зоны, где ПЭ может превышать предельно допустимые значения, определяют экспериментально для каждого конкретного случая размещения аппарата при работе ее на максимальную мощность излучения. В соответствии с ГОСТ 12.4.026—76 зоны излучения ограждаются либо устанавливаются предупреждающие знаки с надписями: «Не входить, опасно!» Такую зону можно дополнительно обозначить по границам широкими красными линиями на полу помещения, а также применять предупреждающую сигнализацию согласно ГОСТ 12.1.006—76.

Экранирование источников излучения используется для снижения интенсивности электромагнитного поля на рабочем месте или устранения опасных зон излучения. В этом случае применяются экраны из металлических листов или сеток в виде замкнутых камер, шкафов или кожухов.

Основной характеристикой каждого экрана является степень ослабления электромагнитного поля, называемая эффективностью экранирования, которая представляет собой отношение E , H , ПЭ в данной точке при отсутствии экрана к E_0 , H_0 ,

ППЭ, в той же точке при наличии экрана:

$$\mathcal{E} = \frac{E}{E_0}; \quad \mathcal{E} = \frac{H}{H_0}; \quad \mathcal{E} = \frac{\text{ППЭ}}{\text{ППЭ}_0}. \quad (6.19)$$

Толщина экрана, изготовленного из сплошного материала, которая обеспечивает заданное ослабление интенсивности поля,

$$b = \frac{\mathcal{E}}{15,4 \sqrt{f \mu \rho}}, \quad (6.20)$$

где $\mathcal{E}$ — заданное ослабление интенсивности поля, определяемое как частное от деления действительной интенсивности поля к предельно допустимому; f — частота поля, Гц; μ — магнитная проницаемость материала, Г/м; ρ — удельная проводимость материала, См/м.

Экранирование источника излучения может быть осуществлено экранами из металлической сетки. Такая конструкция экрана позволяет проводить осмотр, наблюдение экранированных установок, вентиляцию и освещение экранированного пространства.

Эффективность экрана, изготовленного из одного слоя сетки из цветного материала, расположенного в зоне индукции,

$$\mathcal{E}_{\text{дБ}} = 20 \lg \frac{1}{\eta}, \quad (6.21)$$

где η — проницаемость экрана,

$$\eta = \frac{3\gamma}{1 + 3\gamma}, \quad (6.22)$$

где γ — параметр экранирования,

$$\gamma = \frac{d}{2\pi R} \left(\ln \frac{d}{r_0} - 1,25 \right), \quad (6.23)$$

где d — шаг сетки (ячейки); r_0 — радиус проволоки сетки; R — радиус эквивалентного экрана,

$$R = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}. \quad (6.24)$$

Здесь V — объем экранирующей камеры.

Большой эффект экранирования можно получить, применяя двойной сетчатый экран, т. е. систему, состоящую из двух экранов, расположенных таким образом, что один из них находится внутри другого. Если же расстояние между экранами окажется равным кратному $\lambda/2$, то эффективность экранирования резко уменьшается.

Проницаемость двойного экрана

$$\eta = \frac{\eta_1 \eta_2}{1 - \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 (1 - \eta_1)(1 - \eta_2)}, \quad (6.25)$$

где η_1 и η_2 , R_1 и R_2 — соответственно коэффициенты проницаемости, радиусы эквивалентного экрана для первого и второго экранов.

Ослабление интенсивности поля сетчатыми экранами, расположенными в волновой зоне, при линейной поляризации волн определяется по следующим формулам:

1) при нормальном падении волны и векторе $\vec{E}$, параллельном проволокам сетки одного из направлений (рис. 6.4, а),

$$\mathcal{E}_{\text{дБ}} = 10 \lg \frac{1 + 4 \left(\frac{d}{\lambda} \ln \frac{d}{2\pi r_0} \right)^2}{4 \left(\frac{d}{\lambda} \ln \frac{d}{2\pi r_0} \right)^2}, \quad (6.26)$$

2) при наклонном падении волны и векторе $\vec{E}$, остающемся в процессе изменения угла падения параллельным проволокам сетки одного из направлений (рис. 6.4, б),

$$D_{AB} = 10 \lg \frac{1 + 4 \left(\frac{d \cos \beta}{\lambda} \ln \frac{d}{2\pi r_0} \right)^2}{4 \left(\frac{d \cos \beta}{\lambda} \ln \frac{d}{2\pi r_0} \right)^2} \quad (6.27)$$

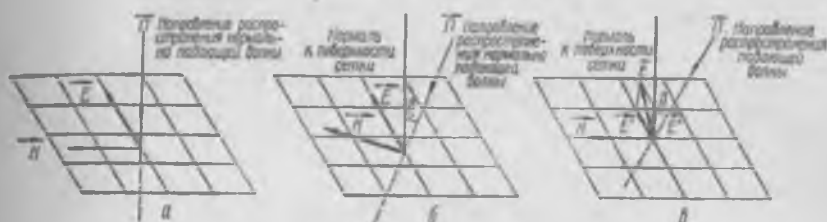


Рис. 6.4. Расположение векторов $\vec{P}$, $\vec{E}$ и $\vec{H}$ относительно экранирующей сетки: а — нормальное падение волны на сетку; б, в — наклонное падение волны на сетку.

3) при наклонном падении волны, векторе $\vec{E}$, перпендикулярном к проволокам сетки одного из направлений, и векторе $\vec{H}$, остающемся в процессе изменения угла падения параллельным плоскости сетки (рис. 6.4, в),

$$D_{AB} = 10 \lg \frac{1 + 4 \left(\frac{d}{\lambda} \ln \frac{d}{2\pi r_0} \right)^2}{(1 - \cos \beta)^2 + 4 \left(\frac{d}{\lambda} \ln \frac{d}{2\pi r_0} \right)^2} \quad (6.28)$$

где λ — длина волны, β — угол падения волны на сетку.

Формулы (6.26—6.28) действительны при соблюдении следующих условий: $d/\lambda < 1$; $r_0/\lambda < 0,04$; $r_0/d < 0,1$.

Длина и ширина плоского сетчатого экрана должны превышать длину волны более чем в пять раз.

При выборе конструкции экрана или камеры необходимо учитывать степень их

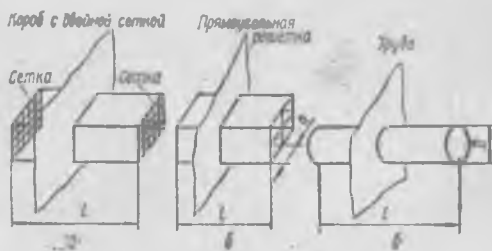


Рис. 6.5. Предельный волновод: а — с сетками на обоих концах; б — сотовой конструкции; в — в виде отрезков труб.

герметичности (наличие отверстий). Если размеры отверстия равны или кратны целому числу полуволн, то резко возрастает излучение, так как такая щель является щелевой антенной. В этом случае ослабление электромагнитного поля достигается насадкой на это отверстие специального патрубка, который представляет собой предельный волновод. Вентиляционные, смотровые и другие отверстия затягиваются металлическими сетками, пропаянными по периметру. Однако выгоднее применять предельные волноводы с сетками на обоих концах (рис. 6.5, а), сотовой конструкции (рис. 6.5, б) или патрубки (рис. 6.5, в). Размер отдельного патрубка или ячейки сотовой решетки определяется в зависимости от диапазона частот и требуемой эффективности экранирования (табл. 6.4).

Длина предельного волновода, см,

$$L = \frac{\mathcal{E}_{\text{треб}}}{\mathcal{E}_{\text{пог}}}, \quad (6.29)$$

где $\mathcal{E}_{\text{треб}}$ — требуемое ослабление поля, дБ; $\mathcal{E}_{\text{пог}}$ — ослабление излучения предельным волноводом, дБ/см.

Таблица 6.4. Выбор размеров предельных волноводов

Диапазон частот (длины волн)	Размер стороны квадратного, широкой стороны прямоугольного (a) или диаметра круглого волновода (D)	Ослабление излучения Э пог. дБ/см		
		квадратного или прямоугольного волновода	круглого волновода	
До 20 МГц ($\lambda \geq 15$ м)	$a \leq \frac{\lambda_{\text{мин}}}{20}$	$D \leq \frac{\lambda_{\text{мин}}}{17}$	$\frac{27,3}{a}$	$\frac{32}{D}$
От 20 до 150 МГц ($\lambda = 2 - 15$ м)	$a \leq \frac{\lambda_{\text{мин}}}{10}$	$D \leq \frac{\lambda_{\text{мин}}}{8,5}$	$\frac{26,6}{a}$	$\frac{31,2}{D}$
От 150 до 1000 МГц ($\lambda = 30 - 200$ см)	$a \leq \frac{\lambda_{\text{мин}}}{5}$	$D \leq \frac{\lambda_{\text{мин}}}{4,3}$	$\frac{25}{a}$	$\frac{29,3}{D}$
От 1000 до 10 000 МГц ($\lambda = 3 - 30$ см)	$a \leq \frac{\lambda_{\text{мин}}}{3,5}$	$D \leq \frac{\lambda_{\text{мин}}}{3}$	$\frac{21,5}{a}$	$\frac{25,2}{D}$

Контрольно-измерительные приборы, измеряющие напряжение и токи промышленной частоты, экранируются с внутренней стороны и обеспечиваются проходными конденсаторами (рис. 6.6, а), а приборы, включенные в высокочастотные цепи, экранируются сетками с внешней стороны (рис. 6.6, б).

Контактирующие поверхности частей экрана должны иметь антикоррозионное покрытие и плотно прилегать по всему периметру друг к другу. Расстояние между креплениями контактов следует выбирать согласно табл. 6.4 как размер широкой стороны прямоугольного волновода, а величину нахлеста одного листа на другой — по формуле (6.29). Часто в практике экранирования применяются контактные устройства, укрепленные либо на самом экране (рис. 6.7, а), либо на крышке отсека (рис. 6.7, б). Металлические оси различных органов управления, проходящие через экран, заменяют осями из изоляционных материалов (текстолита, керамики и др.) и пропускают через предельные волноводы (рис. 6.8) или применяют специальные конструкции, обеспечивающие скользящий контакт по экрану (рис. 6.9).

Настройка, регулировка и испытания РЭА с излучающей $P_{\text{ср}} \leq 100$ Вт проводятся в экранированных камерах или на специальных открытых площадках. При этом интенсивность излучения внутри камеры при нахождении людей не должна

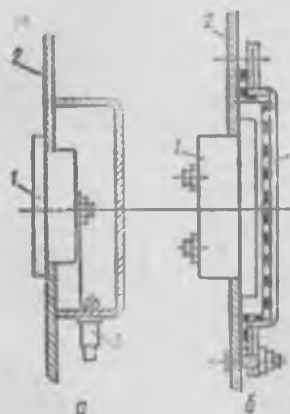


Рис. 6.6. Экранирование контрольно-измерительных приборов:

1 — прибор; 2 — экран из стали; 3 — проходной конденсатор; 4 — экран из латуинной луженой сетки.

та, керамики и др.) и пропускают через предельные волноводы (рис. 6.8) или применяют специальные конструкции, обеспечивающие скользящий контакт по экрану (рис. 6.9).

Настройка, регулировка и испытания РЭА с излучающей $P_{\text{ср}} \leq 100$ Вт проводятся в экранированных камерах или на специальных открытых площадках. При этом интенсивность излучения внутри камеры при нахождении людей не должна

превышать допустимых значений. Если же интенсивность превышает нормы, то пульт управления должен быть вынесен за пределы камеры. Выводы для источников питания следует выполнять с помощью кабеля, внешние оплетки которого припаиваются в местах выводов к сетке или каркасу.

Для исключения отражения от внутренней поверхности камеры ее стены и потолки покрывают поглощающим электромагнитную энергию материалом. В каче-

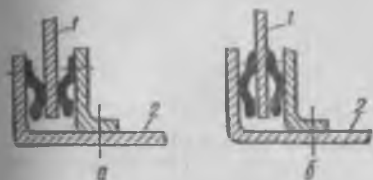


Рис. 6.7. Типы контактных устройств:
1 — крышка; 2 — экран.

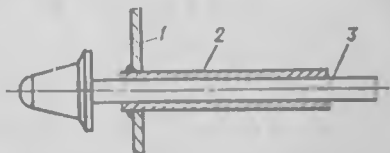


Рис. 6.8. Конструкция выводов осей органов управления из изоляционного материала через экран:

1 — экран; 2 — стальная труба; 3 — металлическая ось.

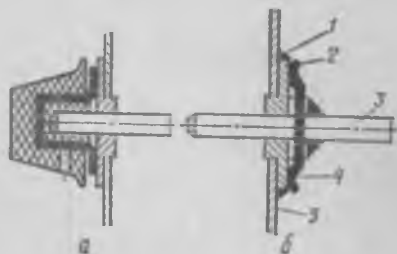
стве экранирующего материала для различных отверстий, окон помещений, кабин и камер, приборных панелей, смотровых окон применяется оптически прозрачное стекло с отражающими экранными свойствами. Это стекло покрыто полупроводниковым диоксидом олова. Светопропускание стекла не ниже 70% создает ослабление порядка 30 дБ в диапазоне волн 0,8—150 см (табл. 6.5).

Экранирование рабочего места применяется, когда невозможно осуществить экранирование аппаратуры (в отдельных лабораториях, при комплексных испытаниях и т. п.). Экранирование рабочего места достигается с помощью сооружения небольших кабин либо ширм с покрытием из поглощающих материалов.

Индивидуальными средствами защиты следует пользоваться в тех случаях, когда применение других способов предотвращения воздействия электромагнитных полей невозможно. Для этих условий облучения предусматриваются такие сред-

Рис. 6.9. Конструкция выводов осей органов управления из металлических материалов:

а — щеточный контакт с наружной стороны экрана (винт стопорный неметаллический); б — щеточный контакт с внутренней стороны экрана; 1 — пайка; 2 — втулка латунная луженая; 3 — металлическая ось; 4 — контактное кольцо из фосфористой бронзы; 5 — экран.



ва индивидуальной защиты, как халат, комбинезон, капюшон, защитные очки и др. В качестве материала для радиозащитного халата, комбинезона и капюшона используется специальная радиотехническая ткань, в структуре которой тонкие металлические нити образуют сетку с размерами ячейки 0,5×0,5 мм. Тонкая металлическая проволока скручена с хлопчатобумажными нитями, которые защищают от внешних воздействий и служат электрической изоляцией. Для определения ослабления интенсивности излучения приемлемы формулы (6.26—6.28).

В качестве средств индивидуальной защиты от постоянных магнитных полей наиболее уязвимых органов человека предложена шапочка и короткая юбка из пермаллой марок 79НМ; 79НМ-У; 80НХС; 76НХД.

При воздействии СВЧ излучений в интервале ППЭ 1—10 Вт/м² и выше на рабочем месте для предохранения глаз работающих необходимо применять специальные защитные очки: сетчатые очки, имеющие конструкцию полумасок из медной или латунной сетки; очки ОРЗ-5 со специальным стеклом с токопроводящим слоем диоксида олова (табл. 6.5).

Таблица 6.5. Некоторые специальные материалы для изготовления средств защиты от электромагнитного излучения УВЧ и СВЧ диапазонов

Материалы	Тип, марка	Размеры, мм	Масса 1 м ² кг	Рабочий диапазон волн, см	Кэф-фици-ент от-раже-ния по-мощ-ности, %
Радиопоглощающие материалы:					
резиновые коври-ки	B2Ф2 B2Ф3 ВКФ-1	345×345, толщи-на 11—14, в том числе шипы высо-той 8—11 мм	4—5	0,8—4	2 2 2
магнитодиэлект-рические пласти-ны	XB-0,8 XB-2,0 XB-3,2 XB-4,4 XB-6,2 XB-8,5 XB-10,6	350×400, толщи-на 1—3 в зависи-мости от диапазо-на волн	3—9 в за-висимости от диапазона волн	0,8 2,0 3,2 4,4 6,2 8,5 10,6	2 2 2 2 2 2 2
поглощающее по-крытие на осно-ве поролона	«Болото»	Толщина — 1/8 длины волн	Удельная масса 0,002	0,8 и бо-лее	1—2
	ВРПМ	1000×600, тол-щина 20 мм и бо-лее в зависимости от длины волны	1,5 и боль-ше в зави-симости от длины вол-ны	3 и бо-лее	1—2
поглощающие пластины	СВЧ-0,68	100×100 или 60×60, толщина 3,7 мм	18—20	15—200	3—4
Экранирующие ма-териалы:					
стекло с метал-лизированным слоем (сопротив-ление пленки не более 12 Ом/см ² , светопропускание не ниже 70%)	ТУ 166—63 или ВТУ РЗ-ГИС-1-65	До 600×500, толщина 4 мм и более	8 и более в зависимости от толщины	0,8—150	—
радиотехническая ткань	РТ, 1551 арт.	Ширина 900—1000	0,2	3 и бо-лее	—

Примечание. Для стекла с металлизированным слоем и радиотехнической ткани ослабление проходящей мощности составляет 20 дБ и более.

Список литературы

1. Влияние импульсного электромагнитного поля низкой частоты на организм / Г. И. Евтушенко, Ф. А. Колодуб, И. С. Островакая, Н. В. Максименко, К., Здоровье, 1978. 132 с.
2. Думанский Ю. Д., Сердюк А. М., Лось И. П. Влияние электромагнитных полей радиочастот на человека. К., Здоровье, 1975. 382 с.
3. Крылов В. А., Юченкова Т. В. Защита от электромагнитных излучений. М., Советское радио, 1972. 216 с.
4. Минин Б. А. СВЧ и безопасность человека. М., Советское радио, 1974. 352 с.
5. Правила техники безопасности и производственной санитарии в производстве радиоаппаратуры и аппаратуры проводной связи. Вып. 21/30. М., Министерство радиопромышленности СССР, 1970. 36 с.

- А. Рекомендации по подавлению радиопомех, создаваемых высокочастотными установками промышленного назначения в диапазоне частот 0,15—400 МГц. М., Связь, 1965. 60 с.
7. Рекомендации по применению, устройству и монтажу экранированных помещений и кабин. М., Связь, 1966. 81 с.
8. Санитарные нормы и правила при работе с источниками электромагнитных полей высокой, ультравысокой и сверхвысокой частот. М., Минздрав СССР, 1970. 21 с.
9. Шапиро Д. Н. Основы теории электромагнитного экранирования. Л., Энергия, 1975. 111 с.

Глава 7

ЗАЩИТА ОТ ИЗЛУЧЕНИЙ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

7.1. ЗАЩИТА ОТ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

7.1.1. ЗНАЧЕНИЕ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ С ПОЗИЦИИ ОХРАНЫ ТРУДА

Инфракрасное (тепловое) излучение возникает везде, где температура выше абсолютного нуля. Подавляющее большинство производственных процессов сопровождается выделением тепла, причем тепло выделяется как производственным оборудованием, так и материалами. Находясь вблизи расплавленных или нагретых материалов, нагретых поверхностей оборудования, аппаратов, трубопроводов, пламени, человек подвергается воздействию инфракрасных излучений. В результате поглощения излучающей энергии повышается не только температура тела человека, но и конструкции производственных помещений (пол, стены, перекрытия), оборудования и находящихся в обращении материалов и инструмента, в результате чего резко повышается температура воздуха внутри помещения, что значительно может ухудшить метеорологические параметры рабочей зоны. Под действием инфракрасного излучения происходит не только повышение температуры кожного покрова, но имеют место морфологические и функциональные изменения в организме человека.

По физической природе инфракрасные излучения представляют собой поток материальных частиц, обладающих волновыми и квантовыми свойствами. Они представляют собой периодические электромагнитные колебания и в то же время являются потоком квантовых фотонов. Инфракрасные излучения охватывают область спектра с длиной волны, лежащей в пределах от 760 нм до 540 мкм. Энергия кванта лежит в пределах 0,0125—1,25 эВ. Инфракрасное излучение является функцией теплового состояния источника излучения. Источником инфракрасных излучений является любое нагретое тело. Источники излучения делятся по своему происхождению на естественные и искусственные. К естественным источникам инфракрасных излучений относится природная инфракрасная радиация солнца и неба. Искусственными источниками инфракрасного излучения являются любые поверхности, температура которых выше по сравнению с поверхностями, подвергающимися облучению. Относительно работающего человека такими источниками могут быть все окружающие его поверхности с температурой выше температуры тела человека (36—37° С). Чем больше разность температур излучаемых и облучаемых поверхностей, тем интенсивнее облучение.

Исследования показывают, что не менее 60% всего теряемого тепла распространяется в окружающей среде путем инфракрасного излучения. По закону Стефана — Больцмана излучение абсолютно черного тела пропорционально четвертой степени его абсолютной температуры

$$E_0 = \sigma_0 T^4 = C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (7.1)$$

где E_0 — интегральное излучение, Вт/м²; $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² · К⁴) — константа излучения абсолютно черного тела; $C_0 = 5,67$ Вт/(м² · К⁴) — коэффициент излучения абсолютно черного тела; T — температура излучаемого тела, К.

Излучение различных материалов описывается уравнением

$$E = \varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (7.2)$$

где ε — степень черноты (табл. 7.1).

Распределение энергии излучения по различным направлениям описывается законом Ламберта. Количество энергии dF_φ , излучаемой элементом поверхности dF , в направлении элемента dF_2 , равно количеству энергии, излучаемой по нормали dE_n ,

Таблица 7.1. Степень черноты ε полного излучения различных материалов

Материал	$t, ^\circ\text{C}$	ε
Алюминий		
полированный	225—575	0,039—0,057
окисленный при температуре 600°C	200—600	0,11—0,19
Сталь		
листовая шлифовальная	940—1100	0,52—0,61
окисленная шероховатая	40—370	0,94—0,97
оцинкованная блестящая	28	0,228
оцинкованная окисленная	24	0,276
луженая блестящая	25	0,043—0,064
Чугун		
шероховатый сильноокисленный	40—250	0,95
расплавленный	1300—1400	0,29
Золото полированное	225—625	0,018—0,035
Медь полированная	115	0,023
Асбестовый картон	24	0,96
Кирпич		
диасовый шероховатый	1000	0,8
шамотный глазурованный	1100	0,75
магнезитовый	1500	0,39
силиманитовый	1500	0,29
красный шероховатый	20	0,93

умноженному на величину телесного угла $d\omega$ и косинус угла φ между нормалью к этим элементам:

$$dE_\varphi = dE_n d\omega \cos \varphi. \quad (7.3)$$

Из закона Ламберта следует, что излучательная способность в направлении нормали E_n в π раз меньше полной излучательной способности E :

$$E_n = \frac{E}{\pi} = \frac{1}{\pi} C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 = \frac{\varepsilon}{\pi} C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4. \quad (7.4)$$

Согласно закону квадратов расстояний, плотность лучистого потока E_r на расстоянии r от точечного источника обратно пропорциональна квадрату расстояния:

$$E_r = \frac{E_1}{r^2}, \quad (7.5)$$

где E_1 — плотность лучистого потока на расстоянии единицы длины от излучателя.

Для протяженного источника показатель степени r уменьшается от 2 до 0 при увеличении размеров источника от 0 до ∞ . В частности, для линейного источника этот показатель равен единице.

Газы, имеющие не менее трех атомов в молекуле, также обладают излучательной и поглощательной способностью (на практике наблюдается излучение углекислого газа и водяного пара). Их спектр носит полосчатый характер.

Воздействие излучения газов на персонал происходит при наличии открытого очага, например при выплавке стали в конвертере с применением воздушного дутья, сварке в CO_2 .

В практических условиях излучение является интегральным, поскольку нагреваемые тела излучают одновременно различные длины волн. Однако максимум излучения всегда соответствует волнам определенной длины, причем по мере увеличения температуры источника излучения максимум энергии излучения перемещается в спектре в сторону более коротких волн. Это следует из закона смещения Вина:

$$\lambda_{\text{макс}} T = 2,88, \quad (7.6)$$

где $\lambda_{\text{макс}}$ — длина волны; T — температура излучающей поверхности, К; 2,88 мм $\times$ К — постоянное число.

Отсюда следует, что чем выше температура излучающей поверхности, тем меньше длина волны.

Спектр теплового излучения твердых и жидких тел — сплошной, он характеризуется диапазоном длин волн, в котором происходит излучение, и длиной волн $\lambda_{\text{макс}}$, соответствующей максимуму интенсивности излучения. Эти характеристики спектра излучения однозначно определяются температурой источника излучения по законам Планка и Вина.

7.1.2. ДЕЙСТВИЕ ИНФРАКРАСНОЙ РАДИАЦИИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Инфракрасные излучения оказывают на организм в основном тепловое воздействие. Эффект действия инфракрасных излучений зависит от длины волны, которая обуславливает глубину их проникновения. В связи с этим инфракрасное излучение подразделяется на три области (согласно классификации Международной комиссии по освещению): А, В и С.

К области А относятся излучения с длиной волны от 0,76 до 1,4 мкм, к области В — от 1,4 до 3,0 мкм и к области С — более 3,0 мкм. Первая область инфракрасных излучений обладает большой проникаемостью через кожу и обозначается как коротковолновое инфракрасное излучение, а следующие две области — как длинноволновые. Длинноволновое инфракрасное излучение поглощается большей частью в эпидермисе, в то время как видимые и ближние инфракрасные излучения в основном поглощаются кровью в слоях дермы и подкожной жировой клетчатки.

Пропускание, поглощение и рассеяние лучистой энергии зависят как от длины волны, так и от тканей живого организма. Действие инфракрасных излучений при поглощении их в различных слоях кожи сводится к нагреванию ее, что обуславливает переполнение кровеносных сосудов кровью и усиление обмена веществ. Увеличивается содержание фосфора и натрия в крови, изменяется морфологический состав крови — уменьшается число лейкоцитов и тромбоцитов, появляются агглютинины в крови, происходит поляризация кожи человека. Инфракрасные излучения влияют на функциональное состояние центральной нервной системы, приводят к изменениям в сердечно-сосудистой системе. Отмечается резкое учащение сердцебиений, повышается максимальное и понижается минимальное артериальное давление, учащается дыхание, повышается температура тела и усиливается потоотделение, учащается заболеваемость сердечно-сосудистой системы и органов пищеварения.

Длинноволновые инфракрасные излучения поглощаются слезной жидкостью и поверхностью роговицы и вызывают тепловое действие. Коротковолновые инфракрасные излучения, интенсивно поглощаясь хрусталиком, являются причиной катаракты. Таким образом, инфракрасные излучения, воздействуя на глаз, могут вызвать ряд патологических изменений: конъюнктивиты, помутнение и васкуляризацию роговицы, депигментацию радужки, спазм зрачков, помутнение хрусталика, ожог сетчатки и хориоретинит («снеговая» слепота).

Наиболее тяжелые поражения вызываются короткими инфракрасными излучениями. При интенсивном воздействии этих излучений на непокрытую голову может произойти так называемый солнечный удар — головная боль, головокружение, учащение пульса, ускорение дыхания, затемнение и потеря сознания, нарушение

координации движений, тяжелое поражение мозговых оболочек и мозговых тканей вплоть до выраженного менингита и энцефалита.

При длительном пребывании человека в зоне теплового лучистого потока, как и при систематическом воздействии высокой температуры, происходит резкое нарушение теплового баланса в организме. Нарушается работа терморегуляторного аппарата, усиливается деятельность сердечно-сосудистой и дыхательной систем, усиливается потоотделение, происходят потери нужных организму солей. Обеднение организма водой вызывает сгущение крови, ухудшается питание тканей и органов. Потеря организмом солей лишает кровь способности удерживать воду, что приводит к быстрому выведению из организма вновь выпитой жидкости. Нарушение водно-солевого баланса вызывает так называемую судорожную болезнь, характеризующуюся появлением резких судорог, преимущественно в конечностях. Нарушение теплового баланса вызывает заболевание, называемое тепловой гипотермией или перегревом. Это заболевание характеризуется повышением температуры тела, достигающей в тяжелых случаях $40-41^{\circ}\text{C}$ и выше, обильным потоотделением, значительным учащением пульса и дыхания, резкой слабостью, головокружением, изменением зрительных ощущений, шумом в ушах и зачастую потерей сознания.

При систематических перегревах отмечается повышенная восприимчивость к простудным заболеваниям. Наблюдается снижение внимания (нарастание числа ошибочных операций), наступает чувство расслабленности, резко повышается утомляемость, снижается производительность труда. Таким образом, тепловое излучение воздействует на организм человека, нарушая его нормальную деятельность, вызывая серьезные осложнения.

Тепловой эффект воздействия облучения зависит от множества факторов: от спектра излучения, интенсивности потока облучения, величины, излучающей поверхности, размера облучаемого участка организма, длительности облучения и прерывности его, угла падения лучей, одежды и т. п.

7.1.3. НОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ИНФРАКРАСНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Интенсивность инфракрасной радиации необходимо измерять на рабочих местах или в рабочей зоне вблизи источника излучения. Допустимая длительность действия на человека тепловой радиации приведена ниже.

Тепловая радиация, Вт/м²	Длительность действия радиации, с
20—560 (слабая)	Неопределенно долгое время
560—1050 (умеренная)	180—300
1050—1600 (средняя)	40—60
1600—2100 (значительная)	20—30
2100—2800 (высокая)	12—24
2800—3500 (сильная)	6—12
Большее 3500 (очень сильная)	2—5

Если рабочие имеют непостоянные рабочие места при стабильных источниках, целесообразно замерять интенсивность излучения на разных расстояниях от источника радиации с одинаковыми интервалами и определять длительность облучения рабочих. Так как инфракрасное излучение нагревает окружающие поверхности, создавая вторичные источники тепловыделения, то необходимо измерять интенсивность излучения не только на постоянных рабочих местах или в рабочей зоне, но и нейтральных точках и других местах помещения. Интегральная допустимая интенсивность облучения не должна превышать 350 Вт/м^2 .

Интенсивность интегрального теплового излучения измеряется актинометрами, а спектральная интенсивность излучения—инфракрасными спектрометрами типа ИКС-10; ИКС-12; ИКС-14. В настоящее время в практике производственных исследований применяется актинометр Носкова. Для измерения малых величин ($1400-2100 \text{ Вт/м}^2$) интенсивности излучения (от слабонагретых тел или от сильных источников, расположенных далеко от рабочей зоны) применяют серебряно-висмутовый термостолбик Молля.

В институте технической теплофизики АН УССР разработан прибор для измерения конвективной и радиационной составляющих теплового потока: предел измерения конвективного потока составляет $2 \cdot 10^3-4 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$, а радиационного потока — $5 \cdot 10^2-1 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$. Для измерения температуры накаливаемых тел по их яркости пользуются оптическими и термоэлектрическими пирометрами.

7.1.4. РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Интенсивность облучения, Вт/м², от нагретой поверхности или через отверстие в печи рекомендуется определять по формулам:

для $r \geq 1 \text{ м}$

$$E = \frac{0,91 F [(T/100)^4 - A]}{r^2}; \quad (7.7)$$

для $r < 1 \text{ м}$

$$E = \frac{0,91 \sqrt{F} [(T/100)^4 - A]}{r}, \quad (7.8)$$

где F — площадь излучающей поверхности, м²; r — расстояние от источника излучения, м; $A(T_{\text{доп}}/100)^4 = 85$ — для кожи человека и хлопчатобумажной ткани; $A = 110$ — для сукна.

Подсчитанную величину интенсивности облучения сравнивают с допустимой по нормам. Если E больше, то возникает необходимость в проведении мероприятий по уменьшению действия излучения на работающих.

7.1.5. ЗАЩИТА ОТ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Способы защиты от инфракрасного излучения следующие: теплоизоляция горячих поверхностей; охлаждение теплоизлучающих поверхностей; экранирование источников излучений; применение воздушного душирования; применение средств индивидуальной защиты; организация рационального режима труда и отдыха и др.

Тепловая изоляция является эффективным и самым экономичным мероприятием не только по уменьшению интенсивности инфракрасного излучения от нагретых поверхностей (печей, сосудов, трубопроводов и др.), но и общих тепловыделений, а также по предотвращению ожогов при прикосновении к этим поверхностям и сокращению расхода топлива. По действующим санитарным нормам температура нагретых поверхностей оборудования и ограждений на рабочих местах не должна превышать 45°С. При этом доля инфракрасного излучения с понижением температуры уменьшается, благодаря чему интенсивность облучения персонала при устройстве теплоизоляции снижается в большей степени, чем общее тепловыделение. Иногда применяя внутреннюю теплоизоляцию — футеровку для снижения рабочих температур конструкций оборудования.

Охлаждение теплоизолирующих поверхностей. Для снижения интенсивности излучений от наружных поверхностей применяется водяное охлаждение. При этом температура наружной поверхности не превышает температуры отходящей воды (35—40°С).

Расход воды на охлаждение, кг/ч,

$$G = \frac{\Phi}{c \Delta t}, \quad (7.9)$$

где Φ — тепловой поток, Дж/ч; c — удельная теплоемкость воды, Дж/(кг · °С); Δt — разность температур отводящей и поступающей воды, °С.

Основным недостатком водоохлаждаемых элементов является опасность взрыва в случае утечки воды из системы охлаждения и контакта ее с жидким металлом и нагретыми материалами или перегрев воды и парообразование внутри охлаждаемого элемента в результате появления накипи и пламени, что ведет к нарушению циркуляции воды.

Для предупреждения взрывов в этом случае предусматривается целый ряд мероприятий, в том числе и открытый слив воды в сливную воронку, которая должна иметь ограждение, чтобы избежать возможных ожогов персонала вырывающимся паром.

Экранирование источников излучений — наиболее распространенный и эффективный способ защиты от излучения. Экраны применяют как для экранирования

источников излучения, так и для защиты рабочих мест от воздействия инфракрасного излучения.

По принципу действия экраны подразделяются на теплоотражающие, теплопоглощающие, теплоотводящие. Это деление условно, так как любой экран обладает способностью отражать, поглощать или отводить тепло. Принадлежность экрана к той или иной группе зависит от того, какое свойство отражено в нем наиболее сильно.

В зависимости от возможности наблюдения за рабочим процессом экраны можно разделить на три типа: I — непрозрачные, II — полупрозрачные и III — прозрачные.

При конструировании экрана надо стремиться получить низкую степень черноты с обеих поверхностей его (как у теплоотражательных экранов), высокое термическое сопротивление R (как у теплопоглощительных экранов) и благоприятные условия для естественного движения воздуха вдоль экрана (для конвективного теплоотвода).

Непрозрачные экраны могут быть теплоотражающими, теплопоглощающими и теплоотводящими.

В качестве отражающих материалов используют фольгу (алюминиевую фольгу), алюминий листовой, белую жем, алюминиевые краски. Величина межэкранного пространства принимается обычно равной 20—25 мм, хотя уменьшение ее до 5 мм улучшает теплозащитные свойства экрана вследствие устранения конвективного теплообмена между слоями экрана. Расстояние между излучающей поверхностью и экраном в случаях, когда повышение температуры поверхности нежелательно, увеличивается до 200—250 мм. Альфоль обычно наклеивают на асбест, клингерит, огнестойкую фанеру, металлическую сетку или укладывают в мягком или гофрированном виде между сетками.

Расчет отражающих экранов заключается в определении числа слоев экрана (температура не должна превышать 30—35° С). Для оценки защитных свойств экрана применяются следующие характеристики.

Кратность ослабления теплового потока

$$m = q_{1,2}/q_{22} = \frac{\epsilon_{1,2}}{\epsilon_{21}} + \frac{\epsilon_{1,2}}{\epsilon_{22}}, \quad (7.10)$$

где $q_{1,2}$ — плотность теплового потока между параллельными плоскостями 1 и 2.

$$q_{1,2} = C_{\epsilon_{1,2}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (7.11)$$

где q_{22} — плотность теплового потока между экраном и плоскостью 2.

$$q_{22} = \frac{C_{\epsilon_2}}{1/\epsilon_{21} + 1/\epsilon_{22}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]. \quad (7.12)$$

Кратность снижения температуры излучающей поверхности

$$\mu = T_1/T_2 = \sqrt{\frac{m}{1 + (T_2/T_1)^4 + m(T_2/T_1)^4}}. \quad (7.13)$$

Коэффициент пропускания теплового потока

$$\tau = 1/m, \quad (7.14)$$

Коэффициент эффективности экрана

$$\eta = 1 - \tau = \frac{m-1}{m}. \quad (7.15)$$

При $t_1 > 400^\circ \text{C}$ можно допустить

$$\mu = \sqrt[4]{m}. \quad (7.16)$$

При равенстве степеней черноты всех участвующих в теплообмене поверхностей $m = 2$.

В случае установки n экранов и при разных степенях черноты источника излучения и экрана

$$m = \frac{\epsilon_{1,2}}{\epsilon_{21}} (n + 1). \quad (7.17)$$

Если $\varepsilon_{1,2} = \varepsilon_{3,1}$,

$$m = n + 1. \quad (7.18)$$

При заданной температуре экрана $T_3 = T_1/\mu$ требуемое число экранов

$$n = \frac{1 - (T_1/T_3)^n}{1/\mu^n - (T_1/T_3)^n} \frac{\varepsilon_{31}}{\varepsilon_{12}} - 1. \quad (7.19)$$

Экран, отражая часть теплового потока обратно на источник излучения, повышает температуру последнего. Это повышение описывается эмпирической формулой

$$t_1 = 2,1 t_2^{0.63}, \quad (7.20)$$

где t_2 — температура неэкранированной поверхности.

Таблица 7.2. Свойства отражающих экранов

Отражающий материал	Допустимая температура материала $t_{доп}$, °C	Допустимая интенсивность облучения, $I_{доп}$, кВт/м²	Интенсивность облучения за экраном, Вт/м²	Интенсивность облучения экрана при испытании, кВт/м²	Температура наружной поверхности экрана t , °C	Коэффициент эффективности экрана, %	Масса 1 м² экрана, кг
Альфонь на асбесте	300	10,5	105	7,0	35	97,8	4,2
То же в два слоя	300	10,5	140	14,0	32	98,8	5,6
Альфонь мятый между сетками	300	14,0	140	7,0	35	97,3	3,2
Альфонь гофрированный в два слоя	300	14,0	210	14	33	97,5	3,2
Алюминий листовой	600	21,0	210	18	55	96,9	5,2
Белая жель	150	7,0	210	5	50	79,6	7,0
То же в два слоя	150	7,0	140	7,0	38	97,1	15,0
Асбест листовой 2 мм	600	10,5	1330	3,5	73	62	5,0
То же 5 мм *	600	10,5	560	3,5	62	84	10,0

* Асбестовые экраны относятся к теплопоглощающим, они приведены для сравнения.

Наличие теплового сопротивления экрана R и конвективного теплообмена приводит к дополнительному снижению температуры наружной поверхности экрана. Благодаря собственному тепловому сопротивлению экрана на его поверхности устанавливается перепад температур $\Delta t = t_0 - t_1$. Тепловой поток через экран дополнительно уменьшается на величину

$$\Delta q = C_0 [(T_0'/100)^4 - (T_1'/100)^4], \quad (7.21)$$

где T_0' и T_1' — температура соответственно на внутренней и наружной поверхностях экрана.

Свойства отражающих экранов приведены в табл. 7.2.

Достоинствами отражающих экранов являются высокая эффективность, малая масса, экономичность. Однако применение их ограничивается, так как они не выдерживают высоких температур и механических воздействий. Эффективность экранов ухудшается при отложении на них пыли, сажи и окислении.

В теплопоглощающем экране вследствие большого термического сопротивления тепловой поток вызывает значительную разность температур поверхностей. При этом температура внутренней (обращенной к источнику излучения) поверхности экрана повышается и тепловой поток уменьшается из-за увеличения разности температур (формула 7.21). Температура наружной поверхности экрана остается низкой.

В качестве теплопоглощающих экранов используют металлические заслонки и щиты, футерованные огнеупорным или теплоизоляционным кирпичом, асбестовые щиты на металлической раме, сетке или листе и другие теплоизоляционные конструкции.

Футерованные экраны применяются при интенсивностях облучения до $10,5 \text{ кВт/м}^2$, асбестовые — до $3,5 \text{ кВт/м}^2$. Коэффициент эффективности футерованных экранов равен примерно 0,3, асбестовых — 0,6.

Теплопоглощающие экраны можно применять в условиях интенсивных тепловых излучений, высоких температур, механических ударов и запыленной среды.

Теплоотводящие экраны представляют собой сварные или литые конструкции, охлаждаемые протекающей внутри водой. Их можно футеровать с одной стороны и в этом случае они применяются при любых встречающихся в практике интенсивностях облучения, нефутерованные — при интенсивности $4,9\text{—}14 \text{ кВт/м}^2$, орошаемые щиты — при $0,7\text{—}3,5 \text{ кВт/м}^2$.

Теплоотводящие экраны при достаточном охлаждении являются практически теплонепроницаемыми. Расход воды на охлаждение определяется из теплового баланса экрана:

$$\sigma = 0,93 \frac{\Phi}{\Delta t} \quad (7.22)$$

Коэффициент 0,93 учитывает неполноту поглощения падающего на экран излучения. Температура уходящей воды не должна превышать $35\text{—}50^\circ \text{C}$ (в зависимости от жесткости).

Теплоотводящие экраны применяются для защиты от тепловых излучений высокой интенсивности в случаях, когда другие типы экранов не применимы.

Полупрозрачные экраны. К полупрозрачным экранам относятся металлические сетки с размером ячейки $3\text{—}3,5 \text{ мм}$, цепные завесы, армированное стальной сеткой стекло.

Сетки применяют при интенсивностях облучения $0,35\text{—}1,05 \text{ кВт/м}^2$ и имеют коэффициент эффективности около 0,67.

Цепные завесы применяются при интенсивностях облучения $0,7\text{—}4,9 \text{ кВт/м}^2$. Коэффициент эффективности зависит от толщины цепей и при уменьшении толщины цепей достигает 0,7. С целью повышения эффективности применяют орошение завесы водяной пленкой и устраивают двойные экраны.

Армированное стекло применяют при тех же интенсивностях облучения, что и цепные завесы и имеет такой же коэффициент эффективности. Увеличение эффективности достигается орошением водяной пленки и устройством двойного экрана.

Прозрачные экраны. Для прозрачных экранов используют силикатное, кварцевое или органическое стекло, тонкие (до 2 нм) металлические пленки на стекле, воду в слое или дисперсном состоянии.

При воздействии излучений оптического диапазона плотностью потока E часть энергии отражается (E_r), часть поглощается (E_d) и часть проходит (E_t). Отношение $\frac{E_t}{E} = D$, называется кажущимся коэффициентом пропускания, а $\frac{E_d}{E - E_r} = D$ — действительным коэффициентом пропускания.

Поглощение лучистой энергии в прозрачном теле происходит по экспоненциальному закону:

$$E_d = (E - E_r) D = (E - E_r) \exp(-bs), \quad (7.23)$$

где s — толщина тела, измеряемая по направлению излучения; b — коэффициент ослабления излучения.

Материал прозрачного экрана должен обладать минимальным D_s для инфракрасных лучей и достаточным — для видимых.

Прозрачные экраны могут быть теплоотводящими и теплопоглощающими. Из теплоотводящих экранов наибольшее распространение получили водяные завесы, устраиваемые у рабочих окон нечех, если через экран необходимо вводить инструмент, заготовки и др. Водяные завесы рекомендуется применять при интенсивности облучения $350\text{—}1400 \text{ Вт/м}^2$. Коэффициент эффективности их равен примерно 0,8. Толщина слоя водяной завесы

$$s = \frac{\ln \frac{E}{E_{\text{доп}}}}{b} \quad (7.24)$$

где E , $E_{\text{доп}}$ — энергия лучистого потока в данной точке соответственно при отсутствии и наличии завесы, соответствующая санитарным нормам, Вт/м²; b — опытный коэффициент ослабления потока излучения для каждой волны.

Коэффициент пропускания воды в различных участках спектра в значительной степени зависит от толщины слоя воды. Тонкие водяные пленки начинают заметно поглощать излучение с длиной волны более 1,9 мкм и значительно поглощают волны длиной более 3,2 мкм. Поэтому они пригодны для экранирования источников с температурой до 800°С. При толщине слоя воды 15–20 мм полностью поглощаются излучения с длиной волны более 1 мкм, поэтому такой слой воды эффективно защищает от теплового излучения источников с температурой до 1800°С.

Экраны в виде водяной пленки, стекающей по стеклу, более устойчивы по сравнению со свободными завесами: они имеют более высокий коэффициент эффективности (порядка 0,9) и могут применяться при интенсивностях облучения 1750 Вт/м².

Высокой эффективностью (с коэффициентом 0,93) обладают аквариальные экраны, представляющие собой коробку из двух стекол, заполненную проточной чистой водой с толщиной слоя 15–20 мм. Эти экраны рекомендуются при интенсивности облучения 2100 Вт/м².

Взаимодействие взвешенных капелек воды с электромагнитным излучением происходит по законам дисперсионного рассеяния и зависит от соотношения между радиусом капелек и длиной волны. Максимум ослабления теплового потока вододисперсной завесой достигается при равенстве этих величин. Кроме того, вследствие большой поверхности происходит интенсивное образование водяного пара, также поглощающего тепловое излучение. Эффективность вододисперсных завес в отличие от водяных пленок постоянна в диапазоне длин волн от 1 до 3 мкм.

Вододисперсная завеса представляет собой плоскую воздушную струю со взвешенными в ней капельками воды, применяется при интенсивностях облучения до 3,5–7 кВт/м², при этом коэффициент эффективности достигает 0,70.

Коэффициент ослабления завесы b пропорционален числу капелек в единице объема n :

$$b = kn, \quad (7.25)$$

где k — коэффициент ослабления капли.

$$k = \pi r^2 k_{(p)}, \quad (7.26)$$

где r — радиус капли; $p = \frac{2\pi r}{\lambda}$ — характеристика крупности капелек; λ — длина волны излучения.

Так как в реальных условиях завеса состоит из капелек различных размеров и в излучении имеются волны различной длины, то с достаточной для практики точностью принимают $k_{(p)} = 2$. Тогда

$$k = 2\pi r^2. \quad (7.27)$$

Масса воды, приходящаяся на единицу площади завесы, называется водностью M . При толщине завесы s , массе капли m и количестве капелек в единице объема n

$$M = nsm. \quad (7.28)$$

Тогда оптическая толщина завесы

$$\tau = bs = kM/m. \quad (7.29)$$

Расход воды на создание единицы площади завесы

$$\sigma = M/t, \quad (7.30)$$

где t — время пребывания капли в завесе.

При расчетах принимают размер капли $r = 5$ мкм для распыления паром и $r = 10$ мкм для распыления воздухом. Средняя скорость движения капли в завесе — 1 м/с, расход сжатого воздуха — 700 м³ на 1 м³ воды, шаг форсунок — 0,2 м.

Теплопоглощающие прозрачные экраны изготавливают из различных стекол (силикатных, кварцевых, органических), бесцветных или окрашенных. Для повышения эффективности применяется двойное остекление с вентилируемой воздушной прослойкой.

Органическое стекло применяют для защиты лица от теплового облучения в виде наголовных щитков. Эффективность стекол зависит от спектра излучения, т. е. стекло обладает узкополосными свойствами.

В последнее время одним из методов предупреждения влияния лучистой энергии является охлаждение стен, пола и потолка и применение специальных экранов на рабочих местах.

Кроме мер, направленных на уменьшение интенсивности теплового излучения на рабочих местах, предусматривают такие условия, при которых обеспечивается отдача тепла человека непосредственно на месте работы. Это осуществляется путем создания оазисов и душирования, с помощью которых непосредственно на рабочее место направляется воздушный поток определенной температуры и скорости в зависимости от категории работы, сезона года и интенсивности инфракрасной радиации согласно ГОСТ 12.1.005—76.

Особую группу мер, направленных на предупреждения перегревания человека, представляют рациональный питьевой режим, режим труда и гидропроцедуры. Для восстановления водного баланса в организме рабочих снабжают газированной подсоленной водой (от 0,2 до 0,5% хлористого натрия) из расчета 4—5 л на человека в смену. Такая вода уменьшает жажду, потоотделение, потерю массы, способствует снижению температуры тела, улучшению самочувствия, повышению производительности труда.

При высокой интенсивности теплового излучения в течение смены устраиваются перерывы, частота и длительность которых определяется условиями и категорией работы. С этой целью для работающих устраиваются специальные так называемые радиационные кабины, или комнаты отдыха, в которых обеспечивается заданный микроклимат. Температура стен в этих комнатах предусматривается более низкая, чем температура воздуха.

Средства индивидуальной защиты применяются в целях исключения или снижения воздействия лучистой энергии на организм человека. Защита органов тела достигается снабжением работающих спецодеждой, выполненной из невоспламеняемого, стойкого против лучистой энергии, мягкого и воздухопроницаемого материала (сукно, брезент, синтетическое химически обработанное волокно, ткань с металлическим покрытием). Ткань с металлическим покрытием отражает до 90% падающих на рабочего инфракрасных излучений. Для защиты глаз от воздействия инфракрасного излучения выпускаются специальные стекла — светофильтры, применяемые в очках, щитках и других устройствах. Для различных работ рекомендованы соответствующие защитные светофильтры из специального желто-зеленого или синего стекла (ГОСТ 12.4.003—74 и ГОСТ 12.4.080—79).

Кроме вышеперечисленных мер применяются лечебно-профилактические мероприятия, предварительные и медицинские осмотры в целях предупреждения, а также ранней диагностики заболеваний у работающих.

7.2. ЗАЩИТА ОТ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

7.2.1. ХАРАКТЕРИСТИКА УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Ультрафиолетовые лучи в электромагнитном спектре располагаются между тепловой и проникающей радиацией и носят черты как той, так и другой. Длина волны 390—10 нм. Энергия кванта 3,56—6,25 эВ. По способу генерации они относятся к тепловой части излучений, но по действию на поглощающие тела ближе подходят к проникающей радиации, хотя производят также и тепловой эффект. Различие заключается в том, что ионизирующая радиация при действии на тело вызывает ионизацию, а ультрафиолетовые лучи обладают этим действием далеко не в такой степени. Энергия их квантов достаточна лишь для приведения атома в возбужденное состояние. После приведения атома в возбужденное состояние развиваются вторичные процессы, характеризующие различные фотохимические реакции, подчиняющиеся законам химической кинетики и определяющие конечный исход фотохимической реакции. Особенностью ультрафиолетовых излучений является высокая сорбционность — их поглощает большинство тел.

Спектр ультрафиолетового излучения имеет большую протяженность и оказывает различное действие как физико-химического, так и биологического характера. Он делится на определенные области: область УФА — длина волны от 390 до 315 нм; область УФВ — от 315 до 280 нм; область УФС — от 280 до 10 нм.

Температурные излучатели начинают продуцировать ультрафиолетовые излучения при нагреве их выше 1200° С.

Интенсивность ультрафиолетового излучения и его спектральный состав на рабочем месте зависят как от температуры нагрева излучателя, так и от расстояния рабочих мест от источников излучения и от наличия газов в производственной атмосфере — озона и оксидов азота, а также пыли. Интенсивность излучения убывает обратно пропорционально квадрату расстояния (для точечных источников излучения). Пыль, дым и газы поглощают ультрафиолетовую энергию и изменяют ее спектральную характеристику. Воздух практически непрозрачен для $\lambda < 185$ нм из-за поглощения O_3 . В связи с тем что ультрафиолетовое излучение является сорбиционным, невозможно рассчитать интенсивность ультрафиолетовой радиации на расстоянии от источника и поэтому ее только замеряют. Облучению могут подвергаться рабочие при таких работах, как дуговая электросварка, электроплавление стали, производство радиоламп и ртутных выпрямителей, эксплуатации оптических квантовых генераторов (ОКГ). Технический и медицинский персонал может облучиться при работе с ртутно-кварцевыми лампами.

7.2.2. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Действие ультрафиолетовых излучений (УФИ) на живые организмы вызывает нарушения, деструкцию, химическое расщепление молекул биополимеров даже при умеренных дозах и это действие связано с относительно грубыми и стойкими материальными изменениями. При этом имеет место и частичная гибель клеток кожи, их ускоренная полиферация, изменение формы и размеров клеток и т. д. Наличие структурных и химических нарушений в месте прилучения УФ создает некоторую обязательную цепь дальнейших процессов в реакции организма. УФИ рассматриваются как раздражители, действующие на нервные окончания кожи, а также вызывающие изменения в организме. Резко выраженное воздействие УФИ на кожу вызывает дерматиты с диффузной экземой, отеком, жжением и зудом. Имело место образование раковых опухолей под действием УФИ при длине волны 280—303 нм. Наряду с этим УФИ влияют на центральную нервную систему. В результате этого могут возникать и общетоксические симптомы — головная боль, головокружение, повышение температуры тела, ощущение разбитости, повышенная утомляемость, нервное возбуждение и другие явления.

УФИ поглощаются наружными средами глаза и в зависимости от продолжительности и интенсивности воздействия вызывают различные степени поражения. Прямые и отраженные УФИ вызывают сильное воспаление переднего отдела глаза, известное под названием фото- или электроофтальмии. Болезнь сопровождается сильной болью в глазах, возникает ощущение инородного тела, затуманивание зрения, фотопсия, гиперемия и отек, конъюнктивит век и глазного яблока. Отмечаются помутнение в нижней половине роговицы, мягкие язвочки. Болезнь сопровождается слезотечением, светобоязнью и общими симптомами в виде головных болей, разбитости, бессонницы, учащенного пульса, общего беспокойства, сужения зрачков. Через 5—6 дней все явления проходят.

Ультрафиолетовые излучения области УФА отличаются сравнительно слабым биологическим действием — они вызывают по преимуществу флюоресценцию. УФВ отличаются значительным биологическим действием — вызывают основные изменения в коже, оказывают антирахитическое действие, действие на нервную систему, на кровообращение и другие органы. УФС отличаются большим разрушительным действием на биологическую клетку — бактерицидное действие, коагуляция белков и т. д.

УФ радиация изменяет состав производственной атмосферы. Образуются озон, оксиды азота и перексид водорода. При воздействии УФИ на твердые предметы (на взвешенные в воздухе частицы — аэрозоли) возникает фотоэлектрический эффект. Короткие УФИ, расщепляя газовую молекулу атмосферы, ионизируют воздух.

Химическое и ионизирующее действие УФИ обуславливает образование в производственной атмосфере ядер конденсации. Ядра конденсации снижают интенсивность радиации источников, уменьшают освещенность рабочих мест, ведут к обра-

зованию производственных туманов и оказывают консервирующее действие на влажность воздуха, затрудняя его высушивание.

Для измерения интенсивности УФ излучения используются приборы — уфиметры.

7.2.3. МЕРЫ ЗАЩИТЫ ОТ УФИ

Снижение интенсивности облучения УФ радиацией и защита от его воздействия достигается защитой «расстоянием»; экранированием источников излучения; экранированием рабочих мест; средствами индивидуальной защиты; специальной окраской помещений и рациональным размещением рабочих мест.

Защита «расстоянием» — это удаление обслуживающего персонала от источников УФИ. Расстояния, на которых уровни УФИ не представляют опасности для рабочих, определяются только экспериментально в каждом конкретном случае в зависимости от условий работы, состава производственной атмосферы, вида источника излучения, отражающих свойств конструкций помещения и оборудования и т. д.

Наиболее рациональным методом защиты является экранирование (укрытие) источников излучений. В качестве материалов экрана могут применяться различные материалы и светофильтры, не пропускающие или снижающие интенсивность излучений.

Особое значение имеет защита окружающих от действия излучений. С этой целью рабочие места, на которых имеет место УФИ, ограждаются ширмами, щитками либо устраиваются кабины.

Стены и ширмы в цехах окрашивают в светлые тона с добавлением в краску оксида цинка. Кабины изготавливают высотой 1,8—2 м, причем их стенки не должны доходить до пола на 25—30 см для улучшения условий проветривания кабин.

Для экранирования рабочих мест обслуживающий персонал размещается в специальной кабине с комфортными условиями для управления, наблюдения за технологическим процессом и оборудованием.

Для защиты от УФИ обязательно применяются индивидуальные средства защиты, которые состоят из спецодежды (куртка, брюки), рукавиц, фартука из специальных тканей, щитка со светофильтром, соответствующих определенной интенсивности излучения. Для защиты глаз, например при ручной электросварке, применяют светофильтры следующих типов: для электросварщиков при сварочном токе 30—75 А — Э-1; 75—200 А — Э-2; 200—400 А — Э-3 и при токе 400 А — Э-4. Подручные сварщиков снабжаются очками со светофильтрами типа В-1-2,4; В-2-3; В-3. Для работ у стекловаренных и металлургических печей применяют светофильтры Г-7; Г-8; П-1; Д-2; П-2; Д-3 и др. (ГОСТ 12.4.003—74 и ГОСТ 12.4.080—79).

Для защиты кожи от ультрафиолетовых излучений могут применяться мази с содержанием веществ, служащих светофильтрами для этих излучений (салол, салицилово-метилловый эфир и пр.), а также спецодежда, изготавливаемая из льняных и хлопчатобумажных тканей с искростойкой пропиткой и из грубошерстных сукон. Для защиты рук от воздействия УФ радиации применяют рукавицы.

7.3. ЗАЩИТА ОТ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

К числу наиболее фундаментальных научных достижений XX века относится создание ОКГ — лазеров. Обилие различных типов лазеров, обладающих уникальными свойствами и отличающихся спектральными и энергетическими характеристиками, определяет широту сферы их применения. К уникальным свойствам лазеров относятся монохроматичность излучения (строго одной длины волны), его когерентность (все источники излучения испускают электромагнитные волны в одной фазе), высокая несущая частота излучения (10^{14} — 10^{16} Гц), способность излучения концентрироваться в очень узком с малым углом расхождения луче. Благодаря этим свойствам ОКГ находят широкое применение в ряде отраслей народного хозяйства: металлообработке, металлургии, энергетике, строительстве, деревообработке, радиотехнике, сварочном производстве, биологии и медицине и т. п.

Эксплуатация ОКГ с высокой интенсивностью светового излучения сопровождается продуцированием различных вредных факторов. Расширение производства и использование лазерных установок неизбежно вызывают увеличение контингента лиц, обслуживающих их, которые могут подвергаться воздействию различных вредных факторов.

7.3.1. ИСТОЧНИКИ И СВОЙСТВА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Принцип действия лазеров основан на использовании вынужденного (стимулированного) электромагнитного излучения, получаемого от рабочего вещества в результате возбуждения его атомов электромагнитной энергией. В качестве рабочего вещества в ОКГ используют твердые тела (синтетический рубин, стекло с неодимом и др.), газовые смеси (He-е и др.), а также жидкости и полупроводниковые материалы. Существует несколько разновидностей ОКГ, определяемых характером рабочего вещества: твердотельные, жидкостные, газовые и полупроводниковые. Классификация ОКГ приведена в прил. 1.

Монохроматичность, когерентность и малая расходимость лазерного излучения позволяют фокусировать его на чрезвычайно малой площади, стремящейся к точке, что дает возможность получить исключительно высокие уровни концентрации энергии — миллиарды киловатт на квадратный сантиметр. Однако время существования такой плотности мощности в фокусе импульсного лазерного луча ничтожно — 10^{-9} с. Тем не менее, в подобных условиях действие данного луча на различные материалы приводит к их разрушению и испарению (металлы испаряются при плотности мощности излучения (ПМИ) порядка 10^4 Вт/см²).

Максимальная интенсивность излучения, Вт/м² (Дж/м²), которая может быть получена от сфокусированного лазерного источника, в центре площади

$$W_{\max} = P \frac{D^2}{F\lambda^2}, \quad (7.31)$$

где P — выходная мощность излучения, Вт (Дж); D — диаметр объектива оптической системы, м; F — фокусное расстояние оптической системы, м; λ — длина волны излучения, м.

Лучеиспускание лазера E_L во много раз больше лучеиспускания E_0 обычного источника света. Эти величины связаны соотношением

$$\frac{E_L}{E_0} = \frac{10^{10} PQ}{f^2}, \quad (7.32)$$

где Q — добротность объемного оптического резонатора лазера на частоте f ; f — частота генерации лазера.

При экстремально высоких пиковых интенсивностях могут иметь большое значение сильные электрические поля. Пиковое значение электрического поля E , В/м, для плоской волны, распространяющейся в среде с диэлектрической проницаемостью ϵ и магнитной проницаемостью μ ,

$$E = \sqrt{2W} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}. \quad (7.33)$$

Пиковое значение электрического поля в вакууме при $W = 1$ МВт/см² составит $2,74 \cdot 10^4$ В/м.

При фокусировании излучения лазера в газе в режиме модулированной добротности возникает так называемый лавинный пробой. В фокусе линзы образуется сгусток высокоионизированной высокотемпературной плазмы, которая является источником мягкого рентгеновского излучения с длиной волны порядка 1 нм (10 Å). При нагревании вещества лазером до температуры 10^7 — 10^8 К возможно возбуждение ядерных реакций.

Турбулентность атмосферы вызывает блуждание луча, его рассеивание и сцинтилляцию. При прохождении луча через участки с разной температурой он отклоняется от первоначального направления. При большом диаметре луча различные его участки попадают в разные турбулентные области и луч начинает разделяться и расходиться. Блуждание и расходжение луча уменьшаются при увеличении его диаметра или при больших расстояниях от источника, при этом наблюдается эффект сцинтилляции, т. е. перераспределение энергии внутри луча. Было установлено, что на расстоянии 1 км от источника уровень облучения превышает уровень на оси луча вблизи источника в 4—5 раз. Естественно, что в других участках луча уровни облучения были ниже. Таким образом, опасность лазера, вероятно, наибольшая в таких «горячих» точках.

Из вышесказанного можно заключить, что эксплуатации ОКГ сопутствует комплекс факторов, которые оказывают вредное воздействие на работающих. К таким опасностям можно отнести:

1. Высокое напряжение зарядных устройств, питающих батарею конденсаторов большой емкости. После разряда импульсных конденсаторов на лампы — вспышки они могут сохранять электрический заряд высокого потенциала.

2. Загрязнение воздушной среды химическими веществами, образующимися при разрядке импульсных ламп накачки (озон, оксиды азота), а также в результате испарения материала мишени при сварке, пайке, сверлении и т. п. (оксид углерода, оксиды свинца, ртуть, продукты термоокислительного разложения материала мишени и др.), побочными продуктами реакций в ОКГ (цианистый водород и др.).

3. Ультрафиолетовое излучение импульсных ламп и газоразрядных трубок.

4. Световое излучение высокой интенсивности при работе импульсных ламп накачки.

5. Возможность генерации рентгеновского излучения.

6. Возникновение во время работы импульсных ОКГ звуковых, ультразвуковых и инфразвуковых колебаний высокой интенсивности.

7. Возможное возбуждение ядерных реакций с образованием частиц высокой энергии, глубоко проникающих в организм, при взаимодействии мощных импульсов излучения ОКГ с веществом.

8. Ионизирующее излучение, используемое для накачки.

9. Возникновение электромагнитного поля при работе газовых ОКГ, питаемых от генераторов ВЧ или УВЧ.

10. Возникновение шума при работе механических затворов, управляющих длительностью импульсов излучения ОКГ с модулированной добротностью. Шум создается также ротационными насосами, которые могут использоваться в некоторых ОКГ.

11. В жидкостных ОКГ используются, как правило, агрессивные и токсичные жидкости (например, оксихлорид фосфора), что требует применения специальных мер предосторожности при выполнении операции заливки, замены и слива, а также мер по исключению возможности выхода жидкости из-за неисправности или повреждения систем трубопроводов.

12. Если для охлаждения ОКГ используется жидкость, содержащая токсичные вещества, воздух помещения может загрязняться газами или парами, выделяющимися из недостаточно плотных соединений в системе сосудов и трубопроводов.

13. При работе ОКГ воздух может загрязняться оксидом углерода, озоном, оксидами азота, бромом, хлором и другими вредными газами и парами.

14. При работе тех ОКГ, для питания которых используется напряжение выше 10 кВ, может возникать рентгеновское излучение.

Степень опасности того или иного неблагоприятного фактора зависит от типа и мощности используемого ОКГ, а также от условий его применения.

7.3.2. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Действие лазерного излучения на живой организм носит сложный характер, например, тепловое действие. При фокусировке лазерного излучения выделяется значительное количество тепла в небольшом объеме за короткий промежуток времени. Энергетическое действие определяется большим градиентом электрического поля, которое обусловлено высокой плотностью мощности. Оно может вызывать поляризацию молекул, резонансные и другие эффекты. Фотохимическое действие проявляется в выцветании ряда красителей, механическое — в возникновении колебаний типа ультразвуковых. При воздействии мощного импульса излучения на организм в облученных тканях возникает ударная волна непосредственно от «удара» самого импульса. Таким образом, в результате воздействия ударной волны в облучаемой среде могут происходить различные структурные изменения. Эта ударная волна по своей скорости распространения в среде больше скорости звука, однако прохождение ударной волны в биологической среде замедляется и преобразуется в акустическую. Такое механическое воздействие вызывает патологические изменения в организме.

Результаты экспериментальных исследований и наблюдений свидетельствуют, что наиболее чувствительным к воздействию излучения ОКГ является глаз. Глаз человека различает свет в видимой области спектра от 0,4 до 0,76 мкм. Среда гла-

за способна пропускать свет в более широких пределах спектра — от 0,4 до 1,4 мкм. Наилучшая пропускная способность глаза лежит в области $\lambda = 0,5-0,9$ мкм. Следовательно, в зависимости от длины волны излучения происходят изменения либо в тканях глазного дна, либо в переднем отделе глаза. Повреждение сетчатой оболочки возникает преимущественно при воздействии излучений ОКГ с длинами волн видимого и ближнего инфракрасного диапазона спектра, которые проходят через глаз почти без потерь и фокусируются на сетчатке. Здесь создается локальная плотность энергии в 10^4 раз большая по сравнению с плотностью энергии на роговице. Поэтому попадание излучения ОКГ указанных длин волн опасно для зрения, они вызывают ожоги и разрывы, приводят к повреждению сетчатки и сосудистой оболочки глаза и являются причиной наступления слепоты.

Плотность энергии (мощности) на сетчатке глаза возрастает при увеличении диаметра зрачка, поэтому вероятность повреждения глаза, адаптированного к темноте, больше, чем вероятность повреждения глаза в условиях яркого освещения. Повреждения наблюдаются не только от прямого попадания луча в глаз, но и от отраженного.

Ультрафиолетовое и дальнее инфракрасное излучения ОКГ проникают в глаз, не фокусируясь, и вызывают повреждение роговой оболочки глаза и кожи век, а также конъюнктивы. Эти повреждения обычно имеют характер ожогов. По мере увеличения плотности энергии излучения ОКГ степень изменений тканей глаза возрастает.

При больших плотностях энергии (несколько десятков Дж/см²) возникают изменения в кожном покрове, внутренних органах, головном мозге и др.

Облучение кожи лазерной энергией может вызвать в ней патологические изменения, при этом возможно возникновение как легких функциональных изменений (покраснения), так и тяжелых (некроз—омертвление, карцинома кожи, злокачественная опухоль).

Воздействие небольшой интенсивности излучения на обслуживающий персонал приводит к различным функциональным сдвигам. Эти сдвиги проявляются в виде функциональных изменений центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы, эндокринных желез, увеличения физической утомляемости, колебания артериального давления (± 50 мм рт. ст.), повышенной утомляемости глаз, боли в глазах, головных болей, раздражительности, повышенной возбудимости, нарушения сна, потливости.

Вышеуказанные поражения и функциональные изменения в организме могут возникнуть только в случае облучения лазерными излучениями, превышающими предельно допустимые уровни излучения.

7.3.3. ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

На основании результатов экспериментальных исследований и наблюдений с учетом оптико-физиологических свойств глаза установлены безопасные уровни облучения для различных длин волн (табл. 7.3).

При эксплуатации ОКГ в таких условиях освещенности, когда диаметр зрачка глаза $d_{зр} = 4$ мм, значения предельно допустимых плотностей потока энергии следует увеличить в 4 раза по сравнению с величинами, приведенными в табл. 7.3.

При длительности воздействия излучения $t > 30$ с для всех указанных длин волн лазерного излучения предельно допустимая плотность потока энергии на роговой оболочке глаза должна быть не более 3 Дж/см² или 0,1 Вт/см².

Предельно допустимая плотность потока энергии на роговой оболочке глаза при диаметре зрачка $d_{зр} = 8$ мм для одиночных импульсов длительностью $\tau_{им} = 10^{-9} - 10^{-4}$ с в диапазоне длин волн $\lambda = 0,49 - 1,06$ мкм

$$E_0 = 6,31 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{2,51(\lambda - 0,45)} \tau_{им}^{0,272(\lambda + 0,79)^{-1}}.$$

При действии непрерывных лазерных излучений с длиной волны $\lambda = 0,4 - 1,06$ мкм и при длительности действия $t \geq 0,1$ с расчет предельно допустимой плотности потока энергии, Вт/см², на роговой оболочке глаза

$$E_p = 1,44 \cdot 10^{-4} (1 + 57 (\lambda - 0,4)^2) e^{-0,52 - 0,005(\lambda - 0,46)^{-1}}$$

При действии непрерывно-импульсных лазерных излучений в диапазоне длин волн 490—1060 нм при длительности импульсов $\tau_n \leq 10^{-5}$ с, частоте повторения импульсов $F_n = 1 - 1000$ Гц и длительности облучения $t = 30$ с предельно допустим.

Таблица 7.3. Предельно допустимые плотности потока энергии E_e подлимированных источников лазерного излучения на роговой оболочке глаза для одиночных импульсов для зрачка глаза диаметром $d_{zp} = 8$ мм

λ , нм	E_e , Дж/см ² при длительности импульса τ_n , с								
	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
490	10^{-7}	10^{-7}	$2 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-6}$	10^{-5}
530	10^{-7}	$2 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-7}$	10^{-6}	$2 \cdot 10^{-6}$	10^{-5}	$8 \cdot 10^{-5}$
580	10^{-7}	$2 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-7}$	10^{-7}	$3 \cdot 10^{-6}$	10^{-5}	$8 \cdot 10^{-5}$
630	—	—	—	—	—	—	$3 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-5}$
690	$2 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	10^{-6}	10^{-6}	$2 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}
910	$8 \cdot 10^{-7}$	10^{-6}	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-4}$
1060	$3 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	10^{-5}	10^{-5}	$3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$

мая плотность потока энергии излучения на роговой оболочке глаза

$$E_{n,n} = E_e K_F,$$

где E_e — принимается по табл. 7.3; K_F — поправочный коэффициент, определяемый по формуле $K_F = 0,037 + \exp(-0,1 F_n^{1/2})$ или по табл. 7.4.

Таблица 7.4. Значения поправочного коэффициента

F_n , Гц	1	10	100	1000
K_F	0,9	0,7	0,4	0,08

Таблица 7.5. Значения K_F при действии непрерывно-импульсных излучений с длиной волны $\lambda = 2,5-3; 4-5; 10,6$ мкм

F_n , Гц	1	10	100	1000
K_F	0,9	0,4	0,08	0,009

При воздействии непрерывно-импульсных излучений (табл. 7.5) с длиной волны 2500—3000 нм; 4000—5000 нм, 10 600 нм при длительности импульса $\tau_n \leq 10^{-5}$ с, частоте повторения импульса $F_n = 1 - 1000$ Гц и при длительности воздействия $t \leq 10$ с

$$K_F = \exp(1 \dots 5 \cdot 10^{-4}) F_n - 1, 1 F_n^{1/4}.$$

При действии на орган зрения протяженных источников лазерного излучения в диапазоне длин волн $\lambda = 0,4-1,4$ мкм определяющей нормирующей величиной является энергетическая яркость источника, B . Допустимая энергетическая яркость для одиночных импульсов излучения в диапазоне длин волн $\lambda = 0,49 \dots 1,06$ мкм, при $\tau_n = 10^{-9} \dots 10^{-5}$ с и диаметре зрачка глаза $d_{zp} = 8$ мм

$$B = \frac{2,53(\lambda - 0,31)}{1,41 - \lambda} \tau_n^{1/4}.$$

Для некоторых длин волн значения B приведены в табл. 7.6.

Предельно допустимые плотности потока энергии (мощности) для кожного покрова приведены в табл. 7.7.

При хроническом действии на организм предельно допустимая плотность потока энергии для импульсных и непрерывно-импульсных лазерных излучений должна быть уменьшена в 10 раз, а предельно допустимая плотность потока энергии для

Таблица 7.6. Предельно допустимая энергетическая яркость B , Дж/(ср · см²), протяженных источников

λ , нм	B при $t_{д.о}$					
	10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶
0,49	0,02	0,03	0,05	0,1	0,1	0,3
0,53	0,03	0,04	0,06	0,1	0,8	1,9
0,58	0,04	0,06	0,08	0,2	0,9	2,2
0,69	0,06	0,1	0,1	0,3	1,3	3,1
0,91	0,1	0,2	0,3	0,6	2,7	6,1
1,06	0,3	0,4	0,5	1,0	4,5	9,6

непрерывных излучений должна составлять 0,1 E_e (или E_D) при длительности облучения $t = 10^3$ с.

Предельно допустимая плотность потока излучения в диапазоне длин волн $\lambda = 200-400$ нм приведена в табл. 7.8.

Для измерения интенсивности прямого, отраженного и рассеянного излучений используется прибор ИМО-2 (измеритель мощности оптический). Интенсивность рассеянного и отраженного излучения измеряется на определенном расстоянии от отражающей поверхности. Датчик перемещается в азимутальной плоскости через 10—20° относительно перпендикуляра, восстановленного к плоскости мишени

на различных высотах от пола и на уровне глаз. По результатам измерений строится диаграмма направленности уровней плотности отраженного или рассеянного излучений. Пространственно-энергетическая характеристика отраженного и рассеянного лазерного излучения дает возможность оценить степень воздействия его на персонал и обосновать комплекс защитных мероприятий при эксплуатации ОКГ.

Таблица 7.7. Предельно допустимая плотность потока энергии (мощности) лазерного излучения для кожного покрова

λ , нм	Режим работы	Длительность импульса или воздействия, с	Предельно допустимая плотность потока энергии
690	Импульсный	10^{-3}	1 Дж/см ²
1060	»	10^{-3}	3 Дж/см ²
10 600	Непрерывный	10^{-3}	0,01 Вт/см ²
		10^{-2}	0,01 Вт/см ²
		10^{-1}	0,1 Вт/см ²
		1	0,1 Вт/см ²
		10	0,1 Вт/см ²

Таблица 7.8. Предельно допустимая плотность потока энергии

λ , нм	t , с	Предельно допустимая плотность потока энергии
200—300	$10^{-2}-3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^{-3}$ Дж/см ²
305	$10^{-2}-3 \cdot 10^4$	10^{-2} Дж/см ²
308	$10^{-2}-3 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^{-2}$ Дж/см ²
310	$10^{-2}-3 \cdot 10^4$	10^{-2} Дж/см ²
313	$10^{-2}-3 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^{-1}$ Дж/см ²
315—400	$10^{-2}-10^3$	1 Дж/см ²
315—400	$10^3-3 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^{-3}$ Вт/см ²

7.3.4. ОСНОВНЫЕ МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ ОПТИЧЕСКИХ КВАНТОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

На основании современных представлений о влиянии излучений ОКГ на организм человека в нашей стране разработаны «Санитарные правила при работе с ОКГ». Данные правила включают организационные, инженерно-технические, планировочные и другие мероприятия, обеспечивающие уменьшение плотностей потоков энергии на рабочих местах до величин, значительно меньших приведенных в табл. 7.3.

При эксплуатации ОКГ помимо возможности облучения лазерным излучением необходимо учитывать и побочные факторы, которые оказывают вредное воздей-

ствие на обслуживающий персонал. Поэтому при работе с ОКГ необходимо придерживаться правил, норм и ГОСТ, регламентирующих те или иные положения, как например «Правила устройства электрооборудования», «Правила технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий», «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий» (СН-245-71), «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений» (СНиП 11. А.5—70) и «Нормы проектирования» (СНиП 11-М. 2—72) и др.

В связи с этим целесообразно при разработке и монтаже лазерных установок аналитическим или экспериментальным методом определить возможные уровни облучения и разработать необходимые меры защиты.

Плотность энергии, Дж/м² (Вт/м²), прямого излучения ОКГ на расстоянии R от источника при условии равномерного распределения энергии в пятне можно рассчитать по следующей формуле:

$$W = \frac{4J_0}{\pi (R\varphi)^2}, \quad (7.34)$$

где J_0 — выходная энергия ОКГ в Дж (Вт); φ — угол расхождения излучения, являющийся функцией расстояния.

Оптимальный угол расхождения луча лазера в зависимости только от длины волны испускаемого излучения и диаметра лазерного источника в соответствии с фраунгоферовой дифракцией

$$\varphi = 2,44 \frac{\lambda}{D}, \quad (7.35)$$

где D — диаметр луча.

При распространении лазерного излучения на большие расстояния в воздухе приходится учитывать ослабление, вносимое им:

$$W = \frac{4J_0}{\pi (R\varphi)^2} e^{-\sigma R}, \quad (7.36)$$

где σ — коэффициент ослабления излучения ОКГ воздушной средой. Коэффициент зависит от дальности видимости:

$$\sigma = 3,9/V, \quad (7.37)$$

где V — дальность видимости, см.

Если мишень находится под углом α относительно плоскости, перпендикулярной к оси луча ОКГ, то выражения (7.34) и (7.36) принимают вид

$$W = \frac{4J_0 \cos \alpha}{\pi (R\varphi)^2}; \quad \bar{W} = \frac{4J_0 \cos \alpha}{\pi (R\varphi)^2} e^{-\sigma R}. \quad (7.38)$$

Во многих случаях необходимо знать, какой интенсивностью обладает в данной точке пространства отраженный луч (от цели, стен помещений и т. д.).

В условиях диффузного отражения плотность энергии в заданной точке можно определить по формуле, в которую при необходимости добавляется множитель $e^{-\sigma R}$,

$$\bar{W} = \frac{J_0 k \cos \beta}{\pi R^2 k_1}, \quad (7.39)$$

где J_0 — энергия, падающая на отраженную поверхность, Дж; k — коэффициент отражения поверхности; β — угол между нормалью к поверхности и направлением на глаз; k_1 — коэффициент, учитывающий размеры пятна, если $R > 30 \lambda$ (радиусов пятен), то $k_1 = 1$.

Действующие ОКГ следует размещать в отдельных, специально выделенных помещениях или отгороженных частях помещений. Само помещение, оборудование и предметы не должны иметь зеркальных поверхностей, отражающих лазерное излучение. Внутренняя поверхность помещения, а также предметы, находящиеся в

этом помещении (за исключением используемых в работе элементов оптических систем), не должны иметь поверхностей с коэффициентом отражения больше 0,1. Стены, потолок и пол помещения, а также предметы должны иметь матовую поверхность, обеспечивающую рассеянное отражение света при возможно меньшем коэффициенте отражения на длине волны излучения ОКГ. Коэффициенты отражения некоторых материалов приведены в прил. 2.

Для фона мишени рекомендуется темная краска с высоким коэффициентом поглощения, а для окружающей площади — светлая. Помещение должно иметь высокую освещенность. Коэффициент естественной освещенности должен составлять не менее 1,5%, а общее искусственное освещение должно создавать освещенность не менее 150 лк. Искусственное освещение в помещении должно быть комбинированным и обеспечивать освещенность не ниже минимально допустимой по санитарным нормам. Помещение должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией. При работе ОКГ, сопровождающейся образованием вредных газов и паров, необходимо оборудовать установок ОКГ местными отсосами. В случаях попадания в воздушную среду больших концентраций токсических веществ во время работы ОКГ пульт управления процессом должен быть выведен в отдельное помещение.

С целью предотвращения облучения посторонних лиц запрещается проводить ориентацию луча на окна и двери и другие некапитальные сооружения, пропускающие излучения ОКГ. Кроме того, ограничивается доступ в помещение лиц, не имеющих

Рис. 7.1. Схема экранирования отраженного лазерного излучения:

1 — ОКГ; 2 — блenda; 3 — линза; 4 — экран; 5 — мишень



щих отношения к эксплуатации ОКГ. В связи с этим на дверях помещений, которые должны быть постоянно закрыты, устанавливаются предупредительная звуковая и световая сигнализация, которые включаются одновременно с зарядкой батарей конденсаторов либо при включении ОКГ. Предупредительная сигнализация устанавливается и внутри помещения с тем, чтобы персонал принял соответствующие меры предосторожности и защиты от облучения. На дверях вывешивается предупредительный знак по ГОСТ 12.4.026—76.

При размещении нескольких ОКГ в одном помещении необходимо оградить места установки лазеров ширмами, шторами, занавесками или другими экранами, не пропускающими излучения, обеспечив достаточное хорошее естественное и искусственное освещение. Для этой цели рекомендуется черная байка (гр. 5, артикул № 518), которая не пропускает излучение импульсных ОКГ в диапазоне 0,694—1,06 мкм. Порог минимального повреждения ткани наступает при плотности энергии 1 Дж/см². За приемниками излучения ОКГ устанавливают невоспламеняющиеся экраны с поверхностью, хорошо поглощающей энергию излучений соответствующей длины волны.

Излучающие головки с импульсными лампами накачки должны иметь блокировку, исключающую возможность их вспышки при открытом осветителе. Лампы накачки должны быть заключены в светонепроницаемые кожухи. Надежной защитой от случайного попадания излучения на человека является экранирование луча на всем его пути действия (от ОКГ до мишени) световодом, если позволяют технологические возможности. Непрозрачные экраны или ограждения, препятствующие выходу лазерной энергии наружу, должны изготавливаться из металлических листов (например, стальных, дюралюминиевых и т. п.). Допускается изготовление непрозрачных экранов из гетинакса, пластика, текстолита и пластмасс. М².

Экраны, которые должны поглощать излучения ОКГ и при этом быть прозрачными во всем или в части видимого диапазона длины волны (частично прозрачные экраны), должны изготавливаться из специальных стекол (прил. 3) или же органического стекла с соответствующей спектральной характеристикой. Оптическая плотность такого экрана на длине волны излучения ОКГ должна быть достаточной для ослабления интенсивности облучения на рабочем месте оператора до величин, не превышающих предельно допустимых.

Если энергия луча настолько велика, что может разрушить частично прозрачный экран, то должны быть приняты меры, исключающие возможность прямого попадания луча ОКГ на такой экран.

Для снижения уровня отраженного излучения линзы, призмы и другие твердые с зеркальной поверхностью предметы на пути луча должны снабжаться блендами, перед облучаемым объектом следует устанавливать защитные экраны — диафрагмы с отверстием, диаметр которого несколько превышает диаметр луча (рис. 7.1). В этом случае через отверстие проходит только прямое излучение, отраженные от объекта лучи попадают на экран, который частично их поглощает и рассеивает. Для этой цели можно использовать даже фанеру, покрытую черной матовой краской.

На открытых площадках, где размещены ОКГ, должны быть обозначены зоны, где плотность энергии излучения превышает безопасные уровни, и установлены экраны, предотвращающие распространение излучения ОКГ за пределы площадки. При эксплуатации импульсных ОКГ с высокой энергией излучения необходимо применять дистанционное управление пуска.

Для предотвращения случайного поражения глаза излучением ОКГ применяются специальные защитные очки. Оптическая плотность защитных очков на основной длине волны ОКГ и на всех остальных излучаемых совместно с основной длиной волны должна быть достаточной для того, чтобы интенсивность облучения глаза снизить до безопасной величины. В качестве светофильтра рекомендуется применять стекла, марки которых приведены в прил. 3. Оптическая плотность светофильтров защитных очков, необходимая для снижения интенсивности облучения глаз до безопасной величины, приведена в прил. 4.

Оптическая плотность может быть определена по формуле

$$D = \lg \frac{4J_0}{\pi d^2 W_{\text{доп}}} , \quad (7.40)$$

где J_0 — выходная энергия (мощность) ОКГ, Дж (Вт); d — диаметр пучка на плоскости защитных очков, см; $W_{\text{доп}}$ — допустимое облучение роговицы, Дж/см² (Вт/см²).

Спектральная характеристика светофильтров очков должна обеспечивать достаточное подавление излучения ОКГ и пропускание всего или части видимого света с тем, чтобы работающий сохранил способность хорошо видеть предметы, за которыми он ведет наблюдение и которыми манипулирует, а также свет ламп, используемых в системе световой сигнализации. Материал, используемый в очках в качестве светофильтра, должен быть механически прочным и выдерживать, не разрушаясь, прямое попадание луча ОКГ. Испытание светофильтров проводится в соответствии с ГОСТ 9411—75.

В паспорте на очки должны быть указаны диапазон длин волн, на который рассчитаны эти очки, и оптическая плотность светофильтра.

Форма оправы защитных очков должна быть такой, чтобы исключить возможность попадания излучения ОКГ внутрь очков через щели между оправой и лицом. Должна обеспечивать широкое поле зрения; во избежание утомления глаз из-за запотевания стекол должна иметь светонепроницаемые щели, предназначенные для смены воздуха.

В ассортименте защитных очков должны быть очки с коробчатой оправой, не препятствующей одновременному пользованию обычными корректирующими очками.

Целесообразно очки монтировать в маску или полумаску, защищающую лицо. Руки защищаются черными перчатками, остальные части тела — обычной одеждой, которая должна оставлять возможно меньше открытых частей тела.

Для персонала, обслуживающего ОКГ, два раза в год должен проводиться медицинский осмотр.

Приложение 1

Классификация ОКГ

ОКГ состоит из преобразователя энергии накачки в когерентное электромагнитное излучение (головки ОКГ) и источника энергии накачки того или иного вида. ОКГ различаются по следующим признакам:

а) по активному элементу, в котором энергия накачки преобразуется в излучения — газовые, жидкостные, полупроводниковые, твердотельные;

- б) по методу возбуждения (накачки) — пропусканием постоянного, импульсного или высокочастотного тока через газ; светом, непрерывным или импульсным (в частности световой вспышкой импульсной лампы, используемой в твердотельных и жидкостных ОКГ); воздействием ионизирующего излучения;
- в) по длине генерируемой световой волны — ультрафиолетовые, видимой части спектра, инфракрасные;
- г) по режиму работы — работающие в непрерывном, простом импульсном или импульсном с модулированной добротностью режимах;
- д) по возможному воздействию излучения ОКГ на оператора установки — закрытые и открытые;
- е) по условиям использования или по конструктивному исполнению — стационарные и подвижные;
- ж) по способу отвода тепла от ОКГ — с естественным и принудительным охлаждением: воздушным или жидкостным (водой или жидкостью, содержащей вредные вещества).

Приложение 2

Коэффициент отражения материалов при перпендикулярном падении света на их поверхности

Материал	Коэффициент отражения	Длина волны, нм
Белая бумага	0,95—0,98	694,3
Белая бумага, тонкая	0,45	—
Светлая штукатурка	0,4—0,9	694,3
Мел	0,85—0,9	—
Белая клеевая краска	0,7—0,8	—
Синцовые белила (свежепокрытые)	0,9	—
Серпоксидный барий	0,95	—
Белая ткань, халат	0,6—0,7	694,3
Шлифованное дерево	0,75—0,9	694,3
Неокрашенное дерево	0,65—0,8	694,3
Кожух прибора (светлосерый)	0,45—0,55	694,3
Оконное стекло	0,08	—
Молочное стекло (2—3 мм)	0,45	—
Черная бумага	0,04—0,05	694,3
Черный бархат	0,002	—

Приложение 3

Марки стекол (ГОСТ 9111—75), рекомендуемых для применения в светофильтрах защитных очков

Диапазон длин волн, поглощаемых стеклом, нм	Тип стекла	Марка стекла
Меньше 350	ЖС (желтое стекло)	Ж 10; Ж 11
Меньше 450	ЖС (желтое стекло)	Ж 17; Ж 18
Меньше 540	ОС (оранжевое стекло)	ОС 11; ОС 12
Меньше 320, от 600 до 1500 и больше, 3000	СЗС (сине-зеленое стекло)	СЗС 22
Больше 500	БС (бесцветное стекло)	БС 15

Оптическая плотность светофильтров защитных очков на длине волны излучения ОКГ, необходимая для снижения интенсивности облучения глаз до безопасной величины

Максимальная плотность потока мощности луча ОКГ в непрерывном режиме, Вт/см ²	Максимальная плотность энергии луча ОКГ в импульсном режиме, Дж/см ²		Необходимая степень ослабления светофильтра, дБ	Максимальная плотность потока мощности луча ОКГ в непрерывном режиме, Вт/см ²	Максимальная плотность энергии луча ОКГ в импульсном режиме, Дж/см ²		Необходимая степень ослабления светофильтра, дБ
	свободной генерации	с модулированной добротностью			свободной генерации	с модулированной добротностью	
10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10	10	10 ⁻¹	10 ⁻²	60
10 ⁻³	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	20	100	1	10 ⁻¹	70
10 ⁻²	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	30	—	10	1	80
10 ⁻¹	10 ⁻³	10 ⁻⁴	40	—	100	10	90
1	10 ⁻²	10 ⁻³	50				

Список литературы

1. Гранин В. Я. Лазерное излучение. М., Воениздат, 1978. 382 с.
2. Злобинский Б. М. Безопасность труда на производстве. Защитные устройства. Справочное пособие. М., Металлургия, 1971. 450 с.
3. Злобинский Б. М. Безопасность труда на производстве. Исследования и испытания. Справочное пособие. М., Металлургия, 1976. 352 с.
4. Крылов В. А., Юченкова Т. В. Защита от электромагнитных излучений. М., Советское радио, 1972. 216 с.
5. Организация работ кабинетов охраны труда на машиностроительных предприятиях. Методическое пособие. М., Машиностроение, 1976. 150 с.
6. Степанов А. Г. Захист від лазерного випромінювання. К., изд-во об-ва «Знання», 1972. 30 с.

Глава 8

ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

8.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ТЕРМИНЫ

Ионизирующее излучение — любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков.

Гамма-излучение — электромагнитное (фотонное) излучение, испускаемое при ядерных превращениях или при аннигиляции частиц.

Характеристическое излучение — фотонное излучение с дискретным спектром, испускаемое при изменении энергетического состояния атома.

Тормозное излучение — фотонное излучение с непрерывным спектром, испускаемое при изменении кинетической энергии заряженных частиц. Тормозное излучение возникает в среде, окружающей источник бета-излучения, в рентгеновских трубках, в ускорителях электронов и т. п.

Рентгеновское излучение — совокупность тормозного и характеристического излучений, диапазон энергии фотонов которых составляет 1 кэВ — 1 МэВ.

Корпускулярное излучение — ионизирующее излучение, состоящее из частиц с массой покоя, отличной от нуля (альфа- и бета- частиц, протонов, нейтронов и др.).
 Φ — число частиц (фотонов) dN , проникающих в сферу малого сечения dS ,

$$\Phi = dN/dS. \quad (8.1)$$

Плотность потока частиц (фотонов) Φ — флюенс частиц $d\Phi$ за малый промежуток времени dt :

$$\Phi = d\Phi/dt. \quad (8.2)$$

Линейная передача энергии заряженных частиц в среде (ЛПЭ) LD — средняя энергия dE , теряемая частицей в среде при соударениях, с передачей энергии, меньшей Δ , на малом отрезке пути dl ,

$$LD = (\overline{dE}/dl) \Delta. \quad (8.3)$$

Единица измерения ЛПЭ — 1 кэВ/мкм = 62,5 Дж/м.

Поглощенная доза D — средняя энергия dE , переданная излучением веществу в некотором элементарном объеме, деленная на массу вещества dm в этом объеме:

$$D = dE/dm. \quad (8.4)$$

Единица измерения — 1 Гр = 1 Дж/кг = 100 рад. При расчете поглощенной дозы принимается следующий состав мягкой биологической ткани: 76,2% кислорода, 11,1% углерода, 10,1% водорода, 2,6% азота по массе.

Таблица 8.1. Регламентированная зависимость коэффициента качества от полной ЛПЭ $Q(L_{\infty})$

L_{∞} , кэВ/мкм воды	< 3,5	7,0	23	53	> 175
$Q(L_{\infty})$	1	2	5	10	20

Мощность поглощенной дозы $\dot{D}$ — приращение поглощенной дозы dD за малый промежуток времени dt , Гр/с:

$$\dot{D} = dD/dt. \quad (8.5)$$

Удельная поглощенная доза δ — поглощенная доза при флюенсе, равном 1 частица/см², $\delta = D/\Phi$.

Экспозиционная доза X — полный заряд dQ ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении всех вторичных элементов, которые были образованы фотонами в малом объеме воздуха (dm — масса воздуха в этом объеме),

$$X = dQ/dm. \quad (8.6)$$

Единица измерения — Кл/кг.

Эквивалентная доза D_{eq} — величина, введенная для оценки радиационной опасности хронического облучения излучением произвольного состава и определяемая как произведение поглощенной дозы D на средний коэффициент качества излучения $\bar{Q}$ в данной точке ткани:

$$D_{eq} = D\bar{Q} = \sum_{i=1}^{\infty} D_i Q_i = \int_0^{\infty} D(L_{\infty}) Q(L_{\infty}) dL_{\infty}, \quad (8.7)$$

где $D(L_{\infty})$ — распределение дозы по полной ЛПЭ L_{∞} ; $Q(L_{\infty})$ — регламентированная зависимость коэффициента качества от полной ЛПЭ. Безразмерный коэффициент качества Q определяет зависимость неблагоприятных биологических последствий облучения человека в малых дозах от полной ЛПЭ излучения (табл. 8.1).

$$\bar{Q} = \frac{D_1 Q_1 + D_2 Q_2 + \dots + D_n Q_n}{D} = \frac{1}{D_0} \int_0^{\infty} D(L_{\infty}) Q(L_{\infty}) dL_{\infty}. \quad (8.8)$$

Единица эквивалентной дозы — бэр.

$$1 \text{ бэр} = \frac{1 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/кг}}{Q} = \frac{0,01 \text{ Гр}}{Q} = 0,01 \text{ Зв}. \quad (8.9)$$

Активность радиоактивного вещества A — число спонтанных ядерных превращений dN в этом веществе за малый промежуток времени dt

$$A = dN/dt. \quad (8.10)$$

Единицей измерения активности является одно ядерное превращение в секунду — Бк.

Кюри — специальная единица активности, $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10}$ ядерных превращений в секунду ($1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$).

Нуклид — вид атомов, характеризующийся массовым числом и атомным номером. Иногда нуклид определяется также энергетическим состоянием ядра. Нуклиды с одинаковым атомным номером, но разным массовым числом называются изотопами.

Источник излучения — вещество (или установка), испускающее или способное испускать ионизирующее излучение.

Закрытый источник — радиоактивный источник излучения, устройство которого исключает попадание радиоактивных веществ в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые он рассчитан.

Открытый источник — радиоактивный источник излучения, при использовании которого возможно попадание содержащихся в нем радиоактивных веществ в окружающую среду.

Гамма-эквивалент m_{Ra} источника излучения — условная масса точечного источника ^{226}Ra , содержащего на данном расстоянии такую же мощность экспозиционной дозы, как данный источник. Специальной единицей гамма-эквивалента является килограмм-эквивалент радия.

Внешнее облучение — воздействие на организм ионизирующих излучений от внешних по отношению к нему источников излучения.

Внутреннее облучение — воздействие на организм ионизирующих излучений радиоактивных веществ, находящихся внутри организма.

Критический орган — орган, ткань, часть тела или все тело, облучение которого в данных условиях причиняет наибольший ущерб здоровью данного лица. Критические органы разделяют на группы, различающиеся по радиочувствительности.

Персонал (профессиональные работники, категория А) — лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений.

Ограниченная часть населения (категория Б) — лица, которые не работают непосредственно с источниками излучения, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могут быть подвергнуты воздействию радиоактивных веществ и других источников излучения, применяемых в учреждениях и удаляемых во внешнюю среду с отходами.

Население (категория В) — население области, края, республики, страны.

Критическая группа — лица, которые по принадлежности к возрастной группе, по условиям жизни или другим факторам подвергаются радиационному воздействию среди данного контингента людей.

Предельно допустимая доза (ПДД) — наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы за год, которое при равномерном воздействии в течение 50 лет не вызовет в состоянии здоровья персонала (категории А) неблагоприятных изменений.

Предел дозы (ПД) — предельная эквивалентная доза за год для ограниченной части населения (категории Б). Предел дозы устанавливается меньше ПДД для предотвращения необоснованного облучения этого контингента людей; он контролируется по усредненной для критической группы дозе внешнего излучения и уровню радиоактивных выбросов и радиоактивного загрязнения объектов внешней среды.

Допустимые уровни — нормативные значения поступления радиоактивных веществ, содержания радиоактивных веществ в организме, их концентрации в воде и воздухе, мощности дозы, плотности потока, рассчитанные из значений основных дозовых пределов ПДД и ПД.

Предельно допустимое годовое поступление (ПДП) (для лиц категории А) — такое поступление радиоактивных веществ в организм в течение года, которое за 50 лет создает в критическом органе эквивалентную дозу, равную ПДД. При ежегодном поступлении на уровне ПДП эквивалентная доза за любой год будет равна или меньше одной ПДД (в зависимости от времени достижения равновесного содержания радиоактивного вещества в организме).

Предельное годовое поступление (ПГП) (для лиц категории Б) — такое поступление радиоактивных веществ в организм в течение года, которое за 70 лет создаст в критическом организме эквивалентную дозу, равную ПД.

Допустимое содержание (ДС) — такое среднегодовое содержание радиоактивных веществ в органе (критическом органе), при котором эквивалентная доза равна ПДД для категории А или ПД для категории Б.

Допустимая мощность дозы (ДМД) — отношение ПДД (или ПД) за год ко времени облучения T в течение года. Для категории А T принимается равным 1700 ч, для категории Б $T = 8800$ ч.

Допустимая плотность (ДПП) частиц (фотонов) — такая плотность потока, при которой создается допустимая мощность дозы ДМД.

Допустимая концентрация (ДК) — отношение ПДП (или ПГП) радиоактивного вещества к объему V воды или воздуха, с которыми оно поступает в организм человека в течение года.

Контрольные уровни — значения годового поступления радионуклида в организм, содержания радионуклида в организме, мощности дозы, плотности потока, концентрации радионуклида в воздухе (а для категории Б и в воде), загрязнения поверхности (ДЗП), устанавливаемые в целях ограничения облучения персонала и населения.

Рабочее место — место (помещение) постоянного пребывания персонала для выполнения производственных функций в течение не менее 50% рабочего времени или двух часов непрерывно. Если при этом процессы производства обслуживаются в различных зонах помещения, то постоянным рабочим местом считается все помещение.

Минимально значимая активность — наибольшая активность открытого источника на рабочем месте, не требующая регистрации или получения разрешения органов Государственного санитарного надзора.

Радиационная опасность радионуклида — радиационно-гигиеническая характеристика радионуклида. Все радионуклиды как потенциальные источники внутреннего облучения разделяются в порядке убывания радиационной опасности на пять групп с индексами А, Б, В, Г, Д.

Санитарно-защитная зона — территория вокруг учреждения или источника радиоактивных выбросов, на которой уровень облучения может превысить предел дозы ПД. В санитарно-защитной зоне устанавливается режим ограничений и проводится радиационный контроль.

Зона наблюдения — территория, где возможно влияние радиоактивных сбросов и выбросов учреждения и где облучение проживающего населения может достигать установленного предела дозы. На территории зоны наблюдения проводится радиационный контроль.

8.1. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Работа с источниками ионизирующих излучений связана с невидимой опасностью для обслуживающего персонала, создаваемой радиоактивными излучениями, которые ионизируют молекулы тканей. Процессы ионизации сопровождаются ультрафиолетовыми излучениями, возбуждающими молекулы клеток. Это ведет к разрыву молекулярных связей и изменению химической структуры различных соединений. Такое действие излучения называется прямым.

Как известно, в организме содержится более 70% воды, следовательно первичные процессы во многом определяются поглощением излучения водой клеток, ионизацией молекул воды с образованием высокоактивных в химическом отношении радикалов типа OH^- или H^+ .



Последние рекомбинируются или, соединяясь со свободным кислородом, дают химически активные перексид водорода H_2O_2 , гидратный оксид — HO_2 и др. Эти соединения взаимодействуют с молекулами органического вещества ткани, окисляя и разрушая ее. Такое действие излучения называется косвенным (непрямым) и наносит больший вред, чем прямой.

Таким образом, при поглощении ионизирующего излучения биологическая ткань поражается. Это поражение зависит от числа пар ионов, образующихся в единицу длины пробега частиц (удельная ионизация), или от ЛПЭ в единицу пути ионизирующей частицы. Различные виды ионизирующих излучений оказывают различное биологическое действие. Поэтому для оценки биологического действия различного рода излучений введено понятие коэффициента качества излучения Q , который показывает, насколько биологическое действие сильнее, чем рентгеновское или γ -излучение, при одинаковой поглощенной энергии в 1 г ткани. Q зависит только от ЛПЭ (см. табл. 8.1).

Результат воздействия ионизирующих излучений на организм зависит от характера излучения, т. е. от того, находится ли источник облучения вне организма или внутри него (попадание радиоактивной пыли, газов, паров с пищей или при дыхании).

При внешнем воздействии наиболее опасными видами облучения являются γ -излучения и нейтронное как наиболее проникающие. При внутреннем облучении организма большую опасность представляет облучение α - и β -излучениями, вызывающими большую ионизацию. Кроме того, периодическое попадание радиоактивных веществ внутрь организма приводит к их накоплению и, в конечном счете, к увеличению ионизации атомов живой ткани.

Влияние неоднородности распределения радиоактивных изотопов в организме на их канцерогенную эффективность по отношению к ^{226}Ra учитывается коэффициентом распределения k_p . В расчетах он принят равным 5, если рассчитывается доза α - и β -излучения, и 1, если рассчитывается доза γ -излучения.

В результате происшедших изменений нормальное течение биохимических процессов и обмен веществ в организме нарушаются, что приводит к лучевой болезни, острой или хронической. Острые поражения возникают в результате облучения большими дозами в течение короткого времени, а хроническая лучевая болезнь может развиваться в результате систематического действия небольших доз внешней радиации. Действуя на кожу, ионизирующее излучение вызывает ожоги или сухость ее, выпадение волос, ломкость ногтей и т. д., а действуя на глаза — катаракты.

Различают соматическое и генетическое воздействия. В первом случае речь идет о воздействии радиации на данное лицо или поколение, во втором — имеется в виду передача наследственных изменений, возникающих под влиянием радиации, потомству. Клинические эффекты, возникающие при равномерном кратковременном облучении всего тела, приведены в табл. 8.2.

8.3. ДОПУСТИМЫЕ УРОВНИ ОБЛУЧЕНИЯ

В целях предупреждения соматических и сведения к минимуму генетических последствий необходимо ограничивать дозы внешнего и внутреннего облучений персонала, отдельных лиц из населения и всего населения при применении, хранении и транспортировке радиоактивных веществ; при использовании ядерных реакторов, ускорителей заряженных частиц, рентгеновских аппаратов и других источников ионизирующих излучений.

В СССР установлены «Нормы радиационной безопасности» (НРБ—76) и «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками излучений» (ОСП-72 № 950—72).

Нормами радиационной безопасности НРБ—76 регламентированы три категории облучаемых лиц (А, Б, В) и три группы критических органов: I группа — все тело, гонады, красный костный мозг; II группа — мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталик глаза и другие органы, за исключением тех, которые относятся к группам I и III; III группа — костная ткань, кожный покров, кисти, предплечья, лодыжки и стопы. В НРБ—76 определены также основные дозовые пределы, допустимые уровни и рабочие (контрольные) уровни для лиц категорий А и Б.

Предельно допустимые соматические дозы (ПДД) внешнего и внутреннего облучения персонала (категория А) и пределы дозы (ПД) внешнего и внутреннего облучений лиц категории Б приведены в табл. 8.3. Регламентированный коэффициент качества различных излучений при хроническом облучении всего тела приведен в табл. 8.4.

При проектировании и планировании мероприятий по радиационной безопасности и при проведении радиационного контроля применяются следующие нормативы.

Для категории А: ПДП, ДС, ДК, ДЗП, ДМД (значения ДМД приведены в табл. 8.5). Для категории Б: ПГП, ДК, ДМД.

Согласно НРБ—76, для планирования мероприятий по защите и оперативному контролю устанавливаются рабочие (контрольные) уровни поступления радиоактивных веществ, содержания их в организме, концентрации радиоактивных веществ в воздухе, воде водоемов, мощности дозы излучения, загрязнения поверхностей и т. п. Контрольные уровни для категории А устанавливаются администрацией учреждения по согласованию с органами Госсаннадзора, для категории Б — органами Госсаннадзора по представлению администрации. Контрольные уровни принимаются преимущественно на основе средних значений показателей за смену для категории А и за месяц для категории Б.

Таблица 8.3. Дозовые пределы внешнего и внутреннего облучений, Гр

Дозовые пределы за год	Группа критических органов		
	I	II	III
ПДД	0,05	0,15	0,30
ПД	0,005	0,015	0,03

Примечания: 1. Для категории А (за исключением женщин репродуктивного возраста, до 40 лет) распределение дозы внешнего излучения в течение года не регламентируется. 2. Для женщин репродуктивного возраста вводится ограничение облучения на область таза, которое не должно превышать 0,01 Гр за любые два месяца.

за год (см. табл. 8.3), а доза, накопленная к возрасту 30 лет, не должна превышать 12 ПДД.

Таблица 8.4. Коэффициент качества различных видов излучения

Вид излучения	Q	Вид излучения	Q
Рентгеновское и γ -излучение	1	Нейтроны с энергией меньше 20 кэВ	3
Электроны и позитроны, β -излучение	1	Нейтроны с энергией 0,1—10 МэВ	10
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10	α -излучение с энергией меньше 10 МэВ	20

Примечание. При расчете эквивалентной дозы за счет остеотропных радионуклидов следует учитывать коэффициент распределения дозы (k_p), характеризующий влияние неоднородности распределения нуклида в органе (ткани) на его канцерогенную эффективность по отношению к ^{226}Ra . Для всех радионуклидов, кроме ^{226}Ra , $k_p = 5$, для ^{226}Ra $k_p = 1$.

Эквивалентная доза D_{eq} (Гр), накопленная в критическом органе за время T (лет) с начала профессиональной работы, не должна превышать значения, получаемого по формуле

$$D_{eq} = \text{ПДД } T. \quad (8.11)$$

В случае сочетания внешнего и внутреннего облучений и поступления (содержания) нескольких радионуклидов в организм должно выполняться условие, при котором сумма отношения эквивалентной дозы всех видов внешнего излучения на данный критический орган к соответствующей ПДД и отношения поступления в организм (содержания) радионуклидов к их ПДП (ПГП или ДС) не превышает

единицы:

$$\sum \frac{D_{eqi}}{ПДП_i} + \sum \frac{P_j}{ПДП_j} \leq 1, \quad (8.12)$$

где D_{eqi} — эквивалентная доза i -го излучения на данный орган; P_j — поступление j -го радионуклида.

Для смеси радионуклидов с известным составом численное значение ПДП рассчитывается по формуле

$$ПДП = 100 / \sum \frac{n_j}{ПДП_j}, \quad (8.13)$$

где n_j — относительное содержание в смеси (по активности) j -го радионуклида, %; $ПДП_j$ — предельно допустимое поступление j -го радионуклида.

Таблица 8.5. Мощность дозы, используемая при проектировании защиты от внешнего ионизирующего излучения

Категория облученных лиц	Помещение	ДМД, Гр/ч, 10^{-6}	
		при работе 36 ч в неделю	при работе 41 ч в неделю
А	Постоянного пребывания персонала	14	12
	Пребывания персонала не более 18 ч в неделю	28	24
	Необслуживаемое	280	240
	Любое	1	1
Б	»	1,4	1,2
Б	Любое помещение и территория в пределах наблюдаемой зоны	0,3	0,3

Аналогично рассчитываются численные значения ПГП, ДС и ДК смеси радионуклидов известного состава. Для смеси радионуклидов с неизвестным составом используются данные НРБ—76.

При спасении жизни людей, для предотвращения крупной аварии и переоблучения большого количества людей допускается облучение ряда лиц дозой, превышающей в два или пять раз предельно допустимую, в порядке, предусмотренном НРБ—76. В каждом отдельном случае необходимо предварительно информировать персонал о возможном риске и возможных последствиях переоблучения. Такое облучение может допускаться с разрешения руководства предприятия и согласия исполнителя.

Однократное внешнее облучение свыше 5 ПДП или однократное поступление радионуклидов свыше 5 ПДП должно рассматриваться как потенциально опасное, работника после облучения необходимо направить на медицинское обследование.

Каждое аварийное облучение свыше 2 ПДП или 5 ПДП следует так компенсировать в последующие пять или десять лет, чтобы накопленная доза не превышала значения, определяемого формулой (8.12).

8.1. ПРОХОЖДЕНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО

α -излучение. Энергия α -частиц по мере прохождения через вещество расходуется на ионизацию. При уменьшении энергии до определенного уровня α -частицы не способны произвести ионизацию, они присоединяют к себе два электрона и превращаются в атом гелия.

Длина пробега α -частицы в веществе зависит от ее начальной энергии E_α , МэВ, а также от порядкового номера Z , атомной массы и плотности поглощающего вещества ρ , г/см³. Для воздуха при 15° С и 760 мм рт. ст. величина пробега α -частицы, см.

с энергией от 4 до 9 МэВ

$$I_{\alpha_{\text{воздух}}} = 0,309 \sqrt{E_{\alpha}^3} \quad (8.14)$$

При $E_{\alpha} < 4$ МэВ

$$I_{\alpha_{\text{воздух}}} = 0,56 E_{\alpha} \quad (8.15)$$

Длина пробега α -частиц в других средах, мкм,

$$l_{\alpha_x} = \frac{A \sqrt{E_{\alpha}^3}}{\rho \sqrt{Z^2}} \quad (8.16)$$

Пробег α -частиц в воздухе составляет 2,5—11 см. Слой биологической ткани толщиной 130 мкм поглощает α -частицы с энергией 10 МэВ.

β -излучение. Основную энергию β -частицы расходуют на ионизацию и меньшую часть — на тормозное излучение, представляющее собой γ -излучение с непрерывным спектром. Потери энергии на тормозное излучение

$$\eta = \frac{E_{\beta} Z}{800} \quad (8.17)$$

где η — отношение потери энергии β -частицей на тормозное излучение к потере энергии на ионизацию и возбуждение атомов; E_{β} — энергия β -частицы, МэВ.

Траектория β -частиц представляет собой ломаную линию, так как β -частицы многократно рассеиваются в веществе. При этом полная длина пути β -частицы превышает толщину поглощающего слоя. Длина пробега β -частицы, м, для воздуха

$$l_{\beta_{\text{воздуха}}} = 4 E_{\beta} \quad (8.18)$$

для легких материалов (алюминий, стекло), см,

$$\text{при } E_{\beta} > 0,5 \text{ МэВ } l_{\beta} = 0,2 E_{\beta} \quad (8.19)$$

$$\text{при } E_{\beta} < 0,5 \text{ МэВ } l_{\beta} = 0,1 E_{\beta} \quad (8.20)$$

Ослабление потока β -частиц, прошедших через слой вещества толщиной x , выражается уравнением:

$$N_x = N_0 e^{-\mu x} \quad (8.21)$$

где N_x , N_0 — число β -частиц в секунду на квадратный сантиметр после и до защиты соответственно; μ — линейный коэффициент ослабления потока β -частиц, зависящий от энергии частиц и от Z вещества, см^{-1} .

С μ связана другая характеристика β -излучения — слой половинного ослабления Δ_{β} . Толщина слоя материала, в котором поток β -частиц ослабляется в два раза, называется слоем половинного ослабления. Из формулы (8.21)

$$\frac{N_x}{N_0} = e^{-\mu x}; \quad 2 = e^{\mu \Delta_{\beta}} \quad (8.22)$$

тогда

$$\Delta_{\beta} = 0,693/\mu \quad (8.23)$$

Отношение μ к плотности вещества называется массовым коэффициентом ослабления, $\text{см}^2/\text{г}$,

$$\mu_n = \mu/\rho \quad (8.24)$$

Массовый коэффициент определяется по формуле

$$(\mu/\rho)_{\beta} = 22 E_{\beta}^{-1,33} \quad (8.25)$$

Тогда слой половинного ослабления, $\text{г}/\text{см}^2$,

$$\Delta_{\beta} = \frac{0,693}{(\mu/\rho)_{\beta}} = 3,15 \cdot 10^{-2} E_{\beta}^{1,33} \quad (8.26)$$

При широком пучке β -частиц величина Δ_β увеличивается на 25% по сравнению с величиной для узкого пучка.

Рентгеновское и γ -излучение. Основными процессами взаимодействия γ -излучения с веществом являются: фотоэлектрическое поглощение τ ; комптоновское рассеяние δ ; образование пар χ . Поэтому линейный коэффициент ослабления представляют в виде

$$\mu = \tau + \delta + \chi. \quad (8.27)$$

Ослабление мощности дозы узкого пучка γ -излучения при прохождении через слой вещества

$$X_x = X_0 e^{-\mu x}, \quad (8.28)$$

где X_x и X_0 — мощность экспозиционной дозы после и до прохождения излучения через вещество, А/кг.

Рентгеновское и γ -излучение вещество полностью не поглощает, а только может ослабить их в любое число раз. Слой половинного ослабления, см,

$$\Delta\gamma = 0,693/\mu. \quad (8.29)$$

Зная слой половинного ослабления, можно определить, какой нужен слой поглотителя, чтобы ослабить излучение в заданное число раз:

$$2^n = k, \quad (8.30)$$

где n — число слоев половинного ослабления; k — кратность ослабления.

Однако обычно приходится иметь дело с широким пучком γ -излучений, при котором μ убывает с увеличением толщины экрана вследствие появления вторичного излучения, которое зависит от энергии излучения, материала и толщины экрана. Все это характеризуется фактором накопления B , и закон ослабления γ -излучения принимает вид:

$$X_x = X_0 e^{-\mu x} B. \quad (8.31)$$

Нейтронное излучение. Нейтроны при прохождении через вещество взаимодействуют только с ядрами атомов, передают им часть своей энергии, а сами изменяют направление своего движения. Ядра атомов «выскакивают» из электронной оболочки и, проходя через вещество, осуществляют ионизацию. Нейтроны также создают и наведенную радиоактивность. Нейтрон теряет значительную часть своей энергии при столкновении с атомом водорода. Поэтому в качестве замедлителей нейтронов используют легкие вещества — углерод, парафин.

Ослабление узкого коллимированного пучка нейтронов тонким слоем вещества происходит по экспоненциальному закону:

$$\Phi_x = \Phi_0 \exp(-N\sigma_f x), \quad (8.32)$$

где Φ_0 и Φ_x — плотность потока нейтронов до и после прохождения ими слоя вещества толщиной x ; N — число ядер в 1 см² вещества; σ_f — суммарное атомное эффективное сечение взаимодействия нейтронов с ядрами, представляющее собой сумму сечений всех возможных видов взаимодействий, (σ_s — упругого рассеяния, $\sigma_{s'}$ — неупругого рассеяния, σ_r — радиационного захвата, σ_p , σ_α и других ядерных реакций, в том числе σ_f — реакции деления ядра). При этом удобно все взаимодействия, в результате которых нейтроны поглощаются, объединить одним эффективным сечением (σ_0) поглощения или захвата: $\sigma_0 = \sigma_r + \sigma_p + \sigma_\alpha + \sigma_f$... Произведение атомного сечения σ на число N атомов в единице объема

$$N\sigma = \Sigma \text{ или } \Sigma = (\rho N_A/A) \sigma \quad (8.33)$$

используют для вычисления ослабления плотности направленных потоков нейтронов. Σ , см⁻¹, фактически является линейным коэффициентом ослабления потока нейтронов в веществе. Величина, обратная Σ , называется длиной свободного пробега λ нейтрона в веществе:

$$\lambda = 1/\Sigma. \quad (8.34)$$

Средняя длина основного пробега рассеяния λ_s характеризует среднее расстояние, проходимое быстрым нейтроном в веществе между двумя столкновениями:

$$\lambda_s = 1/\Sigma_s = 1/N\sigma_s. \quad (8.35)$$

Средней длиной пробега λ_a по отношению к поглощению называется расстояние, при прохождении которого плотность потока нейтронов вследствие поглощения (предполагается отсутствие рассеяния) уменьшается в 2,718 раз:

$$\lambda_a = 1/\Sigma_a = 1/N\sigma_a. \quad (8.36)$$

Если вещество, с которым взаимодействуют нейтроны, состоит из нескольких элементов, то

$$\begin{aligned} \Sigma_s &= \sum_i N_i \sigma_{si}, \\ \Sigma_a &= \sum_i N_i \sigma_{ai}, \end{aligned} \quad (8.37)$$

где $\sum$ означает сумму по всем элементам, входящим в состав данного вещества. Значения σ ; σ_s ; σ_a ; σ_f и другие приведены в справочнике [2].

Плотность потока нейтронов на расстоянии R от точечного изотропного источника, испускающего N_0 моноэнергетических нейтронов в 1 с, определяется соотношением

$$\Phi_R = (N_0/4\pi R^2) \exp(-R/\lambda), \quad (8.38)$$

где λ — длина релаксации (см или г/см²), которая характеризует ослабление плотности потока нейтронов в 2,718 раз в используемой среде. Эта величина определяется либо экспериментально, либо рассчитывается и зависит от используемого детектора нейтронов, толщины, компоновки и геометрии среды, энергии детектируемых нейтронов и т. п.

8.5. ПРИНЦИП РАСЧЕТА ДОЗ ИЗЛУЧЕНИЯ

При разработке планов выполнения работ с радиоактивными изотопами (РИ) необходимо предварительно рассчитать возможные дозы облучения и в случае превышений ПДД разработать меры защиты.

Экспозиционная доза γ -излучения, Кл/кг, от точечного незащищенного изотропного источника

$$X = \frac{Ak_{\gamma}t}{R^2}, \quad (8.39)$$

Таблица 8.6. Коэффициенты A_1 , a_1 , a_2 для аналитического представления дозового фактора накопления точечных изотропных источников в бесконечной среде

Коэффициент	E_{γ} МэВ								
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,11	6,0	8,0	10,0
Свинец									
A_1	1,65	2,45	2,60	2,15	1,65	1,20	0,96	0,67	0,50
a_1	0,032	0,045	0,071	0,097	0,123	0,152	0,175	0,204	0,214
a_2	0,296	0,178	0,103	0,077	0,064	0,059	0,069	0,067	0,06
Железо									
A_1	10	8,0	5,5	3,75	2,9	2,35	2,0	2,0	2,0
a_1	0,0948	0,0895	0,0788	0,075	0,0725	0,0833	0,095	0,095	0,095
a_2	0,012	0,04	0,07	0,082	0,075	0,0546	0,0116	0,0116	0,0116
Водя									
A_1	24	11,0	6,4	5,2	4,5	3,6	3,0	2,7	2,7
a_1	0,138	0,104	0,076	0,082	0,056	0,050	0,045	0,042	0,042
a_2	0,0	0,030	0,092	0,108	0,117	0,124	0,128	0,130	0,130
Бетон									
A_1	12,5	9,9	6,3	4,7	3,9	3,1	2,8	2,6	2,6
a_1	0,111	0,088	0,069	0,062	0,059	0,059	0,057	0,050	0,050
a_2	0,006	0,029	0,058	0,073	0,079	0,083	0,086	0,084	0,084

где A — активность РИ, Бк; k_γ — гамма-постоянная РИ, $\frac{\text{Кл} \cdot \text{см}^2}{\text{г} \cdot \text{ч} \cdot \text{Бк}}$; t — время облучения, ч; R — расстояние от источника излучения, см.

Если период полураспада РИ меньше или соизмерим со временем, за которое определяется доза излучения, то доза подсчитывается по формуле:

$$\chi = \frac{\chi_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}), \quad (8.40)$$

где $\chi_0 = \chi/t$ — мощность дозы в начальный момент; λ — постоянная распада, ч^{-1} .

Во многих случаях возникает необходимость рассчитать экспозиционные дозы, создаваемые неточечными источниками, т. е. источниками, имеющими определенные размеры. Такие источники называют протяженными. В зависимости от распределения радиоактивного вещества протяженные источники подразделяются на линейные, поверхностные и объемные [2]. В объемных источниках γ -кванты претерпевают многократное комптоновское рассеяние и имеют тенденцию накапливаться в области меньших энергий, что учитывается фактором накопления B .

Дозовый фактор накопления B точечного изотропного γ -источника

$$B = A_1 \exp(-a_1 \mu_0 x) + A_2 \exp(-a_2 \mu_0 x), \quad (8.41)$$

где $A_1 + A_2 = 1$; значения A_1 , a_1 , a_2 приведены в табл. 8.6.

8.6. СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ИЗЛУЧЕНИЙ

В зависимости от условий облучения, характера и местонахождения источника излучения могут быть применены различные средства и методы защиты от облучения: защита временем; защита расстоянием; экранирование источников излучения; индивидуальные меры защиты и применение радиопротекторов.

Важное значение имеет уменьшение времени нахождения персонала в зоне ионизирующего излучения. Допустимое время пребывания персонала

$$t = 10^{-3} / \dot{\chi}, \quad (8.42)$$

где t — предельно допустимое время пребывания в неделю, ч; 10^{-3} — допустимая мощность дозы в неделю, А/кг; $\dot{\chi}$ — расчетная или измеренная мощность дозы в час, А/кг.

Расстояние, на котором можно работать с РИ в течение определенного времени, определяется по формулам (8.14; 8.15; 8.18; 8.39) с учетом допустимой мощности дозы либо дозы облучения.

Эффективным средством защиты от излучений является экранирование. При экранировании α -источников толщина материала должна быть не менее длины пробега α -частиц в данной среде и определяться по формуле (8.16).

Экраны для защиты от β -частиц изготавливают из материалов с малым атомным номером во избежание образования тормозного излучения. В качестве защитных материалов используют плексиглас, алюминий или стекло. Однако целесообразно делать двусторонние экраны: изнутри — материал с малым атомным номером, снаружи — с большим атомным номером для поглощения тормозного излучения. Толщину защиты от γ -излучения можно определить по формулам (8.19—8.21). Защита принимается, если $A > 0,1$ Ки.

Для защиты от γ -излучения принимают экраны из материалов с большим атомным номером (свинец, железо), а для стационарных защитных устройств — бетон, баритобетон и др. Толщину экрана, см, для защиты от узкого пучка γ -излучений можно определить из формулы (8.28), которая после логарифмирования приобретает вид:

$$x = \frac{\ln \frac{\dot{\chi}_0}{\dot{\chi}_{\text{п.д.}}}}{\mu}, \quad (8.43)$$

где $\dot{\chi}_{\text{п.д.}} = 12 \cdot 10^{-10} / t$ — предельно допустимая мощность, А/кг.

Толщину экрана для защиты от широких пучков излучения определяют по графикам и таблицам в зависимости от необходимой кратности ослабления, энергии

квантов и материала защиты [2]. Кратность ослабления представляет собой отношение измеренной или рассчитанной экспозиционной дозы или мощности дозы без защиты к предельно допустимой дозе (мощности дозы). Толщину экрана можно определить по числу слоев половинного ослабления по формуле (8.30).

Таблица 8.7. Группа радиотоксичности радиоактивных веществ

Группа	Предельно допустимая активность, 10^3 Бк	Пример РИ
А — элементы с особо высокой радиотоксичностью	0,37	Торий — 228
Б — элементы с высокой радиотоксичностью	3,7	Торий — 227
В — элементы со средней радиотоксичностью	37	Кобальт — 60
Г — элементы с малой радиотоксичностью	370	Медь — 64
Д	3700	Тритий — 3

При расчете толщины расчетных сооружений рекомендуется вводить двукратный запас добротности защиты, т. е. увеличивать расчетное значение на один слой половинного ослабления.

Защита от нейтронов заключается в замедлении быстрых нейтронов с последующим поглощением замедленных нейтронов. Хорошим защитным материалом от ней-

Таблица 8.8. Классы работ

Группа радиотоксичности	Активность на рабочем месте, 10^3 Бк		
	Класс работы		
	1	2	3
А	37	0,037—37	0,00037—0,037
Б	370	0,37—370	0,0037—0,37
В	3700	3,7—3700	0,037—3,7
Г	37 000	37—37 000	0,37—37
Д	370 000	370—370 000	3,7—370

тронов является вода и водосодержащие материалы, парафин, а также графит, бериллий и др. Нейтрон малой энергии сильно поглощается бором. Поэтому бор вводится в бетон, свинец, резину и другие материалы.

Классификация работ с открытыми РИ. В открытом виде РИ как потенциальные источники внутреннего облучения по радиотоксичности разделяются на пять групп. Принадлежность к группе токсичности определяется в зависимости от предельно допустимой активности радионуклидных источников на рабочем

месте, не требующей регистрации или получения разрешения санитарно-эпидемиологической службы (табл. 8.7).

В соответствии с санитарными правилами, все работы с открытыми источниками делятся на классы в зависимости от радиотоксичности изотопов и их активности на рабочем месте (табл. 8.8.).

Средства индивидуальной защиты. Работающие с открытыми РИ обеспечиваются спецодеждой, которая предохраняет от радиоактивных загрязнений и защищает работающих от α - и, по возможности, от β -излучений. Вид спецодежды зависит от класса выполняемой работы. Так, при выполнении работ второго и третьего классов весь обслуживающий персонал обеспечивается халатами из белой хлопчатобумажной ткани, шапочками, резиновыми перчатками, тапочками и средствами защиты органов дыхания.

При выполнении работ первого класса вместо халатов используются комбинезоны. Кроме того, работающие снабжаются нательным бельем из бязи, полотна или ситца, ботинками и неокрашенными трикотажными носками.

Для ремонтных и аварийных работ первого и второго классов используются пневмокостюмы типа ЛГ-4, пластиковые бахилы и резиновые сапоги и перчатки. Для защиты органов дыхания от радиоактивной пыли применяется респиратор-повязка ШБ-1 «Лепесток», респиратор ШБ-2, пневмошлем изолирующего типа ЛИЗ-1.

Применение радиопротекторов. Химические вещества, повышающие стойкость организма против облучения и ослабляющие лучевую болезнь, называют радиопротекторами. В настоящее время наука располагает эффективными радиопротекторами, такими, как цианид натрия, азид, вещества, содержащие сульфогидные группы и др. Советские ученые разработали химические средства, эффективно очищающие кожу от радиоактивного загрязнения, и комплексобразователи — препараты, которые способны связывать плутоний и другие РИ, предотвращать их поступление в ткани и органы и помогать быстрому выведению из организма. Такие соединения называют «клетшневидными». Арсенал их сегодня непрерывно увеличивается.

Организация работ с РИ. Производственные помещения планируются с учетом класса работ. Работы третьего класса можно вести в общих помещениях, которые удовлетворяют требованиям, предъявляемым к обычным химическим лабораториям. Работы с РИ выполняются на отдельных столах. Работу с летучими, газообразными или порошковыми РИ проводят в вытяжных шкафах обычного типа.

Для работы второго класса предусматриваются специально оборудованные изолированные помещения. Полы покрываются пластиком, а стены на всю высоту — масляной краской. Работы с РИ проводятся в защитных камерах (боксах). Боксы оборудуются вентиляцией. Систематически ведется дозиметрический контроль уровня излучения в лаборатории, индивидуальный контроль, а также контроль загрязненности воздуха и рабочих поверхностей.

Работы первого класса проводятся в помещениях со специальной планировкой, обеспечивающей отделение аппаратуры и установок от мест постоянного пребывания персонала. Наиболее рациональной является так называемая трехзональная планировка, включающая чистую зону, в которой работы с РИ не проводятся; получистую зону или зону размещения оборудования; грязную зону, где выполняются ремонтные работы, загрузка и выгрузка РИ, смена и монтаж технологического оборудования и т. д. Выход из грязной и получистой зон в чистовую предусматривается только через санпропускник. Во второй и третьей зонах создается разрежение по отношению к первой зоне, чтобы предотвратить просачивание туда воздуха из этих зон. Водопроводные краны в рабочих помещениях лабораторий первого и второго классов открываются ножной педалью или локтем.

Чтобы исключить воздействие радиоактивных веществ на население, проживающее вблизи учреждений, где ведутся работы с РИ, устанавливаются санитарно-защитные зоны. В соответствии с законодательством, эти зоны радиусом 100 м располагаются вокруг учреждений, в которых применяются радиоактивные вещества активностью (37—370) 10^{10} Бк. Если годовая переработка не превышает $37 \cdot 10^{10}$ Бк, санитарно-защитную зону не устанавливают.

Перевозка радиоактивных веществ и удаление радиоактивных отходов. Погрузка, перевозка и выгрузка радиоактивных веществ проводится в строгом соответствии с требованиями норм радиационной безопасности и основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами ОСП—72. В развитие этих норм и правил с учетом рекомендаций Международного агентства по атомной энергии в 1973 г. в СССР введены в действие «Правила безопасности при транспортировке радиоактивных веществ» № 1139-73 (ПБТРВ—73), являющиеся обязательными для учреждений, организаций и предприятий всех министерств и ведомств, осуществляющих отгрузку, перевозку, погрузочно-разгрузочные работы и хранение радиоактивных веществ. Действие указанных правил распространяется на перевозку радиоактивных веществ удельной активностью больше 74 Бк/г; суммарной активностью, превышающей в 10 раз указанную в соответствующей таблице приложения к НРБ-76 (т. е. в 10 раз большую, чем та, что соответствует работе со стабильными нуклидами).

Сбор, удаление и обезвреживание твердых и жидких радиоактивных отходов должны вестись в соответствии с ОСП—72 и НРБ—76.

8.7. СЛУЖБА РАДИОАКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

На предприятиях и в научно-исследовательских организациях, ведущих работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений, независимо от их количества, обязательно должен осуществляться систематический контроль условий труда и облучения персонала.

В небольших коллективах такой контроль может быть поручен по совместительству с основной работой одному из научных сотрудников или инженеров. В крупных организациях с большим объемом работ с радиоактивными веществами и источниками

ионизирующих излучений контроль за выполнением требований радиационной безопасности должен осуществляться специальными службами. Как правило, в таких организациях создается служба дозиметрического контроля (служба ДК), а для выполнения научно-исследовательских и методических работ по радиоактивной безопасности — исследовательские методические лаборатории или группы. Кроме того, на тех предприятиях, где в эксплуатации находится большое количество дозиметрической и радиометрической аппаратуры, необходима группа проверки и градуировки дозиметрической и другой аппаратуры, используемой дозиметрической службой.

Основные задачи дозиметрической службы состоят в том, чтобы обеспечить безопасные условия труда путем тщательного дозиметрического контроля, своевременно предупредить переоблучение сотрудников данного предприятия и населения прилегающей местности, а также содействовать систематическому снижению фактического облучения до технически обеспечиваемого и экономически приемлемого низкого уровня, достижимого на практике. Поэтому служба ДК обязана осуществлять следующее.

1. Измерять уровень ионизирующего излучения на рабочих местах.
2. Контролировать режим работы и выбор защитных средств при проведении работ в местах с высоким уровнем излучений или высоким содержанием радиоактивных веществ.
3. Систематически учитывать и анализировать облучение персонала, занятого на рабочих местах с радиоактивными веществами и в зонах действия ионизирующего излучения.
4. Следить за радиационной чистотой одежды и обуви, а также за качеством санитарной обработки тела работающих.
5. Систематически проверять загрязнение всех видов транспорта, обслуживающего предприятие.
6. Контролировать загрязнение воздуха радиоактивными газами и аэрозолями в производственных помещениях и на территории объекта.
7. Измерять загрязнение поверхностей оборудования, полов, стен радиоактивными веществами и следить за качеством их дезактивации.
8. Контролировать работу воздухоочистных и вентиляционных сооружений в цехах, лабораториях и других подразделениях.
9. Измерять содержание радиоактивных веществ в питьевой воде на предприятии.
10. Контролировать безопасное удаление с предприятия жидких, твердых и газообразных отходов.
11. Проверять организацию и ход рабочих операций при аварийных и ремонтных работах.
12. Регулярно измерять уровень излучения в местах захоронения и временного хранения радиоактивных отходов.
13. Контролировать выдачу из хранилищ и движение по рабочим местам радиоактивных источников, а также организацию на рабочих местах безопасных условий труда при работе с ними.

Предупреждение внешнего переоблучения осуществляется двумя путями: контролем мощности дозы или потока ионизирующих частиц на рабочих местах и индивидуальным дозиметрическим контролем.

Показания индивидуальных дозиметров снимаются с определенной периодичностью, определяемой характером работы, мощностью излучений, способом обработки используемых материалов и результатов измерений и другими факторами. Данные индивидуального контроля записываются в специальный журнал или учетную карточку соответствующего сотрудника.

В соответствии с выполняемыми работами служба ДК может иметь в своем составе группу оперативного контроля, контроля воздуха, воды и грунта; методическую группу.

Приборы в соответствии с их назначением подразделяются на четыре группы: для измерения внешних потоков излучения; для измерения активности воздуха; для измерения уровней загрязненности поверхностей спецодежды, рук; для индивидуального дозиметрического контроля.

Наименования, типы и основные параметры некоторых дозиметров и радиометров приведены в работе [2].

Список литературы

1. Голубев Б. П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. М., Атомиздат, 1976. 501 с.
2. Козлов В. Ф. Справочник по радиационной безопасности. М., Атомиздат, 1977. 384 с.

Раздел IV

ЗАЩИТА ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Глава 9

ОПАСНОСТЬ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

9.1. ВИДЫ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Электротравма — это травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги.

Анализ общего количества производственных несчастных случаев показывает, что количество электротравм составляет 0,5—1%, однако среди несчастных случаев со смертельным исходом электротравмы составляют 20—40%, занимая одно из первых мест. При этом 60—85% смертельных поражений электрическим током происходит в электроустановках напряжением до 1000 В (127—380 В).

Электротравматизм по сравнению с другими видами травматизма обладает некоторыми отличительными особенностями. Первая особенность состоит в том, что организм человека не обладает органами, с помощью которых можно дистанционно определять наличие напряжения, как, например, тепловую, световую энергию, перемещающиеся детали. Поэтому защитная реакция организма проявляется только после попадания под напряжение. Вторая особенность электротравматизма заключается в том, что ток, протекающий через человека, действует не только в местах контактов и на пути протекания через организм, но и вызывает рефлекторное воздействие, вызывая нарушение нормальной деятельности отдельных органов (сердечно-сосудистой системы, системы дыхания). Третьей особенностью является возможность получения электротравмы без непосредственного контакта с токоведущими частями — при перемещении по земле вблизи поврежденной электроустановки (в случае замыкания на землю), поражение через электрическую дугу. Четвертая особенность электротравматизма состоит в том, что в большинстве случаев расследованию, учету и анализу доступны только электротравмы с тяжелым и смертельным исходами.

Электрический ток, протекая через живой организм, производит термическое, электролитическое и биологическое воздействия. Термическое и электролитическое воздействия свойственны любым проводникам, а биологическое присуще только живой ткани. Термическое воздействие электрического тока характеризуется нагревом тканей, вплоть до ожогов. Электролитическое действие тока характеризуется разложением жидкостей, в том числе и крови. Биологическое действие электрического тока проявляется в нарушении биологических процессов, протекающих в живом организме, что сопровождается разрушением и возбуждением тканей и сокращением мышц.

Различают два вида поражения организма электрическим током: электрические травмы и электрические удары. Если принять за 100% все учитываемые электропоражения, то на электрические травмы приходится 19% поражений, на электрические удары — 26% и 55% — на смешанные поражения (электрические удары и травмы одновременно).

Электрические травмы — это местные поражения тканей и органов: электрические ожоги, электрические знаки и электрометаллизация кожи, механические повреждения в результате непроизвольных судорожных сокращений мышц при протекании тока (разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервов, вывихи суставов, переломы костей), а также электроофтальмия — воспаление глаз в результате воздействия ультрафиолетовых лучей электрической дуги.

Электрические ожоги возникают в результате нагрева тканей тела человека протекающим током величиной более 1 А. Ожоги могут быть поверхностные, когда поражаются кожные покровы, и внутренние — при поражении глубоко лежащих тканей тела. По условиям возникновения различают ожоги контактные, дуговые и смешанные.

Электрические знаки, называемые еще метками тока, представляют собой пятнистый серый или бледно-желтого цвета в виде мозоли на поверхности кожи в месте контакта с токоведущими частями. Электрические знаки, как правило, безболезненны и с течением времени сходят.

Электрометаллизация кожи — это пропитывание поверхности кожи частицами металла при его разбрызгивании и испарении под воздействием электрического тока. Пораженный участок кожи имеет шероховатую поверхность, окраска которой определяется цветом соединения металла, попавшего в кожу. Электрометаллизация кожи не представляет опасности и с течением времени исчезает, как и электрические знаки. Большую опасность представляет металлизация глаз.

Электрический удар представляет собой возбуждение живых тканей электрическим током, обуславливающее судорожные сокращения мышц. В зависимости от исхода поражения электрические удары разделяются на четыре группы: удары, вызвавшие сокращение мышц без потери сознания; удары, вызвавшие судорожные сокращения мышц с потерей сознания, но с работающим сердцем и системой дыхания; удары с потерей сознания и нарушением сердечной деятельности и дыхания (того и другого вместе или врозь); удары, вызвавшие клиническую смерть пострадавшего.

9.2. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ОПАСНОСТЬ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Факторы, определяющие опасность поражения электрическим током, разделяются на три группы: факторы электрического характера (напряжение и ток, проходящий через человека, род и частота тока, сопротивление цепи человека электрическому току); факторы неэлектрического характера (индивидуальные особенности человека, фактор внимания, продолжительность действия тока, путь тока через человека); факторы окружающей среды.

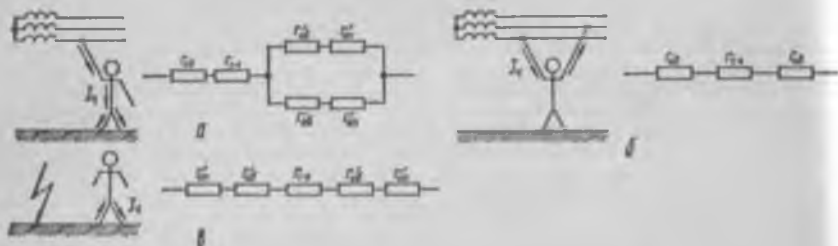


Рис. 9.1. Характерные схемы попадания человека под напряжение и эквивалентные им схемы цепи человека:

а — прикосновение к части под напряжением при стекании тока через тело человека и опорной поверхности ног; б — одновременное прикосновение к двум частям под напряжением при протекании тока по пути рука—рука; в — при попадании под напряжение шага.

Факторы электрического характера. Ток, проходящий через человека, является главным поражающим фактором при электротравме. Различные по величине токи оказывают различное воздействие на человека. Выделяются следующие пороговые значения тока: пороговый ощутимый ток — наименьшее значение электрического тока, вызывающего ощутимые раздражения при прохождении через организм (0,6—1,5 мА при переменном токе частотой 50 Гц и 5—7 мА при постоянном токе); пороговый неотпускающий ток — наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник (10—15 мА при 50 Гц и 50—80 мА при постоянном токе); пороговый фибрилляционный ток — наименьшее значение электрического то-

но, вызывающего при прохождении через организм фибрилляцию сердца (100 мА при 50 Гц и 300 мА при постоянном токе).

Электрическое сопротивление цепи человека (R_q) представляет собой эквивалентное сопротивление нескольких элементов, включающихся последовательно: сопротивление тела человека $r_{т.ч}$, сопротивление одежды $r_{од}$ (если человек прикоснулся к частям под напряжением защищенной одеждой участком тела), сопротивление обуви $r_{об}$ и сопротивление опорной поверхности ног $r_{он}$:

$$R_q = r_{т.ч} + r_{од} + r_{об} + r_{он}. \quad (9.1)$$

Как видно из схем рис. 9.1, при прикосновении к части под напряжением относительно опорной поверхности ног (рис. 9.1, а; однополюсное и однофазное включение) или попадание под напряжение прикосновения)

$$R_q = r_{т.ч} + r_{од} + 0,5 (r'_{об} + r'_{он}); \quad (9.2)$$

при двухполюсном или двухфазном включении человека (рис. 9.1, б)

$$R_q = r_{т.ч} + 2r_{од}. \quad (9.3)$$

при попадании под напряжение шага (рис. 9.1, в)

$$R_q = r_{т.ч} + 2 (r'_{об} + r'_{он}). \quad (9.4)$$

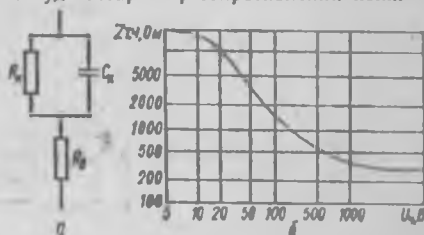
В формулах (9.1—9.4) приняты следующие обозначения: $r'_{об}$ — сопротивление подошвы обуви; $r'_{он}$ — сопротивление опорной поверхности ноги.

Электрическое сопротивление тела человека является главной составляющей в схеме цепи человека. Различные ткани тела по-разному проводят электрический ток.

Наибольшим электрическим сопротивлением обладает кожа и, особенно, верхний роговой слой ее, лишенный кровеносных сосудов. Характер сопротивления кожи — активно-емкостный (рис. 9.2, а). Сопротивление кожи зависит от ее состояния,

Рис. 9.2. Схема электрического сопротивления тела человека:

а — упрощенная электрическая схема (C_k — емкость кожи, R_k — активное сопротивление кожи, $R_{в}$ — сопротивление внутренних органов); б — зависимость сопротивления от приложенного напряжения.



плотности и площади контактов, величины приложенного напряжения, протекающего тока и времени воздействия тока. Наибольшее сопротивление оказывает чистая сухая неповрежденная кожа. Увеличение площади и плотности контактов с токовыми частями снижает сопротивление кожи. С увеличением приложенного напряжения сопротивление кожи уменьшается в результате пробоя верхнего слоя. Увеличение силы тока или времени его протекания вызывает увеличение нагрева верхнего слоя кожи и потовыделения в местах контакта, что также снижает электрическое сопротивление кожи.

Сопротивление внутренних органов также имеет активно-емкостный характер. Однако эта емкость незначительна и ею можно пренебречь. Активная составляющая сопротивления внутренних органов зависит, в основном, от приложенного напряжения (рис. 9.2, б).

Так как сопротивление тела человека электрическому току нелинейно и нестабильно и вести расчеты с такими сопротивлениями сложно, условились считать, что сопротивление тела человека стабильно, линейно, активно и составляет 1000 Ом.

Электрическое сопротивление одежды зависит от вида и влажности ткани. Электрическое сопротивление хлопчатобумажной ткани при площади электрода 100 см² для сухой ткани составляет 10—15 кОм, для влажной — 0,5—1 кОм [11].

Электрическое сопротивление обуви зависит от материала подошвы, состояния помещения и напряжения (табл. 9.1).

Электрическое сопротивление опорной поверхности ног на полу (сопротивление пола) зависит от материала и степени влажности пола. В табл. 9.2 приведены ориентировочные значения сопротивления площадей пола, равных поверхности двух ступней ног.

Электрическое сопротивление опорной поверхности ног на грунте зависит от вида и влажности грунта. Сопротивление, Ом, растеканию тока с опорной поверхности

Таблица 9.1. Ориентировочные значения сопротивления обуви (рекомендуются для предварительных расчетов) [7]

Помещение	Материал подошвы	Сопротивление, кОм, при напряжении сети, В			
		до 65	127	220	выше 220
Сухое	кожа	200	150	100	50
	кожзамит	150	100	50	25
	резина	500	500	500	500
Влажное и сырое	кожа	1,6	0,8	0,5	0,2
	кожзамит	2,0	1,0	0,7	0,5
	резина	2,0	1,8	1,5	1,0

Таблица 9.2. Ориентировочные значения сопротивления пола [7; 8]

Материал пола	Сопротивление опорной поверхности ног, кОм			Материал пола	Сопротивление опорной поверхности ног, кОм		
	Пол сухой	Пол влажный	Пол мокрый		Пол сухой	Пол мокрый	Пол влажный
Металл	0,01	0	0	Ксилолит	100	10	0,5
Кирпич	10	1,5	0,8	Линолеум	1500	50	4
Земля	20	0,8	0,3	Бетон	2000	0,9	0,1
Метлахская плитка	25	2	0,3	Асфальт	2000	10	0,8
Дерево	30	3	0,3				

одной ноги

$$r'_{гр} = 0,031\rho. \quad (9.5)$$

а если ступни ног расположены рядом, эквивалентное сопротивление обеих ступней

$$r_{гр} = 0,022\rho, \quad (9.6)$$

где ρ — удельное сопротивление грунта, Ом · см.

Ориентировочные значения сопротивления опорной поверхности одной ноги приведены в табл. 9.3. При этом под «влажным мерзлым грунтом» понимается грунт с наличием участков оттаивания, а под «влажным льдом или снегом» понимается покрытый водой лед или насыщенный водой снег.

Напряжение на человеке влияет на исход поражения, предопределяя величину сопротивления тела и величину тока, протекающего через человека.

Наиболее опасными для человека являются токи с частотой 20—200 Гц. С понижением и повышением частоты опасность поражения уменьшается и полностью исчезает при частоте 450—500 кГц, хотя эти высокочастотные токи сохраняют опасность ожогов.

Постоянный ток, проходя через тело человека, по сравнению с переменным током той же величины вызывает менее неприятные ощущения. Однако это справедливо только для напряжений до 300 В. При дальнейшем повышении напряжения опас-

ность постоянного тока растет и в интервале напряжений 400—600 В практически равна опасности переменного тока с частотой 50 Гц, а при напряжении более 600 В постоянный ток значительно опаснее переменного. Резкие болевые ощущения при включении под постоянное напряжение возникают в момент замыкания и размыкания

Таблица 9.3. Ориентировочные значения переходного сопротивления
опорной поверхности ноги на грунте

Грунт	Сопротивле- ние опорной поверхности, Ом		Грунт	Сопротивление опорной поверх- ности, Ом	
	Грунт сухой	Грунт влажный		Грунт сухой	Грунт влажный
Строительный мусор	35	25	Песок	8000	1600
Торф	—	50	Гравий, щебень, асфальт	7200	3800
Чернозем	160	50	Каменистый грунт	8500	5000
Садовая земля	190	90	Скальный грунт	$3 \cdot 10^7$	30 000
Глина	200	40	Мерзлый грунт	10 000	4000
Суглинок	500	125	Лед, снег	$2 \cdot 10^6$	300
Лесс	800	160	Вода на поверхности	—	30
Супесок	1250	500	грунта		

цепи. Они обусловлены токами переходного процесса, вызывающими судорожное сокращение мышц.

Факторы неэлектрического характера. Увеличение длительности протекания тока через человека усугубляет тяжесть поражения по следующим причинам: с увеличением времени протекания тока сопротивление тела уменьшается (за счет увлажнения кожи от пота), ток увеличивается; с течением времени истощаются защитные силы организма, противостоящие воздействию электрического тока.

Установлена зависимость между допустимыми для человека величинами синусоидального тока частотой 50 Гц и длительностью воздействия этого тока (табл. 9.4).

Путь тока через человека существенно влияет на исход поражения. Опасность поражения особенно велика, если ток, проходя через жизненно важные органы — сердце, легкие, головной мозг, воздействует непосредственно на эти органы. Если ток не проходит через эти органы, то его воздействие на них является только рефлекторным и вероятность поражения уменьшается.

Пути тока в теле человека называют петлями тока. Наиболее часто встречается петля правая рука — ноги. Среди случаев с тяжелыми и смертельными исходами наиболее часто встречаются следующие петли тока: рука — рука (40% случаев), правая рука — ноги (20%), левая рука — ноги (17%), нога — нога (8%). Наиболее опасны петли тока голова — руки, голова — ноги и рука — рука, наименее опасна петля нога — нога.

Индивидуальные особенности человека значительно влияют на исход поражения при электротравмах, например, ток неотпускающий для одних людей, может быть пороговым для других. Характер воздействия тока одной и той же величины зависит

Таблица 9.4. Допустимые для человека
величины тока при различном времени
его воздействия

Время протекания тока через че- ловека, с	Допусти- мая вели- чина тока, мА	Сопротив- ление тела человека, Ом	Напряже- ние на че- ловека, В
0,2	250	700	175
0,5	100	1000	100
0,7	75	1065	80
1	65	1150	75
30	6	3000	18
Более 30	1	6000	6

от массы человека и его физического развития. Для женщин пороговые значения тока примерно в 1,5 раза ниже, чем для мужчин. Степень воздействия тока зависит от состояния нервной системы и всего организма. Так, в состоянии возбуждения нервной системы, депрессии, болезни (особенно болезни кожи, сердечно-сосудистой и нервной системы и др.) и опьянения люди значительно более чувствительны к протекающему току. Значительную роль играет и фактор внимания. Если человек подготовлен к электрическому удару, то степень опасности резко снижается, в то время как неожиданный удар приводит к более тяжелым последствиям.

а. Факторы окружающей среды. Неблагоприятное влияние факторов окружающей среды на опасность поражения людей электрическим током нашло отражение в нормативных материалах. Производственные помещения по степени опасности поражения людей электрическим током в соответствии с ПУЭ и ГОСТ 12.1.013—78 подразделяются на три категории.

1. Помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырости (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%) или токопроводящей пыли; токопроводящих полов (металлических, земляных, железобетонных, кирпичных и т. п.); высокой температуры (температура воздуха длительно превышает 35° С, кратковременно 40° С независимо от времени года и различных тепловых излучений); возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям здания, технологическим аппаратам, механизмам с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования — с другой.

2. Особо опасные помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости (относительная влажность воздуха близка к 100%, потолок, стены, пол и предметы в помещении покрыты влагой); химически активной среды (помещения, в которых постоянно или длительно содержатся пары или образуются отложения, действующие разрушающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования); одновременного наличия двух или более условий повышенной опасности.

3. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие «повышенную опасность» и «особую опасность».

Открытые или наружные электроустановки, эксплуатирующиеся на открытом воздухе или под навесами, приравниваются к электроустановкам в особо опасных помещениях.

9.3. ОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Для анализа опасности эксплуатации электрических сетей необходимо установить зависимости, позволяющие определять величину тока, протекающего через человека при различных случаях попадания под напряжение, с учетом параметров сети и влияния этих параметров на величину тока, протекающего через человека (табл. 9.5).

В формулах табл. 9.5 приняты следующие обозначения: U_c, U_ϕ, U_n, U_q — напряжения сети постоянного тока или однофазной сети, фазное, линейное, на цепи человека соответственно; r, r_a, r_b, r_c — сопротивления утечки проводов сети, т. е. сумма сопротивлений изоляции и пути тока на землю; C_a, C_b, C_c — емкости проводов сети по отношению к земле; r_0, L_0 — активное и индуктивное сопротивления нейтральной точки источника питания относительно земли; R_q, Y_q — сопротивление и проводимость цепи человека; R_0 — сопротивление рабочего заземления источника питания; R_k — переходное сопротивление в месте замыкания на землю; Y_a, Y_b, Y_c — комплексные проводимости фазных проводов относительно земли; y_a, y_b, y_c — модули проводимости,

$$Y_a = \frac{1 + j\omega r_a C_a}{r_a}; \quad y_a = \frac{1}{r_a} \sqrt{1 + \omega^2 r_a^2 C_a^2},$$

проводимости Y_b и Y_c вычисляются аналогично; Y_0 — проводимость нейтральной точки источника питания относительно земли,

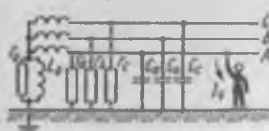
$$Y_0 = \frac{r_0 + j\omega L_0}{j\omega r_0 L_0}; \quad y_0 = \frac{1}{\omega r_0 L_0} \sqrt{r_0^2 + \omega^2 L_0^2};$$

Таблица 9.5. Схемы прикосновения к проводам электрических сетей и формулы определения тока, протекающего через человека

Вид прикосновения	Схема прикосновения	Формула определения тока
<i>Однофазные сети. Сети постоянного тока</i>		
Однополюсное прикосновение к изолированной от земли сети		$I_q = \frac{U_c}{r + 2R_q}$
Однополюсное прикосновение к сети с заземленной средней точкой		$I_q = \frac{U_c}{2(R_n + R_q)} \approx \frac{U_c}{2R_q};$ $R_n \ll R_q$
Однополюсное прикосновение к сети с заземленным полюсом		$I_q = \frac{U_c}{R_n + R_q} \approx \frac{U_c}{R_n};$ $R_n \ll R_q$
Двухполюсное прикосновение		$I_q = \frac{U_c}{R_q}$
Однополюсное прикосновение при замыкании на землю другого полюса		$I_q = \frac{U_c}{R_q + R_n}$

Трехфазные сети

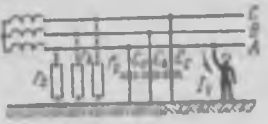
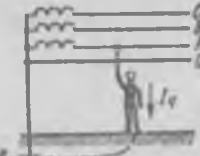
Однофазное прикосновение к трехфазной сети (общий случай)

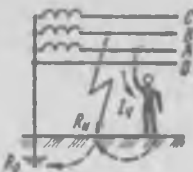
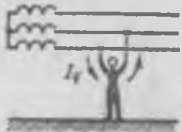


$$I_q = \dot{U}_\phi Y_q \times$$

$$\frac{Y_b(1-a^2) + Y_c(1-a) + Y_0}{Y_a + Y_b + Y_c + Y_0 + Y_q}$$

Продолжение табл. 9.5

Вид прикосновения	Схема прикосновения	Формула определения тока
Однофазное прикосновение к сети с изолированной нейтралью источника питания		$r_a \neq r_b \neq r_c;$ $C_a \neq C_b \neq C_c;$ $I_{\text{ч}} = \dot{U}_{\Phi} Y_{\text{ч}} \times$ $\times \frac{Y_b(1-a^2) + Y_c(1-a)}{Y_a + Y_b + Y_c + Y_{\text{ч}}};$ $r_a = r_b = r_c;$ $C_a = C_b = C_c;$ $I_{\text{ч}} = \frac{3\dot{U}_{\Phi}}{3R_{\text{ч}} + z} =$ $= \frac{3\dot{U}_{\Phi}(1 + j\omega rC)}{r + 3R_{\text{ч}}(1 + j\omega rC)};$ $I_{\text{ч}} =$ $= \frac{U_{\Phi}}{R_{\text{ч}} \sqrt{1 + \frac{r(r + 6R_{\text{ч}})}{9R_{\text{ч}}^2(1 + r^2\omega^2 C^2)}}};$ $r_a = r_b = r_c = r;$ $C_a = C_b = C_c \approx 0;$ $I_{\text{ч}} = \frac{3U_{\Phi}}{3R_{\text{ч}} + r};$ $r_a = r_b = r_c \rightarrow \infty;$ $C_a = C_b = C_c = C;$ $I_{\text{ч}} = \frac{3U_{\Phi}}{\sqrt{9R_{\text{ч}}^2 + x_c^2}} =$ $= \frac{3U_{\Phi}\omega C}{\sqrt{1 + 9R_{\text{ч}}^2\omega^2 C^2}};$
Однофазное прикосновение к сети с изолированной нейтралью, одна из фаз которой замкнута на землю		$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{к}}}$
Однофазное прикосновение к сети с глухозаземленной нейтралью источника питания		$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\Phi}}{R_{\text{ч}} + R_0} = \frac{U_{\Phi}}{R_{\text{ч}}};$ $R_0 \ll R_{\text{ч}}$

Вид прикосновения	Схема прикосновения	Формула определения тока
Однофазное прикосновение к сети с глухозаземленной нейтралью, одна из фаз которой замкнута на землю		$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi}};$ $U_{\phi} > U_{\phi} > U_{\phi}$
Двухфазное прикосновение		$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi}}$

$Z = \frac{r}{1 + j\omega C}$ — полное сопротивление фазных проводов относительно земли;
 $\omega = 2\pi f$ — угловая частота тока; f — частота тока; если $f = 50$ Гц, $\omega = 314$ с⁻¹;
 R_{ϕ} — сопротивление цепи человека.

9.4. ОПАСНОСТЬ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Замыкание на землю в электроустановках происходит при повреждении изоляции и переходе фазного напряжения на корпуса оборудования, при падении на землю провода под напряжением, при замыкании на оболочки в кабельных линиях и по другим причинам. При замыкании в землю стекает ток и на поверхности земли появляются потенциалы (рис. 9.3, а).

Зона земли, за пределами которой электрический потенциал, обусловленный током замыкания на землю, может быть условно принят равным нулю, называется зоной растекания тока замыкания на землю.

Основные характеристики заземлителей — сопротивления току растекания R_{Σ} приведены в табл. 9.6.

Напряжение прикосновения — это то напряжение, под которое попадает стоящий на грунте человек, прикасающийся к оказавшемуся под напряжением корпусу оборудования (рис. 9.3, б). Численно оно равно разности потенциалов корпуса Φ_K и точек почвы, в которых находятся ноги человека, Φ_X :

$$U_{\text{пр}} = \Phi_K - \Phi_X = U_K \alpha_1 \alpha_2, \quad (9.7)$$

где U_K — напряжение на корпусе оборудования относительно точки поверхности земли, находящейся вне зоны растекания тока замыкания на землю; $\alpha_1 = 1 - \frac{\Phi_X}{\Phi_K} \leq 1$ — коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий форму потенциальной кривой и зависящий от типа заземления и расстояния от заземлителя, у заземлителя $\alpha_1 \approx 0$, а за пределами зоны растекания тока $\alpha_1 = 1$ (табл. 9.7); α_2 — коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий падение напряжения на сопротивлении опорной поверхности ног.

Если ноги располагаются на расстоянии шага, то

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + 0,0155 \frac{p}{R_{\phi}}},$$

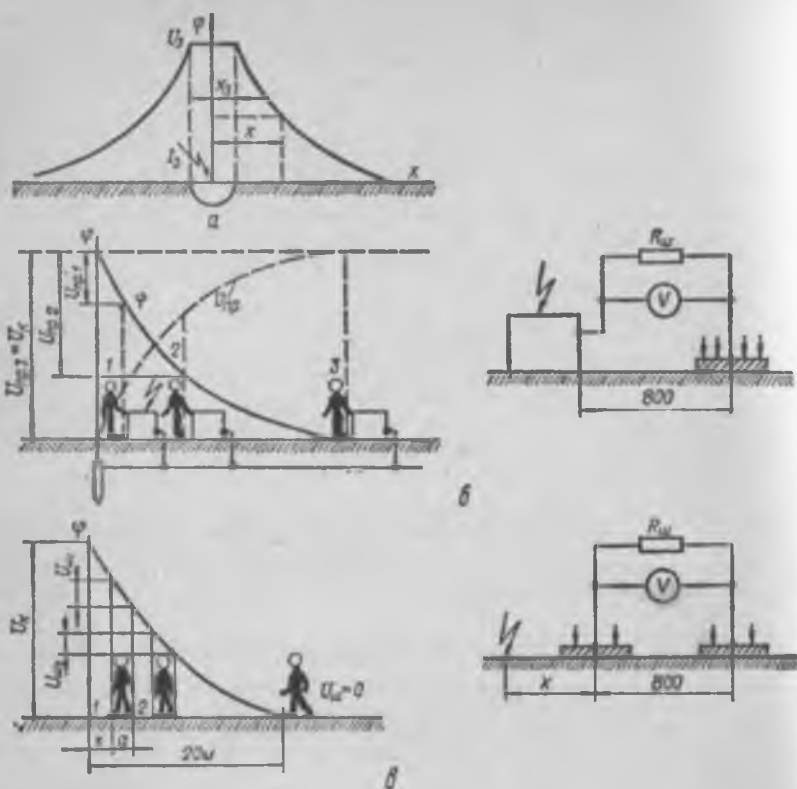


Рис. 9.3. Схема замыкания на землю в электроустановках:

а — распределение потенциалов на поверхности земли при замыкании на полусферический заземлитель; б — определение напряжения прикосновения; в — определение напряжения шага.

если ноги располагаются рядом, то

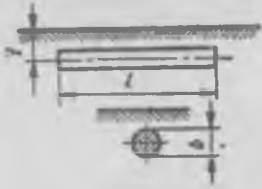
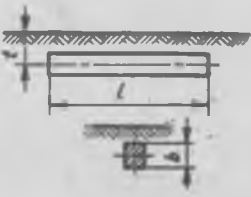
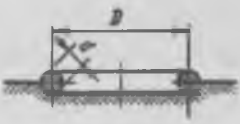
$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + 0,022 \frac{\rho}{R'_q}},$$

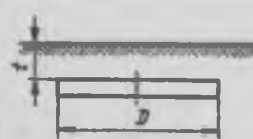
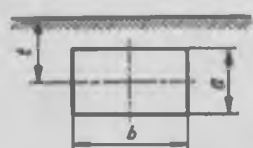
где R'_q — неполное сопротивление цепи человека (без учета сопротивления опорной поверхности ног).

Таблица 9.6. Определение сопротивления току растекания одиночных заземлителей

Тип заземлителя	Эскиз заземлителя	Формула определения R_{31} , Ом
Полушаровой у поверхности грунта		$R_{31} = \frac{\rho}{\pi d}$

Тип заземлителя	Эскиз заземлителя	Формула определения R_{31} , Ом
Шаровой в грунте		$R_{31} = \frac{\rho}{\pi d} \left(1 + \frac{d}{4l} \right);$ $2l \gg d$
Трубчатый или стержневой у поверхности грунта		$R_{31} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d};$ $l \gg d$
Трубчатый или стержневой в грунте		$R_{31} = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \right.$ $\left. + \frac{1}{2} \ln \frac{4l+l}{4l-l} \right);$ $R_{31} \approx \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}; l \gg d$ $t_0 \gg 0,5 \text{ м}$
Угловой у поверхности грунта		$R_{31} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4,2l}{b};$ $l \gg b$
Угловой в грунте		$R_{31} = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2,1l}{b} + \right.$ $\left. + \frac{1}{2} \ln \frac{4,2l+l}{4,2l-l} \right);$ $R_{31} \approx \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4,2l}{b};$ $l \gg b; t_0 \gg 0,5 \text{ м}$
Протяженный круглого сечения (стержень, труба, оболочка кабеля) на поверхности грунта		$R_{31} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{b};$ $l \gg d$

Тип заземлителя	Эскиз заземлителя	Формула определения R_{31} , Ом
Протяженный круглого сечения в грунте		$R_{31} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{d l} ;$ $R_{31} \approx \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d} ;$ $l \geq 4t; \quad l \gg d$
Протяженный полосовой на поверхности грунта		$R_{31} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{b} ; \quad l \gg b$
Протяженный полосовой в грунте		$R_{31} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{b l} ;$ $R_{31} \approx \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{4l}{b} ; \quad l \gg 4t;$ $l \gg b$
Кольцевой круглого сечения на поверхности грунта		$R_{31} = \frac{\rho}{\pi^2 D} \ln \frac{8D}{d}$
Кольцевой круглого сечения в грунте		$R_{31} = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{4\pi D^3}{d l} ;$ $R_{31} \approx \frac{\rho}{\pi^2 D} \ln \frac{8D}{d} ;$ $2l \ll D \gg d$
Кольцевой прямоугольного сечения на поверхности грунта		$R_{31} = \frac{\rho}{\pi^2 d} \ln \frac{16D}{b}$

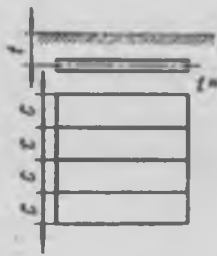
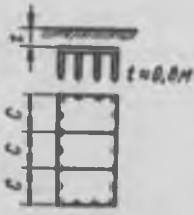
Тип заземлителя	Эскиз заземлителя	Формула определения $R_{з1}$, Ом
Кольцевой прямоугольного сечения в грунте		$R_{з1} = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{8\pi D^3}{b^4};$ $R_{з1} \approx \frac{\rho}{\pi^2 D} \ln \frac{16D}{b};$ $0,5b < D < 2l$
Круглая пластина на поверхности грунта		$R_{з1} = \frac{\rho}{2D}$
Круглая пластина в грунте		$R_{з1} = \frac{\rho}{4D} \left(1 + \frac{2}{\pi} \times \right.$ $\times \arcsin \frac{D}{\sqrt{16t^2 + D^2}} \Big);$ $R_{з1} \approx \frac{\rho}{2D}; \quad 2t \gg D$
Пластиночный в грунте (пластина поставлена на ребро)		$R_{з1} = \frac{\rho}{4\sqrt{\pi ab}} \left(\frac{\pi}{2} + \right.$ $+ \arcsin \sqrt{\frac{ab}{4t^2\pi + ab}} \Big);$ $R_{з1} \approx \frac{\rho}{4\sqrt{ab}}; \quad l > \sqrt{\frac{ab}{\pi}}$

Примечание. ρ — удельное сопротивление грунта, Ом·см.

Напряжение прикосновения увеличивается по мере удаления от заземлителя и за пределами зоны растекания тока равно напряжению на корпусе оборудования относительно земли.

Для измерения напряжения прикосновения на расстоянии 80 см от оборудования на поверхность грунта или пола укладывается металлический (свинцовый или алюминиевый) лист размерами 35 × 35 см, имитирующий опорную поверхность ног. Сопротивление тела человека (при измерении должно составлять 1000 Ом) заменяется внутренним сопротивлением вольтметра (R_V), шунтированного сопротивлением $R_{ш}$,

Таблица 9.7. Значение коэффициентов напряжения прикосновения α_1 и шага β_1

Тип заземлителя	Эквив. заземлителя	Расстояние между параллельными полосами, С, м	Количество внутренних параллельных полос в контуре, n	α_1	β_1
1. Одиночный протяженный заземлитель		—	—	1,0	0,14
2. Ряд стержней, соединенных полосой		—	—	1,0	0,10
3. Контур из полосы с внутренними параллельными полосами		2,5	2	0,30	0,15
		5	2	0,35	0,15
		10	2	0,40	0,15
		15	2	0,45	0,15
		2,5	5	0,15	0,15
		5	5	0,20	0,15
		10	5	0,30	0,15
		15	5	0,35	0,15
		2,5	10	0,10	0,15
		5	10	0,15	0,15
		10	10	0,25	0,15
		15	10	0,30	0,15
4. Контур из стержней и полосы с внутренними параллельными полосами		2,5	5	0,10	0,15
		2,5	10	0,075	0,15
		5	5	0,15	0,15
		5	10	0,10	0,15
		10	5	0,25	0,15
		10	10	0,20	0,15
		15	5	0,35	0,15
		15	10	0,25	0,15

Примечание. В пп. 1 и 2 значения α_1 приведены для случаев прикосновения на расстоянии более 20 м от заземлителей, а в пп. 3 и 4 — для точек в пределах контура.

которое определяется по уравнению

$$R_{ш} = \frac{1000R_V}{R_V - 1000} \quad (9.8)$$

Металлический лист нагружается грузом массой 80 кг, имитирующим массу человека. Принимаются соответствующие меры безопасности, и на корпус испытуемой электроустановки подается напряжение.

Напряжение шага — это напряжение, под которым оказывается находящийся в зоне растекания тока человек, если ноги его касаются точек с разными потенциалами. Численно оно равно разности потенциалов точек, в которых находятся ноги человека, Φ_x и Φ_{x+a} (рис. 9.3, в). По аналогии с формулой (9.7),

$$U_{ш} = \Phi_x - \Phi_{x+a} = U_n \beta_1 \beta_2, \quad (9.9)$$

где $\beta_1 = \frac{\Phi_x - \Phi_{x+a}}{\Phi_x} \leq 1$ — коэффициент напряжения шага, учитывающий форму потенциальной кривой и зависящий от вида заземлителя, расстояния от места замыкания на землю (x) и длины шага ($a = 80$ см); $\beta_2 = \frac{1}{1 + 0,062 \frac{a}{R_ч}}$ — коэффициент

напряжения шага, учитывающий падение напряжения на опорной поверхности ног ($0 \leq \beta_2 \leq 1$); Φ_x — потенциал на заземлителе.

Напряжение шага прямо пропорционально длине шага и обратно пропорционально расстоянию от места замыкания на землю. За пределами зоны растекания тока ($x > 20$ м) напряжение шага равно нулю.

Для измерения напряжения шага на требуемом расстоянии от места замыкания на землю располагаются две металлические пластины размером $35 \times 17,5$ см с расстоянием между ними, равным длине шага. Каждая из этих пластин нагружается грузом массой по 40 кг, имитируя распределенную на две опорные поверхности массу человека. Измерения проводятся аналогично измерениям напряжения прикосновения.

9.5. ПРИЧИНЫ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Принято различать технические, организационно-технические, организационные и организационно-социальные причины электротравм [1].

К техническим причинам электротравм относят дефекты устройства электроустановок и защитных средств (дефекты документации, изготовления, монтажа и ремонта); неисправности электроустановок и защитных средств, возникшие в процессе эксплуатации; несоответствие типа электроустановки и защитных средств условиям применения; использование электроустановок, не принятых в эксплуатацию, и защитных средств с истекшим сроком периодических испытаний.

К организационно-техническим причинам электротравм относится несоблюдение технических мероприятий безопасности при эксплуатации электроустановок, а именно: ошибки при отключении электроустановки (отключение другой установки, отключение не со всех сторон и т. д.); ошибочная подача напряжения на электроустановку, где работают люди; отсутствие ограждений и предупредительных плакатов у места работы; допуск к работе на отключенные токоведущие части без проверки напряжения на них; нарушение порядка наложения, снятия и учета переносных заземлений; несвоевременная замена неисправного или устаревшего оборудования и др.

К организационным причинам электротравм относится несоблюдение или неправильное выполнение следующих организационных мероприятий безопасности: недостаточная обученность персонала (лиц электротехнического и неэлектротехнического персонала); неправильное оформление работы; несоответствие работы заданию; нарушение порядка допуска бригады к работе; некачественный надзор во время работы и др.

К организационно-социальным причинам электротравм относятся допуск к работе в электроустановках лиц моложе 18 лет; привлечение к работе лиц, не оформленных приказом о приеме на работу в организацию; несоответствие выполняемой работы

специальности; выполнение работы в сверхурочное время; нарушение производственной дисциплины; игнорирование правил безопасности квалифицированным персоналом.

Причины попадания людей под напряжение следующие: соприкосновение с открытыми токоведущими частями под напряжением (55,9%); прикосновение к металлическим частям оборудования, оказавшимся под напряжением в результате повреждения изоляции (22,8%); прикосновение к неметаллическим предметам и частям оборудования, оказавшимся под напряжением — прикосновение к токоведущим частям, покрытым изоляцией, потерявшей свои изоляционные свойства, касание токоведущих частей предметами с низким сопротивлением (17,7%); соприкосновение с полом, стенами и конструктивными деталями помещений, оказавшимися под напряжением вследствие повреждения изоляции, поражение напряжением шага (2,4%); поражение через электрическую дугу (1,2%).

Глава 10

ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

10.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Защитные меры, применяемые в электроустановках, подразделяются на меры, обеспечивающие безопасность при нормальном режиме работы электроустановок, и обеспечивающие безопасность при аварийном состоянии электроустановок.

Безопасность эксплуатации при нормальном режиме работы электроустановок обеспечивается следующими защитными мерами: применением малых напряжений; изоляцией токоведущих частей; выполнением электрических сетей изолированными от земли; компенсацией емкостной составляющей тока замыкания на землю; недоступностью токоведущих частей; обеспечением ориентации в электроустановках и выравниванием потенциалов.

Когда происходит повреждение рабочей изоляции и напряжение с токоведущих частей переходит на металлические нетокковедущие части (корпуса) оборудования, появляется опасность поражения электрическим током. В таком аварийном режиме безопасность обеспечивается двойной изоляцией, защитным заземлением или занулением корпусов оборудования, защитным отключением и комплексом мер по обеспечению безопасности при переходе высшего напряжения на сторону низшего.

По способу защиты человека от поражения электрическим током в соответствии с ГОСТ 12.2.007.0—75 устанавливаются следующие пять классов электротехнических изделий: 0, 0I, I, II, III.

К классу 0 относятся изделия, имеющие рабочую изоляцию и не имеющие элементов для заземления, если эти изделия не отнесены к классу II или III. К классу 0I относятся изделия, имеющие рабочую изоляцию, элемент для заземления и провод без заземляющей жилы для присоединения к источнику питания. К классу I относятся изделия, имеющие рабочую изоляцию и элемент для заземления. В случае, если изделие класса I имеет провод для присоединения к источнику питания, этот провод должен иметь заземляющую жилу и вилку с заземляющим контактом. К классу II относятся изделия, имеющие двойную или усиленную изоляцию и не имеющие элементов для заземления. К классу III относятся изделия, не имеющие ни внутренней, ни внешней электрических цепей с напряжением свыше 42 В. Изделия, получающие питание от внешнего источника, могут быть отнесены к классу III только в том случае, если они предназначены для присоединения непосредственно к источнику питания с напряжением не выше 42 В, у которого при холостом ходе оно не превышает 50 В. При использовании в качестве источника питания трансформатора или преобразователя его входная и выходная обмотки не должны быть электрически связаны и между ними должна быть двойная или усиленная изоляция.

10.2. ПРИМЕНЕНИЕ МАЛЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Малое напряжение — это номинальное напряжение не более 42 В, применяемое в целях уменьшения опасности поражения электрическим током.

В производственных условиях ПУЭ предусматривают применение двух малых напряжений — 12 и 36 (42) В.

Напряжение до 36 В включительно применяется в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и вне помещений для питания следующих электроприемников: ручных электрифицированных инструментов (дрель, гайковерт, паяльник, пила, рубанок и др.); переносных ручных ламп; светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания; светильников общего освещения обычной конструкции с лампами накаливания, размещенных над полом на высоте менее 2,5 м.

Напряжение не выше 12 В включительно должно применяться для питания ручных переносных ламп в особо опасных помещениях при особо неблагоприятных условиях работы: в стесненных условиях, при соприкосновении работающего с большими металлическими заземленными поверхностями (работа в металлической емкости сидя или лежа на токопроводящем полу, в кабельном колодце, в смотровой яме и др.).

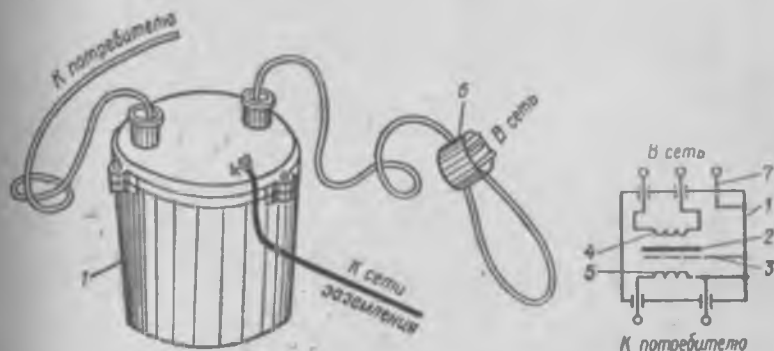


Рис. 10.1. Установка для питания малым напряжением переносного ручного потребителя от трансформатора ОСВУ-25:

1 — металлический кожух; 2 — магнитопровод; 3 — экран; 4 — обмотка высшего напряжения; 5 — обмотка малого напряжения; 6 — штепсельная вилка; 7 — проводник заземления.

Источниками малого напряжения служат батареи гальванических элементов, аккумуляторы, выпрямительные установки, преобразователи частоты, трансформаторы. Применение автотрансформаторов или реостатов запрещается, так как в этом случае сеть малого напряжения электрически связана с сетью высшего напряжения. Наибольшее применение находят трансформаторы (рис. 10.1). Единственной опасностью при применении трансформаторов для получения малого напряжения является возможность перехода высшего напряжения на корпус или на сторону малого напряжения. Для исключения этой опасности корпус трансформатора, один из выводов, нейтраль или средняя точка обмотки малого напряжения заземляется, а между обмотками высшего и малого напряжения располагается заземленный экран.

10.3. ИЗОЛЯЦИЯ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Покрытие токоведущих частей или отделение их от других частей слоем диэлектрика обеспечивает протекание тока по требуемому пути и безопасную эксплуатацию электроустановок. В электроустановках применяются следующие виды изоляции (по ГОСТ 12.1.009—76): рабочая изоляция — электрическая изоляция токоведущих частей, обеспечивающая нормальную работу электроустановки и защиту от поражения электрическим током; дополнительная изоляция — электрическая изоляция, предусмотренная дополнительно к рабочей изоляции для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения рабочей изоляции.

Изоляция обеспечивает безопасность благодаря большому сопротивлению, которое препятствует протеканию значительных токов через изоляцию. Сопротивление изоляции уменьшается с повышением температуры, увеличением приложенного напряжения и в процессе работы в результате старения. Состояние изоляции характеризуется три параметра: электрическая прочность, электрическое сопротивление

152 Таблица 10.1. Сроки, объем и нормы контроля изоляции некоторых электроустановок потребителей, находящихся в эксплуатации [9; 12]

Вид и периодичность испытаний	Наименование испытания	Нормы испытания	Условия проведения испытаний
<i>1. Аппараты, вторичные цепи и электропроводка напряжением до 1000 В</i>			
К — не реже 1 раза в 3 года; Т, М — сроки устанавливаются ответственным за электрохозяйство	1. Измерение сопротивления изоляции:		
	а) катушки контактов магнитных пускателей и автоматов	$U_M = 500 - 1000$ $R_{н.мин} = 0,5$	
	б) вторичные цепи управления, защиты, измерения и др.: шинки постоянного тока и шинки на щите управления	$U_M = 500 - 1000$ $R_{н.мин} = 10$ $U_M = 500 - 1000$ $R_{н.мин} = 1$	При отсоединенных цепях Со всеми присоединенными аппаратами
	в) каждое присоединение вторичных цепей и цепей питания приводов выключателей и разъединителей цепи управления, защиты и возбуждения машин постоянного тока напряжением 500—110 В	$U_M = 500 - 1000$ $R_{н.мин} = 1$	
К — не реже 1 раза в 3 года	г) силовые и осветительные электропроводки	$U_M = 1000$ $R_{н.мин} = 0,5$	При снятых плавких вставках между смежными предохранителями или за последним предохранителем между любым проводом и землей, а также между двумя любыми проводами; в силовых цепях должны быть отключены все электроприемники, аппараты, приборы и т. п.; в осветительных цепях лампы должны быть выключены, а штепсельные розетки, выключатели и групповые щитки присоединены
	р) распределительные устройства, щиты и токопроводы	$U_M = 1000$ $R_{н.мин} = 0,5$	Для каждой секции распределительного устройства
	2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты ($t_M = 60$):		
	а) изоляции элементов приводов, выключателей, разъединителей, отделителей, а также вторичных цепей аппаратов и т. п.	$U_M = 1000$	

б) силовых кабелей	$U_M = 1000$ или $U_M = 2500$
в) изоляции силовых и осветительных электропроводок	$U_M = 1000$ $U_M = 2500$

II. Электродвигатели переменного тока

К — для двигателей ответственных механизмов и работающих в тяжелых условиях (повышенная температура, загрязненность и др.) не реже 1 раза в 2 года; для двигателей в нормальных условиях сроки устанавливаются ответственным за электрохозяйство; Т — сроки устанавливаются ответственным за электрохозяйство; К — аналогично п. I	1. Измерение сопротивления изоляции:		
	а) обмотки статора, а также отношения R_{60}/R_{15} у электродвигателей напряжением выше 2 кВ или мощностью более 1000 кВт	$R_{н.мин}$ — не нормируется; у электродвигателей U_n до 660, $U_M = 1000$; у электродвигателей U_M выше 660, $U_M = 2500$	См. примечание 2
	б) обмотки ротора	$R_{н.мин}$ — не нормируется; $U_M = 1000$, см. примечание 2	У синхронных электродвигателей и электродвигателей с фазным ротором U_M выше 2000 или P_n более 1000
	2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты ($t_M = 60$):		
	а) обмотка статора $P_n = 40$ и более и электродвигатели ответственных механизмов	$U_M = 400$ и ниже $U_M = 1000$; $U_n = 500$ $U_M = 1500$; $U_n = 660$ $U_M = 1700$; $U_n = 2000$ $U_M = 4000$; $U_n = 3000$ $U_M = 5000$; $U_n = 6000$ $U_M = 10\ 000$; $U_n = 10\ 000$; $U_M = 16\ 000$; $U_n = 660$ и ниже $U_M = 1000$	См. примечание 3 При капитальном ремонте (без смены обмоток) по возможности тотчас же после остановки до его очистки от загрязнения
	менее $P_n = 40$		Перед вводом в работу повторное контрольное испытание $U_M = 1000$
	б) обмотка ротора синхронных двигателей	$U_M = 1000$	
	в) обмотка ротора электродвигателя с фазным ротором	$U_M = 1,5U_p$, но не ниже 1000	

Вид и периодичность испытаний	Наименование испытаний	Нормы испытаний	Условия проведения испытаний
III. Переносный электрифицированный инструмент	г) сопротивление гашения поля д) резиста и пускорегулирующие сопротивления	$U_{\text{н}} = 2000$ $U_{\text{н}} = 1,5U_{\text{р}}$, но не менее 1000	Для спаренных электродвигателей
	а) электрифицированный инструмент и понижающих и сопротивлении изоляции: 1. Измерение сопротивления изоляции: а) электрифицированного инструмента	$U_{\text{н}} = 500$; $R_{\text{н макс}} = 1$, при двойной изоляции $R_{\text{н макс}} = 2$, см. примечание 4 $U_{\text{н}} = 500$; $R_{\text{н макс}} = 1$	Измерение у обмоток токопроводящего кабеля инструмента относительно корпуса и наружных металлических деталей
К, Т, М	б) понижающих трансформаторов		Между первичной и вторичной обмотками и между каждой из обмоток и корпусом
	2. Испытание повышенным напряжением а) электрифицированного инструмента и токопроводящего кабеля при $U_{\text{н}} = 36 R_{\text{н}}$ до 2 $U_{\text{н}}$ более 36 $R_{\text{н}}$ до 1 $U_{\text{н}}$ более 36 $R_{\text{н}}$ более 1	$U_{\text{н}} = 550$ $U_{\text{н}} = 900$ $U_{\text{н}} = 1350$, см. примечание 4	Испытание изоляции обмоток и токопроводящего кабеля инструмента относительно корпуса и наружных металлических деталей
	б) изоляции обмоток понижающих трансформаторов при $U_{\text{н}} = 127 - 220$ $U_{\text{н}} = 380 - 400$	$U_{\text{н}} = 1350$ $U_{\text{н}} = 1800$	Испытательное напряжение прикладывается поочередно к каждой из обмоток, при этом остальные обмотки должны быть соединены с заземленным корпусом и магнитопроводом

[illegible]

и диэлектрические потери. Электрическая прочность изоляции определяется испытанием на пробой повышенным напряжением, электрическое сопротивление — измерением, а диэлектрические потери — специальными исследованиями.

С целью выявления дефектов и повреждений проводятся предмонтажные испытания вновь вводимого в эксплуатацию и прошедшего восстановительный ремонт или реконструкцию электрооборудования; испытания при капитальном и текущем ремонте оборудования; профилактические (межремонтные) испытания в сроки, установленные Правилами [11; 12] или в случае обнаружения дефектов; постоянный контроль изоляции — измерение сопротивления изоляции под рабочим напряжением в течение всего времени работы электроустановки.

Таблица 10.2. Технические характеристики мегаомметров

Тип мегаомметра	Номинальное напряжение при разомкнутой цепи, В	Предел измерения сопротив- ления, МОм	Габаритные размеры, мм	Мас- са, кг	Примечание
М1101М	100 500	100 500	200×130×165	3,2	Выпускаются в трех модификациях по напряжению
М 4100/1-5	1000 100 250 500	1000 100 250 500	200×155×140	3,5	Выпускаются в пя- ти модификациях по напряжению М 4100/1-5 — пита- ние от встроенного генератора,
М 4101/1-5	1000 2500	1000 2500	200×155×140	3,5	М 4101/1-5 — пита- ние от сети 50 Гц, 220/127 В
М1102/1	500 + 50 1000 + 100	500	237×177×212	5,5	Искробезопасный, выпускается в двух модификациях по напряжению
МС-06	2500	10 000			

В электроустановках напряжением выше 1000 В выполняются все виды испытаний (повышенным напряжением, измерение сопротивления и определение диэлектрических потерь), а в электроустановках напряжением до 1000 В — только измерение сопротивления и испытание повышенным напряжением.

Состояние изоляции контролируется по нормам и в сроки, установленные Правилами [9; 11; 12], которые для некоторых электроустановок приведены в табл. 10.1.

Сопротивление изоляции периодически измеряется на отключенной электроустановке с помощью специальных приборов — мегаомметров. Основные характеристики мегаомметров приведены в табл. 10.2.

На отключенных электроустановках в сетях с глухозаземленной нейтралью трансформатора мегаомметрами измеряется сопротивление изоляции между каждой фазой и землей и между каждой парой фаз (рис. 10.2, а), что не позволяет судить об общем уровне сопротивления изоляции. В сетях с изолированной нейтралью источника питания с помощью мегаомметра может быть измерено сопротивление изоляции каждой фазы относительно земли (рис. 10.2, б), что позволяет оценить сопротивление изоляции всей сети, включая и потребителей. При измерениях мегаомметрами за сопротивление изоляции принимается минутное значение измеренного сопротивления.

Постоянный контроль изоляции осуществляется в сетях с изолированной нейтралью. Для этой цели применяются приборы на постоянном оперативном токе и вентильные.

Приборы на постоянном оперативном токе (рис. 10.2, а) имеют встроенный источник постоянного тока E и омметр Ω , подключаемые к испытуемой сети через фильтр из дросселя Dp и резисторов R . Последовательно в цепь оперативного тока

может включаться обмотка реле P , которое включает звуковой или световой сигнал при недопустимом снижении сопротивления изоляции сети. Промышленностью (Днепропетровским заводом шахтной автоматики) выпускаются приборы типа ПКИ-1 и ПКИ-2, предназначенные для контроля изоляции передвижных электроустановок с номинальным напряжением 230—400 В. Для постоянного контроля изоляции передвижных электроустановок служит также щитовой прибор ТКТ-60.

При вентильных схемах постоянного контроля изоляции сопротивление изоляции измеряется выпрямленным током. Простейшая схема — схема трех вентилей 3В (рис. 10.2, $г$). Завод «Мегомметр» (г. Умань) выпускает малогабаритные мегаомметры М143 и М143М [15].

При двойной изоляции кроме основной рабочей изоляции токоведущих частей применяется слой изоляции, изолирующий человека от металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением при повреждении рабочей

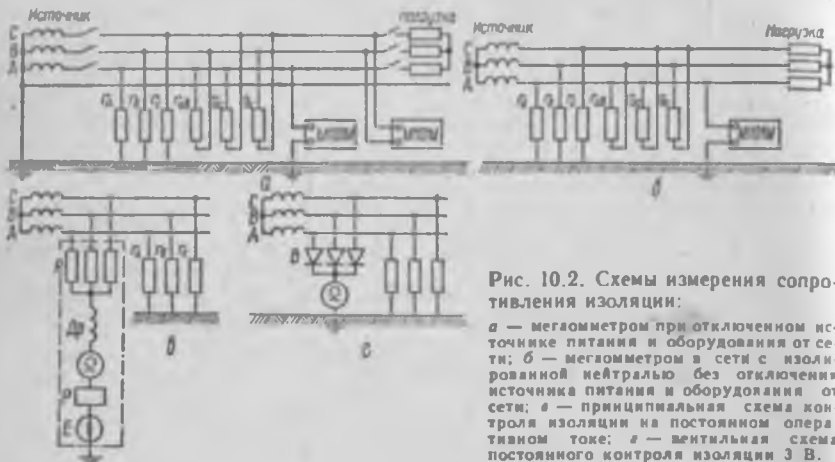


Рис. 10.2. Схемы измерения сопротивления изоляции:

$а$ — мегаомметром при отключенном источнике питания и оборудования от сети; $б$ — мегаомметром в сети с изолированной нейтралью без отключения источника питания и оборудования от сети; $в$ — принципиальная схема контроля изоляции на постоянном операционном токе; $г$ — вентильная схема постоянного контроля изоляции 3 В.

изоляции. Наиболее совершенный способ применения двойной изоляции — это изготовление корпусов электрооборудования из изолирующего материала. С двойной изоляцией изготавливаются аппаратура электропроводок (распределительные коробки, выключатели, розетки, вилки, патроны ламп накаливания), переносные светильники, электронизмерительные приборы, электрифицированные ручные инструменты (дрель ИЭ 1008, дисковая пила ИЭ 5106, рубанок ИЭ 5701А и др.) и некоторые бытовые приборы. Распространению электрооборудования с двойной изоляцией препятствуют недостатки, присущие пластмассам, которые используются для двойной изоляции: недостаточная механическая прочность, ненадежность соединений с металлом и старение.

10.4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕДОСТУПНОСТИ НЕИЗОЛИРОВАННЫХ ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ

Недоступность неизолированных токоведущих частей достигается применением стационарных ограждений, блокировок и расположением токоведущих частей на недосягаемой высоте или в недоступном месте.

Ограждения выполняются сплошными и сетчатыми. Сплошные ограждения (корпуса, кожухи, крышки) применяются в электроустановках напряжением до 1000 В, а сетчатые — в электроустановках до и выше 1000 В. Ограждения оборудуются крышками, дверцами или дверями, запирающимися на замок или снабженными блокировками (табл. 10.3).

Блокировки по принципу действия бывают механические и электрические. Механические блокировки имеют защелки различного конструктивного исполнения. Эти защелки стопорят поворотную часть механизма в отключенном состоянии. Они

Таблица 10.3. Требования к устройству ограждений электроустановки [4; 11]

Нормируемая величина	Допустимое значение, м
Высота ограждений распределительных устройств до 1000 В (распределительных щитов, щитов управления, релейных щитов, пультов, ячеек и шкафов)	Не менее 1,7
Высота сетчатых и смешанных ограждений для закрытых распределительных устройств (ЗРУ) выше 1000 В	Не менее 1,7
То же для открытых распределительных устройств (ОРУ) и открыто установленных трансформаторов	Не менее 2,0
Размер ячеек сетки для сетчатых ограждений	Не более 0,025×0,025
Высота расположения барьера (поручня) в камерах ЗРУ выше 1000 В	Не менее 1,2
Высота внешнего забора ограждения территории подстанции	2,4
Высота внутреннего забора для ограждения ОРУ (подстанции), расположенного на территории электростанции или промышленного предприятия	1,5

Примечания: 1. Защитные ограждения выполняются из металла.

2. Сетчатые ограждения должны иметь приспособления для запертия на замок.

3. Заборы могут быть сплошными, сетчатыми или решетчатыми.

4. Заборы могут не выполняться для столбовых подстанций, а также для закрытых подстанций, расположенных на охраняемой территории промышленных предприятий, на территории городов и поселков.

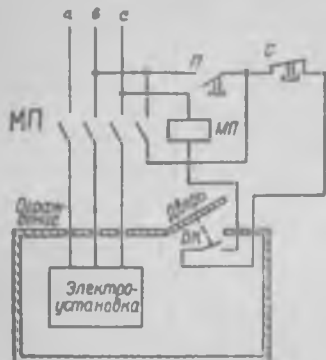
Таблица 10.4. Расстояние по вертикали от проводов воздушных линий электропередачи при нормальном режиме до поверхности земли [4; 11]

Место расположения	Минимальное расстояние, м, при линейном напряжении, кВ								
	До 1	6	10	35	110	154	220	330	500
Населенная местность	6	7	7	7	7	8	8	8	8
Ненаселенная местность	6	6	6	6	6	7	7	7,5	8
Труднодоступная местность	4	5	5	5	5	6	6	6,5	7

Примечание. *Населенной* местностью называются территории городов, поселков, деревень, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, портов, пристаней, железнодорожных станций, общественных парков, бульваров, пляжей в границах их перспективного развития на 10 лет. *Ненаселенной* местностью называются незастроенные местности, хотя бы и частично посещаемые людьми, доступные для транспорта и сельскохозяйственных машин. Огороды, сады, местности с отдельными редко стоящими строениями и временными сооружениями также относятся к ненаселенной местности. *Труднодоступной* местностью называется местность, не доступная для транспорта и сельскохозяйственных машин.

применяются в электрических аппаратах: пускателях, автоматических выключателях, рубильниках.

Электрические блокировки позволяют отключать напряжение при открытии дверей ограждений, корпусов и кожухов или снятии крышек. Они применяются в испытательных электроустановках.



При электрической блокировке наиболее целесообразно дистанционное управление электроустановкой (рис. 10.3). В этом случае блокировочные контакты (БК), сблокированные с дверью или крышкой, при открывании двери или снятии крышки размыкают цепь питания катушки магнитного пускателя (МП). При такой схеме обрыв цепи управления и случайное закрытие двери не представляет опасности, так как электроустановка будет обесточенной.

Расположение токоведущих частей на недосягаемой высоте или в недоступном месте обеспечивает безопасность без ограждений и блокировок. Выбирая высоту подвеса, следует учиты-

Рис. 10.3. Схема электрической блокировки.

вать возможность неумышленного прикосновения к частям под напряжением длинными металлическими предметами (инструментами, приспособлениями и др.) Высота подвеса проводов воздушных линий электропередачи зависит от напряжения и места прохождения линии (табл. 10.4).

10.5. ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Защитное заземление — это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Защитное заземление является эффективной мерой защиты при питании электрооборудования от электрических сетей напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и напряжением выше 1000 В с любым режимом нейтрали источника питания.

Согласно ПУЭ, защитное заземление следует выполнять при напряжении переменного тока 380 В и выше и постоянного тока 440 В и выше во всех электроустановках; при номинальных напряжениях переменного тока выше 42 В и постоянного тока выше 110 В — только в электроустановках, размещаемых в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных, а также в наружных установках; при любом напряжении переменного и постоянного тока — во взрывоопасных установках.

Защитное действие заземления основано на снижении напряжения прикосновения, что достигается путем уменьшения потенциала на корпусе оборудования относительно поверхности земли: во-первых, за счет малого сопротивления заземления в установках напряжением до 1000 В и выше (6—35 кВ) при малых токах замыкания на землю, до 500 А; во-вторых, за счет повышения потенциала прилегающей к оборудованию поверхности земли, т. е. выравнивания потенциалов в электроустановках напряжением выше 1000 В (110 кВ и выше) с большими токами замыкания на землю. При выравнивании потенциалов, кроме того, уменьшается напряжение шага. В электроустановках напряжением выше 1000 В с большими токами замыкания на землю пробой фазы на корпус и последующее замыкание на землю является однофазным коротким замыканием, от тока которого срабатывает максимальная токовая защита, отключая поврежденный участок.

Конструкция заземляющих устройств. Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя (металлического проводника или группы проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с грунтом) и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем.

В зависимости от расположения заземлителей по отношению к заземляемому оборудованию заземления бывают выносные или сосредоточенные и контурные или распределенные.

Заземлители выносных заземлений располагаются сосредоточенно на некотором расстоянии от заземляемого оборудования (рис. 10.4, а). Ввиду значительного удаления заземлителей оборудование расположено за пределами зоны растекания тока замыкания на землю.

Напряжение прикосновения в случае выносного заземления определяется напряжением корпус оборудования — земля (рис. 10.4, б):

$$U_{пр} = U_k = I_3 R_3, \quad (10.1)$$

где I_3 — ток замыкания на землю при замыкании фазы на корпус.

Таким образом, выносное заземление обеспечивает безопасность, когда напряжение на корпусе не превышает допустимой величины.

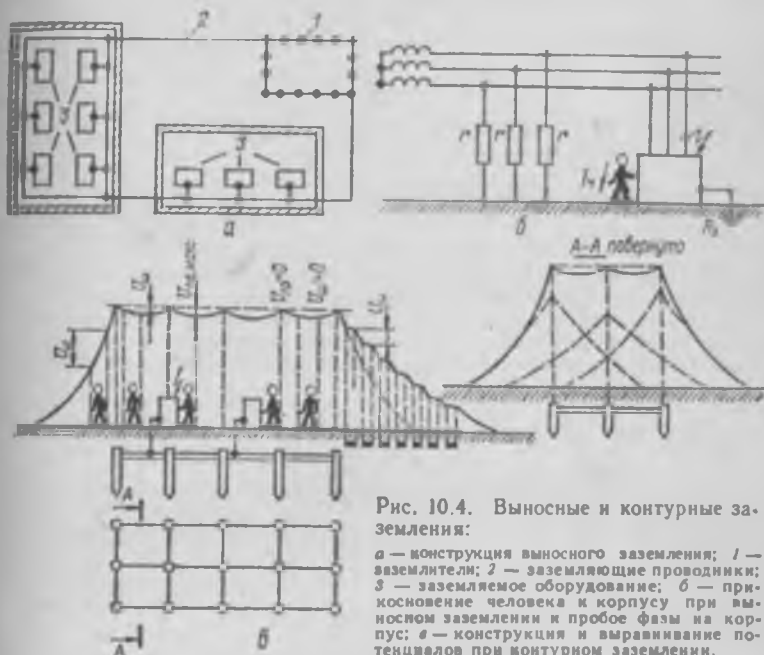


Рис. 10.4. Выносные и контурные заземления:

а — конструкция выносного заземления; 1 — заземлители; 2 — заземляющие проводники; 3 — заземляемое оборудование; б — прикосновение человека к корпусу при выносном заземлении и пробое фазы на корпус; в — конструкция и выравнивание потенциалов при контурном заземлении.

Заземлители контурного заземления располагаются по периметру и внутри площадки, на которой установлено заземляемое оборудование (рис. 10.4, в). Все эти заземлители электрически соединены друг с другом. При замыкании на корпус происходит стекание тока в землю и благодаря системе заземлителей, расположенных в вершинах сетки с определенным шагом, на поверхности территории площадки появляется повышенный потенциал по отношению к примыкающей территории. График распределения потенциалов можно получить, применяя принцип наложения, про суммировав потенциалы от каждого заземлителя в отдельности.

Заземлители бывают естественные и искусственные. К естественным заземлителям относятся различные технологические металлоконструкции, имеющие хороший контакт с землей; арматура железобетонных конструкций, трубопроводы (кроме трубопроводов, используемых для транспортировки горючих и взрывчатых жидкостей и газов), металлические оболочки кабелей (за исключением алюминиевых), обсадные трубы и др. Искусственные заземлители — это специально устраиваемые для заземления металлоконструкции. Для заземления в первую очередь должны использоваться имеющиеся естественные заземлители.

Материалом искусственных заземлителей служит сталь. Размеры стальных заземлителей в зависимости от места расположения приведены в табл. 10.5. Чаще

всего искусственные заземлители выполняются в виде вертикальных электродов, связанных горизонтальным электродом. Вертикальные электроды выполняются в виде стержней диаметром 10—14 мм длиной 5 м и более, реже — уголков (рис. 10.5, а). В качестве горизонтальных электродов для связи вертикальных при-

Таблица 10.5. Наименьшие размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников [11]

Наименование	Место расположения		
	в зданиях	в наруж- ных уста- новках	в земле
Круглые, диаметр, мм	5	6	6
Прямоугольные:			
сечение, мм ²	24	48	48
толщина, мм	3	4	4
Угловая сталь, толщина полок, мм	2,5	2,5	4
Стальные газопроводные трубы (некондиционные), толщина стенок, мм	2,5	2,5	2,5
Стальные тонкостенные трубы (некондиционные), толщина стенок, мм	1,5	Не допускается	

меняется сталь (сечением не менее 4×12 мм) или прутки стальные (диаметром не менее 6 мм). В качестве заземляющих проводников применяются полосовая или круглая сталь. Заземляющие проводники между собой и с заземлителями соединяются сваркой (рис. 10.5, б, в), а с корпусами заземляемого оборудования — сваркой или с помощью болтов. Присоединение заземляющей магистрали к заземлителю выполня-

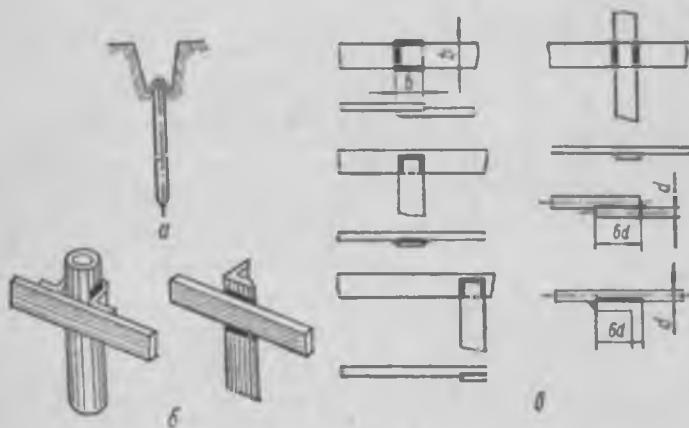


Рис. 10.5. Выполнение заземлителей:

а — вертикальный электрод в грунте; б — сварное соединение заземлителей с заземляющими проводниками; в — сварное соединение заземляющих проводников.

ется в двух местах. Заземляемые объекты к магистрали заземления присоединяются параллельно (см. рис. 10.4, а), последовательное присоединение корпусов оборудования к магистрали заземления запрещено.

Сопротивление заземляющих устройств. Общее сопротивление заземляющего устройства состоит из суммы сопротивления растеканию тока с заземлителей в землю и сопротивления заземляющих проводников. Для обеспечения безопасности величина сопротивления заземляющих устройств должна быть по возможности мень-

шей. ПУЭ ограничивают наибольшее значение сопротивления заземляющих устройств (табл. 10.6).

Расчет заземляющих устройств. Цель расчета — определение количества и размеров заземлителей и составление плана размещения заземлителей и заземляющих проводников.

Исходными данными для расчета заземляющих устройств являются напряжение заземляемой установки; режим нейтрали установки; величина тока замыкания на землю (для установок с напряжением выше 1000 В); удельное сопротивление грунта; план размещения заземляемого оборудования; характеристика естественных заземлителей (сопротивление растеканию тока, количество и размеры).

Таблица 10.6. Наибольшие допустимые значения сопротивления защитных заземлений в электротехнических установках [11]

Характеристика установок	Наибольшее допустимое сопротивление заземления, Ом
<i>Установки напряжением выше 1000 В</i>	
Защитное заземление в установках с большими токами замыкания на землю ($I_3 > 500$ А)	0,5
Защитное заземление в установках с малыми токами замыкания на землю ($I_3 \leq 500$ А):	
заземляющее устройство одновременно используется для установок напряжением до 1000 В	$125/I_3 \leq 10$
заземляющее устройство используется только для установок напряжением выше 1000 В	$250/I_3 \leq 10$
<i>Установки напряжением до 1000 В</i>	
Защитное заземление всех установок	4

Примечания: 1. Сопротивления заземляющих устройств в любое время года не должны превышать значений, указанных в таблице. 2. Расчетный ток замыкания на землю (I_3) определяется как емкостной ток однофазного замыкания на землю:

$$I_3 = \frac{U_{\text{л}} (35I_{\text{к}} + I_{\text{н}})}{350}$$

где $U_{\text{л}}$ — линейное напряжение сети, кВ; $I_{\text{н}}$, $I_{\text{к}}$ — общая длина электрически связанных воздушных и кабельных линий соответственно, км.

В настоящее время приняты два метода расчета заземляющих устройств: метод коэффициентов использования электродов, учитывающий однородную структуру грунта и используемый для расчета простых заземлителей, и метод наведенных потенциалов, учитывающий двухслойную структуру грунта и применяющийся для расчета сложных заземлителей.

Порядок расчета заземления методом коэффициента использования электродов следующий.

1. Определяется допустимое сопротивление заземляющего устройства $R_{\text{д}}$ по табл. 10.6 или по формуле

$$R_{\text{д}} \leq \frac{U_{\text{пр.доп}}}{I_3 \alpha_1} \quad (10.2)$$

где $U_{\text{пр.доп}}$ — допустимое напряжение прикосновения (может быть принято по табл. 9.4 в зависимости от времени срабатывания защиты); α_1 — коэффициент напряжения прикосновения (может быть принят по табл. 9.7, для чего вначале необходимо ориентировочно задаваться видом, формой и размером заземлителей, числом электродов и их условным расположением).

2. Определяется расчетное удельное сопротивление грунта ρ , в котором предлагается размещать электроды заземления, по данным табл. 10.7 или путем измерений. Расчетное ρ , по данным измерений, определяется с учетом климатического коэффициента:

$$\rho = \rho_{\text{изм}} \psi_1 \quad (10.3)$$

где $\rho_{\text{изм}}$ — удельное сопротивление грунта, полученное в результате измерений; ψ_1 — расчетный климатический коэффициент удельного сопротивления грунта (по табл. 10.7 ψ_1 принимается, если измерения проводились при большой влажности грунта; ψ_2 — при средней влажности и ψ_3 — при сухом грунте).

Таблица 10.7. Удельные электрические сопротивления грунтов и климатические коэффициенты

Грунт (вода)	Удельное сопротивление, Ом м			Климатический коэффициент		
	При влажности 10—12% и макс. се грунта	Возможные пределы колебаний	Рекомендуемое для расчетов	ψ_1	ψ_2	ψ_3
Торф	20	—	20	1,4	1,1	1,0
Чернозем	200	9—53	30	—	1,32	1,2
Садовая земля	40	30—60	50	—	1,3	1,2
Глина	40	8—70	60	1,6	1,3	1,2
Суглинок	100	40—150	100	2,0	1,5	1,4
Лесс	—	—	250	—	—	—
Супесок	300	150—400	300	2,0	1,5	1,4
Песок	700	400—2500	500	2,4	1,56	1,2
Гравий, щебень	—	—	2000	—	—	—
Каменный грунт	—	500—8000	4000	—	—	—
Скальный грунт	—	10^4 — 10^7	—	—	—	—
Вода морская	—	0,2—1	—	—	—	—
Вода речная	—	10—100	—	—	—	—
Вода прудовая	—	40—50	—	—	—	—
Вода грунтовая	—	20—70	—	—	—	—
Вода в ручьях	—	10—60	—	—	—	—

Примечание. Под удельным электрическим сопротивлением грунта понимается сопротивление куба грунта с ребром длиной в 1 м.

3. В случае наличия и возможности использования естественных заземлителей определяется сопротивление току растекания этих заземлителей R_e путем измерения или расчетным путем.

4. Если эквивалентное сопротивление всех имеющихся заземлителей больше допустимого сопротивления заземляющего устройства, параллельно естественным заземлителям подключаются искусственные заземлители. При наличии естественных заземлителей требуемое сопротивление искусственных заземлителей

$$R_{\text{и}} \leq \frac{R_e R_{\text{д}}}{R_e - R_{\text{д}}} \quad (10.4)$$

Если естественные заземлители не используются, требуемое сопротивление искусственных заземлителей не должно превышать допустимое сопротивление заземляющего устройства

$$R_{\text{и}} \leq R_{\text{д}} \quad (10.5)$$

5. Предварительно определяется конфигурация заземлителя (в ряд, прямоугольник и т. д.) с учетом возможности размещения его на отведенной территории.

6. Выбираются тип и размеры заземлителей — вертикальных электродов и соединительной полосы или протяженных заземлителей.

7. Определяется сопротивление растеканию тока с одного заземлителя (R_1), по соответствующим формулам табл. 9.6).

8. Определяется необходимое количество параллельно соединенных заземлителей:

$$n' = \frac{R_1}{R_n \eta_n}, \quad (10.6)$$

где η_n — коэффициент использования заземлителей, учитывающий их взаимное экранирование (выбирается ориентировочно): вертикальных стержневых или уголко-вых, расположенных в один ряд (рис. 10.6, а), расположенных по контуру

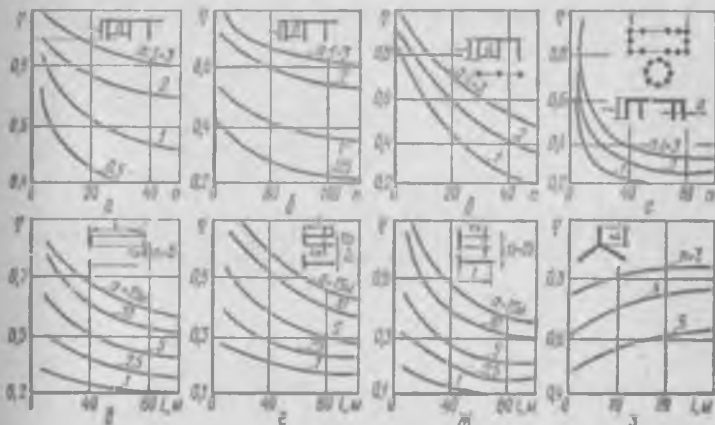


Рис. 10.6. Коэффициенты использования (экранирования) заземлителей.

(рис. 10.6, б) в зависимости от количества и отношения расстояния между заземлителями a к их длине l ; параллельных полосовых (рис. 10.6, д, е, ж) в зависимости от длины полос, их количества и расстояния между полосами (глубина заложения $t = 30-80$ см; ширина полосы $b = 2-4$ см); лучевых (рис. 10.6, з) в зависимости от длины луча и количества лучей ($t = 30-80$ см; $b = 2$ см). Полученное количество заземлителей округляется до целого числа (n) и находится фактический коэффициент использования заземлителей η_n .

9. Для связи вертикальных электродов применяются горизонтальные электроды — стальная полоса или прутки. Длина горизонтального электрода при расположении заземлителей по контуру $l = 1,05a(n-1)$; при расположении заземлителей в ряд $l = 1,05a(n-1)$.

10. Определяется сопротивление растеканию тока горизонтального электрода (R_r) по соответствующей формуле табл. 9.6.

11. Определяется сопротивление растеканию тока искусственных заземлителей

$$R_n = \frac{R_1 R_r}{R_1 \eta_r + R_r \eta_n}, \quad (10.7)$$

где η_r — коэффициент использования горизонтального электрода с учетом вертикальных электродов (рис. 10.6, а, з).

Полученное сопротивление искусственных электродов не должно превышать требуемое сопротивление ($R_n \leq R_n$).

12. При наличии естественных заземлителей определяется общее сопротивление заземлителей

$$R'_2 = \frac{R_n R_e}{R'_n + R_e}. \quad (10.8)$$

13. Сопротивление заземления состоит из суммы сопротивлений заземлителей расщеплению тока и сопротивления заземляющих проводников ($R_{\text{пр}}$):

$$R_z = R_z' + R_{\text{пр}}. \quad (10.9)$$

Сопротивления заземляющих проводников учитываются при большой протяженности проводников, когда их сопротивление сравнительно велико, а требуемое сопротивление заземляющего устройства мало, и при больших токах замыкания на землю. Со-

Таблица 10.8. Сроки, объем и нормы испытания заземляющих устройств [9, 12]

Вид испытания	Наименование испытания	Нормы испытания	Примечания
К, Т, М	Проверка состояния элементов заземляющего устройства	—	Элементы, находящиеся в грунте, осматриваются выборочно со вскрытием грунта, остальные — в пределах доступности осмотра
К, Т	Проверка наличия цепи между контуром заземления и заземляемыми элементами	Не должно быть обрывов и неудовлетворительных контактов в проводке	Проводится также при каждой перестановке оборудования
К	Проверка надежности соединений естественных и искусственных заземлителей с заземляющим устройством	—	Проводится также после каждого ремонта заземления
К, Т	Измерение сопротивления заземляющего устройства	Максимально допустимые величины сопротивлений заземляющих устройств приведены в табл. 10.6	Для подстанций проводится не реже 1 раза в 3 года, а для цеховых установок — 1 раз в год

Примечания: 1. В таблице приняты следующие обозначения; К — испытания при капитальных ремонтах оборудования; Т — испытания при текущих ремонтах оборудования; М — межремонтные испытания. 2. К, М — проводятся в сроки, установленные ответственным за электроустройство; Т — проводится не реже 1 раза в год.

противление заземления не должно превышать допустимое сопротивление $R_z \leq R_d$.

14. В сетях с большими токами замыкания на землю заземляющие устройства проверяются на термическую стойкость. Минимальная поверхность соприкосновения заземлителей с грунтом, мм²,

$$S_z \geq 0,0127 I_s \sqrt{\rho t}, \quad (10.10)$$

минимальное сечение заземляющих проводников, мм²,

$$S_{\text{п}} \geq I_s \sqrt{\frac{t}{\alpha \nu}}. \quad (10.11)$$

где ρ — удельное сопротивление грунта в наиболее сухой период, Ом · м; t — длительность замыкания на землю во время срабатывания защиты, с; α — постоянный множитель, для стали — 21, для алюминия — 74, для меди — 172; ν — допустимая температура кратковременного нагрева, для стали 400° С.

Эксплуатация и контроль заземляющих устройств. На каждое находящееся в эксплуатации заземляющее устройство составляется паспорт, включающий схему заземления, его технические данные, данные о результатах проверки его состояния, о характере проведенных ремонтов и изменениях, внесенных в устройство заземления.

Техническое состояние заземляющего устройства определяется путем внешнего осмотра видимой части устройства и осмотра с проверкой наличия цепи между заземлителем и заземляемыми элементами (отсутствие обрывов и неудовлетворительных контактов в проводниках, соединяющих установку с заземляющим устройством). Кроме того, измеряется сопротивление заземляющего устройства; проверяется надежность соединений естественных заземлителей; выборочно вскрывается грунт для осмотра элементов заземляющего устройства, находящихся в нем; измеряется удельное сопротивление грунта для опор линий электропередачи напряжением выше 1000 В.

Таблица 10.9. Техническая характеристика приборов контроля защитного заземления и зануления

Тип прибора	Назначение прибора	Пределы измерения сопротивления, Ом	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Измеритель заземления МС-08	Измерение сопротивления заземляющих устройств и удельного сопротивления грунта	0—1000 0—100 0—10	390×205×192	12
Искробезопасный измеритель сопротивления заземления М 1103	Измерение сопротивления заземляющих устройств на поверхности и в шахтах	0—10 0,5—50	177×237×212	6
Измеритель сопротивления заземления М-416	Измерение сопротивлений заземляющих устройств и активных сопротивлений; определение удельного сопротивления грунта	0,1—1000	245×140×160	3
Измеритель сопротивления заземления М-416/1	Измерение сопротивления заземления в шахтах и рудниках, опасных по пыли и газу	0,1—1000	245×140×160	3,5
Прибор для измерения сопротивления петли фаза — ноль М-417	Измерение сопротивления петли фаза — ноль без отключения напряжения	0,1—1,6	350×300×200	10
Омметр М-372	Измерение сопротивления заземляющей проводки, установление обрыва проводки, обнаружение напряжения на корпусах оборудования	До 50 (обнаружение напряжения на корпусах 60—380 В)	190×135×72	1,3

Сроки, объем и нормы испытания заземляющих устройств приведены в табл. 10.8. Надежность соединения элементов, переходные сопротивления в местах контактов, а также сопротивление заземляющих проводников измеряются омметром М-372 и другими приборами, технические характеристики которых приведены в табл. 10.9.

Сопротивление заземлителей, а также удельное сопротивление грунта измеряются, как правило, при наименьшей проводимости почвы: летом — при наибольшем просыхании или зимой — при наибольшем промерзании почвы.

Измерение сопротивления заземлителей. Для измерения сопротивления току растекания заземлителей кроме испытуемого заземлителя (R_x) требуется два дополнительных заземлителя — зонд (З) и вспомогательный заземлитель (В). Зонд служит для получения в схеме точки с нулевым потенциалом по отношению к потенциалу испытуемого заземлителя. Вспомогательный заземлитель создает цепь для измерительного тока через испытуемый. Эти заземлители располагаются на таком расстоянии от испытуемого и друг от друга, чтобы их поля растекания не накладывались (рис. 10.7).

В зависимости от местных условий и допустимой погрешности для измерения сопротивлений заземлителей могут применяться следующие схемы: схема амперметра-вольтметра, схема «трех земель» и схемы со специальными измерителями заземлений.

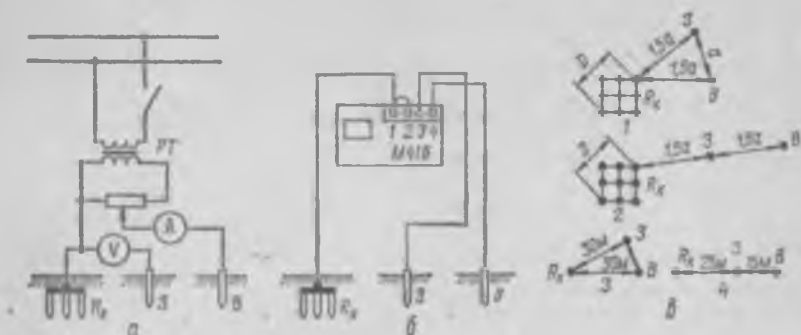


Рис. 10.7. Измерение сопротивления заземлителей:

а — по схеме амперметра-вольтметра; б — по схеме с измерителем заземлений М-416; в — схемы расположения электродов: 1 — двухлучевая схема для сложных заземлителей и одиночных горизонтальных полюсов; 2 — однолучевая; 3 — двухлучевая схема для одиночных вертикальных электродов; 4 — однолучевая ($D > 40$ м, $a > D$, $10 \text{ м} < D < 40$ м, $a > 40$ м; $D > 10$ м, $a = 20$ м).

Схема амперметра-вольтметра наиболее проста и при условии применения вольтметра с большим внутренним сопротивлением применима при испытании заземлителей с очень малым сопротивлением (порядка десятых долей ома) и при ответственных испытаниях заземлителей с сопротивлением до 1 Ом. Схема может применяться при измерениях со сравнительно большим измерительным током, т. е. в условиях, близких к реальным. Измерительная схема (рис. 10.7, а) содержит разделительный трансформатор (РТ), как правило, понижающий, амперметр и вольтметр с большим внутренним сопротивлением (электронный или электростатический). Спро-

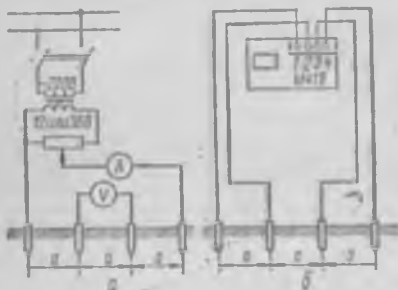


Рис. 10.8. Схемы измерения удельного сопротивления грунта методом ВЭЗ:

а — схема амперметра-вольтметра; б — схема с измерителем заземлений М-416.

тивление испытуемого заземлителя

$$R_x = \frac{U}{I}, \quad (10.12)$$

где U и I — показания вольтметра и амперметра, соответственно.

Для измерения сопротивления растеканию заземлителей применяются также измерители заземлений (табл. 10.5). Схема измерения с измерителем М-416 приведена на рис. 10.7, б.

Удельное сопротивление грунта измеряется методом пробного электрода и методом четырех электродов (вертикального электрического зондирования — ВЭЗ).

Метод пробного электрода состоит в измерении сопротивления току растекания вертикального электрода с известными геометрическими размерами, обычно вертикального стержневого или уголкового длиной 2 м и более. Сопротивление измеряется по одной из описанных выше схем. Затем на основании эмпирических формул (табл. 9.6) определяется удельное сопротивление грунта для стержневого заземли-

теля у поверхности грунта

$$\rho = \frac{2\pi R_1}{\ln \frac{4}{d}}; \quad (10.13)$$

для уголкового заземлителя у поверхности грунта

$$\rho = \frac{2\pi R_1}{\ln \frac{4,2l}{b}},$$

где R_1 — измеренное сопротивление электрода.

Метод ВЗЗ основан на измерении удельных сопротивлений грунта путем создания искусственного электрического поля. Наиболее часто применяется четырехполюсная схема Веннера. При использовании этой схемы в грунте на одинаковом расстоянии располагается четыре одинаковых электрода. Для измерений (рис. 10.8) применяется схема амперметра-вольтметра (вольтметр необходимо применять с большим внутренним сопротивлением) или измерители заземлений (МС-07, МС-08, М-1103 и М-416).

Удельное сопротивление грунта

$$\rho = 2\pi aR, \quad (10.14)$$

где a — расстояние между электродами; R — измеренное сопротивление.

10.6. ЗАНУЛЕНИЕ

Зануление — это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением (рис. 10.9).

При наличии соединения металлических нетоковедущих частей электроустановок с нулевым проводом питающей сети замыкание фазы на корпус превращается в однофазное короткое замыкание. Возникающий ток однофазного короткого замыкания должен обеспечить срабатывание устройства максимальной токовой защиты и автоматически отключить от питающей сети поврежденную установку.

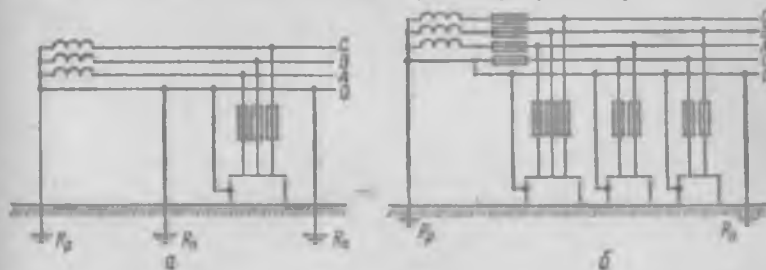


Рис. 10.9. Схемы зануления электрооборудования:

а — в сети с совмещенным нулевым проводом; б — в сети с нулевым рабочим и нулевым защитным проводами.

В соответствии с ПУЭ, зануление корпусов выполняется в тех же случаях, что и защитное заземление корпусов электрооборудования. Зануление применяется и является эффективной мерой защиты при питании электрооборудования от четырехпроводных сетей с глухозаземленной нейтралью питающего трансформатора напряжением до 1000 В (обычно 220/380 В).

Элементы схемы зануления. Схема зануления включает следующие элементы: нулевой провод питающей сети, заземление нейтрали источника питания (рабочее заземление R_p) и повторное заземление нулевого провода (R_n).

Назначение нулевого провода в схеме зануления — создание цепи с малым сопротивлением для тока при замыкании фазы на корпус и превращение этого замыкания в однофазное короткое замыкание. Различают нулевой защитный (O_n) и нулевой

рабочий (O_p) проводники (рис. 10.9, б). Нулевой защитный проводник служит для соединения зануляемых частей оборудования с глухозаземленной нейтралью источника тока, а нулевой рабочий проводник — для питания электроприемников фазным напряжением. Однако схемы с разделением нулевого провода выполняются редко, в большинстве случаев используется один нулевой проводник, одновременно выполняющий функции и рабочего, и защитного (рис. 10.9, а).

Заземление нейтрали источника питания служит для снижения напряжения относительно земли нулевого провода и соединяемых с ним корпусов оборудования при замыкании фазы на землю.

Повторное заземление нулевого провода — это заземление нулевого провода, выполненное через определенные промежутки по всей длине нулевого провода. Повторное заземление позволяет снизить напряжение нулевого провода и зануленного оборудования относительно земли при замыкании фазы на корпус как при нормальном режиме, так и при обрыве нулевого провода.

Таблица 10.10. Наибольшие допустимые сопротивления заземляющих устройств нейтралей трансформаторов и повторных заземлений нулевого провода

Напряжение сети, В	Заземление нейтрали трансформатора, Ом		Повторное заземление нулевого провода, Ом	
	эквивалентное с учетом использования естественных заземлителей и повторных заземлений нулевого провода	в том числе только искусственных заземлителей	эквивалентное сопротивление всех повторных заземлений	в том числе сопротивление каждого повторного заземления
660/380	2	15	5	15
380/220	4	30	10	30
220/127	8	60	20	60

Требования к заземлению. Согласно ПУЭ, проводники зануления должны выбираться так, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой провод возник ток короткого замыкания, превышающий не менее чем в 3 раза номинальный ток плавкой вставки ближайшего предохранителя или номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратную зависимость от тока характеристику (тепловой). При защите сети автоматическими выключателями и электромагнитными расцепителями кратность тока принимается 1,1; при отсутствии заводских данных для автоматов с номинальным током до 100 А коэффициент принимается 1,4, а для прочих — 1,25. Во взрывоопасных установках кратность тока должна быть не менее 4 при защите предохранителями, не менее 6 при защите автоматами с обратной зависимостью от тока характеристикой и аналогично предыдущему при автоматах, имеющих только электромагнитный расцепитель. Полная проводимость нулевого провода во всех случаях должна быть не менее 50% проводимости фазного провода.

Должна обеспечиваться непрерывность нулевого провода от каждого корпуса до нейтрали источника питания. Поэтому все соединения нулевого провода выполняются сварными. Нулевой провод присоединяется к корпусам электроприемников сваркой или с помощью болтов. Для обеспечения непрерывности цепи зануления запрещается установка в нулевой провод (защитный или совмещенный) выключателей и предохранителей. Допускается применение выключателей, которые одновременно с отключением нулевого провода отключают и все фазные провода.

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали трансформаторов, не должно превышать значений, приведенных в табл. 10.10. Эти сопротивления должны обеспечиваться с учетом использования естественных заземлителей, а также заземлителей повторных заземлений нулевого провода воздушной линии электропередачи напряжением до 1000 В при числе отходящих линий не менее двух. Однако при этом должны предусматриваться и искусственные заземлители с сопротивлением не более значений, приведенных в табл. 10.10.

На концах воздушной линии или ответвлений длиной более 200 м, а также на вводах в здания, электроустановки которых подлежат занулению, должны выпол-

няться повторные заземления нулевого провода. При размещении электроустановок, подлежащих занулению, вне зданий расстояние от электроустановки до ближайшего заземлителя повторного заземления нулевого провода воздушной линии электропередачи или до заземлителя нейтрали источника питания должно быть не более 100 м. Общее сопротивление заземляющих устройств всех повторных заземлений нулевого провода каждой воздушной линии электропередачи не должно превышать значений, приведенных в табл. 10.10. При этом сопротивление заземляющего устройства каждого из повторных заземлений также не должно превышать значений, приведенных в табл. 10.10.

Расчет зануления состоит из трех частей: расчета на отключающую способность; определения максимального напряжения корпуса оборудования относительно земли при замыкании фазы на корпус; расчета рабочего и повторных заземлений.

В расчет на отключающую способность входят определение величины тока однофазного короткого замыкания и проверка кратности этого тока по отношению к номинальному току устройств максимальной защиты.

Ток однофазного короткого замыкания определяется расчетным путем:

$$I_{к.з} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{\left(r_{\phi} + r_n + \frac{r_T}{3}\right)^2 + \left(x_{\phi} + x_n + \frac{x_T}{3}\right)^2}} \quad (10.15)$$

Для коротких воздушных линий при малом расстоянии между проводами (например, проводка выполнена в стальных трубах) и для кабельных линий индуктивным сопротивлением петли фазный провод — нулевой провод пренебрегают:

$$I_{к.з} = \frac{U_{\phi}}{r_{\phi} + r_n} \quad (10.16)$$

Для воздушных линий:
для проводов из стали

$$I_{к.з} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{(r_{\phi} + r_n)^2 + (x_{\phi} + x_n)^2}} \quad (10.17)$$

для проводов из цветных металлов (меди, алюминия)

$$I_{к.з} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{(r_{\phi} + r_n)^2 + x_{\phi}^2 + \frac{x_T^2}{3}}} \quad (10.18)$$

В формулах 10.15—10.18 приняты следующие обозначения: r_{ϕ} , r_n , $\frac{r_T}{3}$ — активные сопротивления фазного и нулевого проводов и обмотки трансформатора соответственно; x_{ϕ} , x_n , $\frac{x_T}{3}$ — индуктивные сопротивления фазного и нулевого проводов и обмотки трансформатора соответственно; x_n — внешнее индуктивное сопротивление петли фаза — нуль; x_{n1} — внутреннее индуктивное сопротивление петли фаза — нуль при выполнении линии стальными проводами; $\frac{x_T}{3}$ — расчетное сопротивление трансформатора (табл. 10.11, 10.12).

Активное и внешнее индуктивное сопротивление фазного и нулевого проводов, выполненных из цветных металлов, определяют исходя из их погонного сопротивления (r' и x'_n) [2] и длины (l):

$$r = r' l; \quad x_n = x'_n l. \quad (10.19)$$

Кроме того, активное сопротивление петли фаза — нуль, выполненной из цветных металлов,

$$r = \Sigma r_l \frac{l_l}{S_l}, \quad (10.20)$$

где ρ_l — удельное сопротивление материала провода (для меди $0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, для алюминия $0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, для стали $0,1 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$); l_l — длина участка провода из одного материала и одного сечения; S_l — площадь поперечного сечения провода.

Внешнее индуктивное сопротивление петли фаза — нуль ($\text{Ом}/\text{км}$)

$$x_b = 10,126 \ln \frac{2D}{d}, \quad (10.21)$$

где D и d — расстояние между проводами и диаметр провода соответственно.

Таблица 10.11. Расчетные сопротивления масляных трансформаторов по ГОСТ 11920—73 и 12022—76 при вторичном напряжении 400/230 В

Мощность трансформатора, кВА	Первичное напряжение, кВ	Схема соединения обмоток	Расчетное сопротивление $\frac{r_T}{3}$, Ом	Мощность трансформатора, кВА	Первичное напряжение, кВ	Схема соединения обмоток	Расчетное сопротивление $\frac{r_T}{3}$, Ом
25	6—10	Y/Y_n	1,037	250	6—10 20—35	Y/Y_n	0,104
		$\Delta/Y_n Y/Z_n$	0,302			$\Delta/Y_n Y/Z_n$	0,102
40	6—10	Y/Y_n	0,649	400	6—10 20—35	Y/Y_n	0,065
		$\Delta/Y_n Y/Z_n$	0,187			$\Delta/Y_n Y/Z_n$	0,064
63	6—10 20—35	Y/Y_n	0,412	630	6—10 20—35	Y/Y_n	0,043
		$\Delta/Y_n Y/Z_n$	0,379			$\Delta/Y_n Y/Z_n$	0,040
100	6—10 20—35	Y/Y_n	0,259	1000	6—10 20—35	Y/Y_n	0,027
		$\Delta/Y_n Y/Z_n$	0,254			$\Delta/Y_n Y/Z_n$	0,026
160	6—10 20—35	Y/Y_n	0,162	1600	6—10 20—35	Y/Y_n	0,018
		$\Delta/Y_n Y/Z_n$	0,159			$\Delta/Y_n Y/Z_n$	0,017
	6—10 20—35	Y/Y_n	0,047		6—10 20—35	Y/Y_n	0,006
		$\Delta/Y_n Y/Z_n$	0,068			$\Delta/Y_n Y/Z_n$	0,007

В приближенных расчетах x_b можно принимать равным $0,3 \text{ Ом}/\text{км}$ для внутренней проводки и $0,6 \text{ Ом}/\text{км}$ — для воздушной линии (при расстояниях между проводами, принятых по нормам).

Кратность тока однофазного короткого замыкания по отношению к номинальному току устройств максимальной токовой защиты не должна быть меньше предельно допустимой:

$$K_T = \frac{I_{к.з}}{I_{ном}} \geq K_{T, \text{доп}} \quad (10.22)$$

Если K_T получается меньше допустимого значения, необходимо увеличить сечение проводов и, в первую очередь, нулевого провода.

Выполнение системы зануления, рассчитанной только на отключающую способность, не гарантирует необходимую безопасность, так как при несрабатывании защиты на корпусах оборудования появится напряжение относительно земли:

$$U_n = I_{\Sigma} z_n, \quad (10.23)$$

где z_n — полное сопротивление нулевого провода, для кабельных линий $z_n = r_n$, для воздушных линий при использовании в качестве нулевого провода медных или алюминиевых проводов $z_n = \sqrt{r_n^2 + x_{n,n}^2}$; при использовании в качестве нулевого провода стальных проводов $z_n = \sqrt{r_n^2 + (x_{n,n} + x_{a,n})^2}$; $x_{a,n}$ и $x_{n,n}$ — внешнее и внутреннее реактивные сопротивления нулевого провода соответственно.

Напряжение на корпусе будет максимальным при токе, равном току короткого замыкания $I_{к.з.}$:

$$U_{н.макс} = I_{к.з.} z_n. \quad (10.24)$$

Это напряжение на корпусе не должно превышать допустимое напряжение прикосновения (42 В, а в особо неблагоприятных условиях 12 В):

$$U_{н.макс} \leq U_{пр.доп}. \quad (10.25)$$

Для снижения напряжения на корпусе необходимо уменьшать сопротивление нулевого провода (увеличив его сечение или проложив параллельно несколько проводников) или применять повторное заземление нулевого провода. При наличии повторного заземления нулевого провода напряжения относительно земли на корпусе оборудования

$$U_n = I_{к.з.} z_n \frac{R_{\Sigma}}{R_p + R_{\Sigma}} \quad (10.26)$$

при наличии нескольких повторных заземлений нулевого провода

$$U_n = I_{к.з.} z_n \frac{R_{\Sigma}}{R_p + R_{\Sigma}}, \quad (10.27)$$

где $R_{\Sigma} = 1 / \sum \frac{1}{R_{п.л}}$ — эквивалентное сопротивление повторных заземлений в данной линии; $R_{п.л}$ — сопротивление отдельного повторного заземления.

Эквивалентное сопротивление повторных заземлений в линии, обеспечивающее напряжение корпуса относительно земли не больше допустимой величины

$$R_{\Sigma} \leq \frac{U_{пр.доп}}{I_{к.з.} z_n - U_{пр.доп}} R_0. \quad (10.28)$$

Расчет рабочего и повторных заземлений выполняется аналогично расчету защитных заземлений электроустановок.

Контроль зануления проводится после монтажа электроустановки (приемо-сдаточные испытания), после капитального ремонта или реконструкции и 1 раз в 5 лет в процессе эксплуатации. Контроль включает внешний осмотр цепи, измерение сопротивления петли фазный — нулевой провод и измерение сопротивлений рабочего и повторных заземлений.

При внешнем осмотре проверяются элементы цепи, доступные осмотру. Между корпусами оборудования и нулевым проводом питающей сети должна быть надежная цепь, не должно быть обрывов и неудовлетворительных контактов.

Таблица 10.12. Расчетные сопротивления сухих трансформаторов при вторичном напряжении 400/230 В [8; 10]

Мощность трансформатора, кВА	Схема соединения обмоток	Расчетное сопротивление, $z_T/3$, Ом
160	Δ/Y_n	0,055
180	Y/Y_n	0,151
250	Δ/Y_n	0,354
320	Y/Y_n	0,0847
400	Δ/Y_n	0,022
560	Y/Y_n	0,0434
630	Δ/Y_n	0,014
750	Y/Y_n	0,0364
1000	Δ/Y_n	0,009

Примечания к табл. 10.11 и 10.12: 1. При выборе трансформаторов следует учитывать, что у трансформаторов с соединением обмоток Δ/Y_n и Y/Z_n сопротивление ниже, чем у трансформаторов с соединением обмоток Y/Y_n . 2. При использовании трансформаторов со вторичным напряжением (U_ϕ), отличным от 230 В, приведенные расчетные сопротивления необходимо умножать на коэффициент $(U_\phi/230)^2$.

Сопротивление рабочего и повторных заземлений нулевого провода измеряется аналогично измерению сопротивлений защитных заземлений.

Измерение сопротивления петли фазный — нулевой проводник имеет целью определить величину полного сопротивления петли и последующего расчета величины тока однофазного короткого замыкания для сравнения с номинальным током устройства максимальной токовой защиты. Измерения должны проводиться на наиболее мощных электроприемниках, наиболее удаленных от источника питания и не менее чем на 10% от их общего количества.

Точные экспериментальные значения сопротивления петли фаза—ноль и величин токов однофазного короткого замыкания могут быть получены путем имитации таких замыканий в реальных условиях с осциллографированием процесса. Однако в условиях производства такой метод малоприменим, так как может вызвать отключение испытуемого электроприемника, отключение всей сети, сгорание плавких вставок

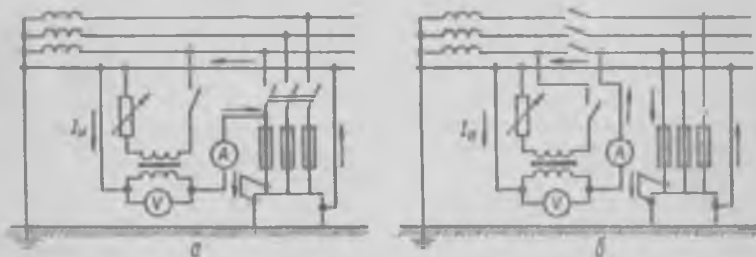


Рис. 10.10. Схемы измерения сопротивления петли фаза — нуль:
а — с отключением от сети испытуемого электроприемника; б — с отключением всей сети

предохранителей, посадку напряжения и другие нежелательные явления. Метод не всегда безопасен, поскольку может обусловить значительное напряжение относительно земли корпусов электроприемников, подключенных к одному нулевому проводу, что особенно опасно, если отключение испытуемой электроустановки не произойдет вовсе или затянется. Поэтому в практике находят применение косвенные методы с отключением и без отключения напряжения при относительно малых токах — 20—40 А. Могут использоваться измерители заземления (МС-08, М-416), омметр М-372, мосты сопротивления и другие приборы, однако результаты измерений этими приборами весьма приближены, так как в них учитывается только активная составляющая сопротивления петли фаза — нуль, измерения проводятся при малых токах. При измерениях с отключением напряжения применяется схема амперметра — вольтметра (рис. 10.10).

Схема, приведенная на рис. 10.10, а позволяет измерять сопротивление петли фаза — нуль с отключением от сети испытуемого электроприемника. Испытуемое оборудование отключается от питающей сети, и собирается измерительная схема, состоящая из однофазного понижающего трансформатора на напряжение до 42 В, реостата, вольтметра и амперметра. Реостатом устанавливается измерительный ток, снимаются показания амперметра и вольтметра и определяется сопротивление петли фаза — нуль (Z_n). Эта схема не учитывает сопротивление силового трансформатора и фазного провода от трансформатора до рубильника испытуемой электроустановки, зато учитывает сопротивление проводников измерительной сети.

Схема измерения с отключением всей сети (рис. 10.10, б) учитывает сопротивление фазного и нулевого проводов на участке от питающего трансформатора до испытуемой электроустановки, а также сопротивление соединительных проводов. Эта схема может применяться при значительном удалении испытуемой электроустановки от силового трансформатора. Электрическая схема в этом случае аналогична схеме с отключением от сети испытуемого электроприемника. Только при отключении всей сети выводы вторичной обмотки понижающего трансформатора подключаются к испытуемой сети непосредственно у силового трансформатора.

При использовании этих схем ток однофазного короткого замыкания определяется по приближенной формуле с учетом сопротивления трансформатора (погреш-

ность в сторону увеличения общего сопротивления цепи, т. е. в сторону запаса по току, появляется за счет арифметического сложения сопротивления трансформатора и петли фаза — нуль):

$$I_{\text{сз}} = \frac{U_{\text{ф}}}{x_{\Sigma} + \frac{x_{\text{т}}}{3}} \quad (10.29)$$

Методы измерения сопротивления цепи без отключения напряжения основываются на теореме об активном двухполюснике (теореме Тевенена). Разработаны несколько схем таких измерений [8].

Для измерения сопротивления петли фаза — нуль без отключения источника питания выпускается прибор М-417 (табл. 10.9). Прибор обеспечивает автоматическое отключение измерительной цепи от сети за 0,3 с, срабатывание сигнализации при появлении на корпусе оборудования напряжения выше 36 В (если сопротивление петли фаза — нуль превышает 2 Ом) и срабатывание сигнализации при обрыве цепи зануления. Прибору присущи существенные недостатки: не учитывается индуктивное сопротивление петли; градуировка шкалы на средний (ожидаемый) угол сдвига фаз обуславливает погрешность измерений $\pm 17\%$; прибор не пригоден для массовых измерений (требует подключения к каждому электроприемнику); эксплуатационные колебания напряжения обуславливают дополнительные погрешности. Эти недостатки ограничивают область применения прибора.

10.7. ЗАЩИТНОЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ

Защитное отключение (ЗО) — это быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения человека электрическим током.

Для обеспечения безопасности устройства защитного отключения [УЗО] должны осуществлять отдельно или в совокупности следующие функции: защиту при глухих или неполных замыканиях на землю или корпус; защиту при появлении опасных токов утечки; защиту при переходе высшего напряжения на сторону низшего; предварительный контроль сопротивления изоляции перед каждым включением электроустановки; автоматический контроль цепи защитного заземления или зануления;

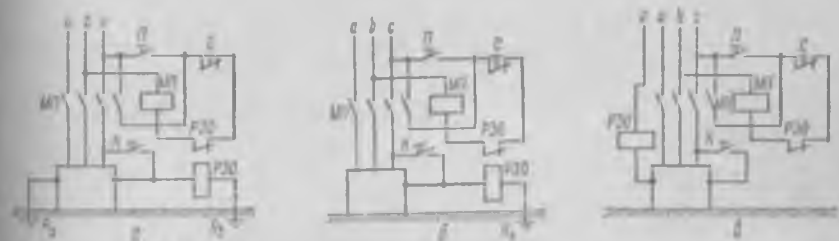


Рис. 10.11. Схемы устройств защитного отключения:

а — на напряжение корпуса относительно земли; б — на токе замыкания на землю; в — то же с включением катушки РЗО в расщелку провода зануления

автоматический контроль или периодический ручной контроль исправности УЗО.

К УЗО предъявляются следующие требования: высокая чувствительность; малое время отключения (ПУЭ требуют, чтобы это время не превышало 0,2 с); селективность работы; самоконтроль и надежность.

В основу классификации схем защитного отключения положена входная величина, на изменение которой реагируют чувствительные элементы УЗО. Выделяют следующие классы схем: на напряжении корпуса электроустановки относительно земли, на токе замыкания на землю, на напряжении нулевой последовательности, на напряжении фазы относительно земли, на токе нулевой последовательности, вентильные, на постоянном и переменном оперативном токе, комбинированные. Наиболее простыми являются схемы на напряжении корпуса электроустановки относительно земли и на токе замыкания на землю. Комбинированные схемы УЗО имеют несколько чувствительных элементов и, соответственно, реагируют на изменение нескольких входных величин.

Схемы на напряжении корпуса электроустановки относительно земли (рис. 10.11, а) в качестве чувствительного элемента содержат реле напряжения (РЗО), включаемое между корпусом защищаемой электроустановки и вспомогательным заземлителем. Размыкающий контакт РЗО включается в цепь питания катушки магнитного пускателя (МП). Схема работает следующим образом: при замыкании на корпус последний оказывается под напряжением относительно земли. Если величина этого напряжения превышает уставку реле, то реле срабатывает и размыкает замыкающий контакт в цепи управления. При этом катушка МП обесточивается и отключает электроустановку. Исправность схемы проверяется вручную — путем имитации замыкания фазы на корпус нажатием кнопки контроля (К). РЗО может подключаться к корпусу электроустановки как непосредственно, так и через трансформатор напряжения или на выход усилителя.

Схемы ЗО на напряжении корпуса относительно земли отличаются простотой устройства, к недостаткам можно отнести необходимость наличия вспомогательного заземлителя, что снижает надежность и затрудняет эксплуатацию; непостоянство уставки из-за изменения сопротивления вспомогательного заземлителя; неселективность при централизованном заземлении корпусов (отключаются и неповрежденные электроустановки вследствие появления напряжения относительно земли через общие заземляющие проводники); отсутствие самоконтроля. Область применения УЗО на напряжении корпуса относительно земли ограничена передвижными электроустановками с индивидуальным заземлением при любых напряжениях питания независимо от режима нейтрали сети.

Схемы на токе замыкания на землю (рис. 10.11, б, в) в качестве чувствительного элемента содержат токовое реле (РЗО), включаемое между корпусом защищаемой электроустановки и заземлителем или нулевым проводом питающей сети. Схема по принципу действия аналогична схеме на напряжении корпуса относительно земли. Катушка РЗО может подключаться как непосредственно, так и через трансформатор тока или на выход усилителя. В связи с использованием в схеме токового реле с малым сопротивлением катушки отпадает необходимость во вспомогательном заземлителе. РЗО срабатывает в том случае, когда при замыкании на корпус ток замыкания на землю превышает уставку.

Достоинствами схем на токе замыкания на землю являются простота и отсутствие вспомогательного заземлителя (как у схем на напряжении корпуса относительно земли), а недостатками — отсутствие самоконтроля (тем более, что при обрыве цепи реле нарушается непрерывность цепи заземления или зануления) и невозможность включения реле в рассечку провода заземления при непосредственной связи корпуса с заземленными металлоконструкциями.

Область применения схем та же, что и схем ЗО на напряжении корпуса относительно земли.

Устройства защитного отключения могут применяться как основная и единственная мера защиты, если они обеспечивают безопасность при прикосновении к фазному проводу и осуществляют самоконтроль. В этом случае защитное заземление и зануление не требуется.

ЗО может применяться как основная мера защиты совместно с защитным заземлением или занулением. При этом УЗО должно обеспечивать безопасность при прикосновении к оказавшемуся под напряжением корпусу оборудования, осуществлять автоматический контроль непрерывности цепей защитного заземления и зануления, а также самоконтроль. Требования к защитному заземлению или занулению в этом случае могут быть значительно снижены.

ЗО может также применяться в дополнение к другим мерам защиты (защитному заземлению или занулению). УЗО в этом случае должно обеспечивать безопасность при прикосновении к заземленным (зануленным) частям оборудования. Однако основные меры защиты (защитное заземление или зануление) должны обеспечивать безопасность и без защитного отключения.

ЭЛЕКТРОЗАЩИТНЫЕ СРЕДСТВА. БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

11.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРОЗАЩИТНЫХ СРЕДСТВ

Электрозащитные средства — это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги и электромагнитного поля [ГОСТ 12.1.009—76].

По назначению электрозащитные средства (ЭЗС) разделяются на изолирующие, ограждающие и вспомогательные.

Изолирующие ЭЗС служат для изоляции человека от частей электрооборудования под напряжением, а также от земли. Они разделяются на основные и дополнительные.

Изоляция основных изолирующих ЭЗС надежно выдерживает рабочие напряжения электроустановок, и с их помощью разрешается касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением. К основным изолирующим ЭЗС в электроустановках напряжением выше 1000 В относятся оперативные и измерительные штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, изолирующие лестницы и площадки, изолирующие тяги, щитовые габаритники, захваты для переноски гирлянд изоляторов, изолирующие звенья телескопических вышек. К основным изолирующим ЭЗС в электроустановках напряжением до 1000 В относятся оперативные штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, диэлектрические перчатки, инструмент с изолирующими ручками, указатели напряжения.

Дополнительные изолирующие ЭЗС сами при данном напряжении не могут обеспечить безопасность персонала от поражения электрическим током и применяются в дополнение к основным изолирующим ЭЗС. В электроустановках напряжением выше 1000 В к дополнительным изолирующим ЭЗС относятся диэлектрические резиновые перчатки, диэлектрические боты, резиновые диэлектрические коври и изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах. В электроустановках напряжением до 1000 В дополнительными изолирующими ЭЗС являются диэлектрические галоши, резиновые диэлектрические коври и изолирующие подставки.

Ограждающие ЭЗС применяют для временного ограждения токоведущих частей находящихся под напряжением электроустановок. К ним относятся переносные ограждения (ширмы, барьеры, щиты, клетки), изолирующие накладки и колпаки, переносные заземления, предупредительные переносные плакаты.

Вспомогательные защитные средства служат для защиты персонала от падения с высоты (предохранительные пояса и страхующие канаты), для безопасного подъема на высоту (лестницы, когти) и для защиты от тепловых, световых, химических, механических и других воздействий (спецодежда, рукавицы, противогазы, защитные очки и др.).

Штанги изолирующие (табл. 11.1) состоят из трех частей: рабочей части, изолирующей части и рукоятки. Изолирующая часть является основной частью штанги — она обеспечивает изоляцию человека от токоведущих частей и изготавливается из изоляционных материалов. Продолжением изолирующей части служит рукоятка, предназначенная для удержания штанги руками. Рукоятка отделяется от изолирующей части упорным кольцом.

Рабочая часть (верхняя часть штанги) обуславливает ее назначение. По назначению штанги подразделяются на оперативные, ремонтные и измерительные. В большинстве случаев выпускаются универсальные штанги, рабочие части которых позволяют выполнять различные виды работ.

Клещи изолирующие (табл. 11.2) являются основными изолирующими ЭЗС в установках напряжением до 35 кВ включительно. Конструктивно они имеют три основные части: рабочую (губки), изолирующую и рукоятку.

Клещи электроизмерительные (табл. 11.3) служат для измерения тока в проводнике и потребляемой мощности без разрыва цепи. Они являются основным изолирующим ЭЗС в электроустановках напряжением до 10 кВ включительно. Для измерений

Таблица 11.1. Штанги изолирующие [14]

Назначение и тип штанги	Назначение штанги	Вид рабочей части	Номинальное значение, кВ	Технические данные		
				Общая длина, мм	Длина рабочей части, мм	Длина рукоятки, мм
Штанга оперативная ШЮ-10У4 ШЮ-35У4	Управление разъединителями, проверка напряжения в комплекте с указателем напряжения	Палка, отверстие с резьбой	10	1213	777	400
	Регулирование искрового промежутка и снятие трубчатых разрядников	Головка с заточкой	35	1813	1177	600
Штанга оперативная универсальная ШЮ-15 ШЮ-35 ШЮ-110 ШЮ-220	Управление разъединителями, проверка напряжения в комплекте с указателем напряжения, замена трубчатых предохранителей, снятие набросов	Головка с раздвижной губками, палка	15	1715	905	495
	Управление разъединителями, проверка напряжения в комплекте с указателем напряжения, замена трубчатых предохранителей и другие работы	То же	35	2420	1665	695
Штанга оперативная универсальная ШЮ-15 ШЮ-35 ШЮ-110 ШЮ-220	Управление разъединителями, проверка напряжения в комплекте с указателем напряжения, замена трубчатых предохранителей и другие работы	То же	110	2920	1945	810
	Контроль подвесных и опорных изоляторов, снятие набросов	Измерительный прибор со штангой, вышка для снятия набросов	220	4224	3250	810
Штанга универсальная измерительная ШИ-35У4 ШИ-110У4 ШИ-220У4	Контроль подвесных и опорных изоляторов, снятие набросов	Измерительный прибор со штангой, вышка для снятия набросов	15	1600	945	500
	Контроль подвесных и опорных изоляторов, снятие набросов	Измерительный прибор со штангой, вышка для снятия набросов	35	1860	1160	500
Штанга измерительная универсальная ШИУ-500	Контроль изоляторов и контактов	Набор стальных приспособлений для контроля изоляторов и контактов, индикация напряжения, снятие набросов	110	2710	1640	800
	Контроль изоляторов и контактов	Набор стальных приспособлений для контроля изоляторов и контактов, индикация напряжения, снятие набросов	220	3890	2919	800
Штанга измерительная универсальная ШИУ-500	Контроль изоляторов и контактов	Набор стальных приспособлений для контроля изоляторов и контактов, индикация напряжения, снятие набросов	35	2830	1799	670
	Контроль изоляторов и контактов	Набор стальных приспособлений для контроля изоляторов и контактов, индикация напряжения, снятие набросов	110	2830	1799	670
Штанга измерительная универсальная ШИУ-500	Контроль изоляторов и контактов	Набор стальных приспособлений для контроля изоляторов и контактов, индикация напряжения, снятие набросов	220	3580	2675	670
	Контроль изоляторов и контактов	Набор стальных приспособлений для контроля изоляторов и контактов, индикация напряжения, снятие набросов	330	5274	—	1000
	Контроль изоляторов и контактов	Набор стальных приспособлений для контроля изоляторов и контактов, индикация напряжения, снятие набросов	550	5372	—	—

Примечание. Штанги универсальные ШЮ-15, ШЮ-35, ШЮ-110, ШЮ-220 могут применяться при температуре окружающей среды от -50 до +30 °С.

исследуемый проводник охватывается разъемным магнитопроводом и служит первичной обмоткой трансформатора тока. Напряжение измеряется с помощью щупов.

Указатели напряжения выше 1000 В (табл. 11.4) предназначены для проверки отсутствия или наличия напряжения без измерения его величины. Принцип действия указателей основан на свечении неоновой лампы при протекании через ее емкостного тока. Конструктивно указатели представляют собой изолирующую штангу с рабочей частью в виде устройства индикации. Для работы щупом, расположенным в верхней части, необходимо прикоснуться к фазному проводнику.

Указатели напряжения до 1000 В (табл. 11.5) имеют назначение, аналогичное указателям выше 1000 В. По конструкции указатели делятся на однополюсные и двухполюсные. Однополюсные указатели предназначены для определения наличия или

Таблица 11.2. Клещи изолирующие [14]

Наименование и тип клещей	Назначение клещей	Номинальное напряжение электроустановки, кВ	Общая длина клещей, мм	Длина изолирующей части, мм	Масса, кг
Клещи изолирующие К-1000	Замена предохранителей типов ПР-1, ПР-2 на токи 15—60 А	1,0	210	110	0,1
Клещи изолирующие 6-35 кВ	Замена предохранителей типов ПКТ-6, ПКТ-10, ПК-6 на токи до 300 А; ПК-10 на токи до 200 А (клещи до 10 кВ); ПК-35 на токи до 400 А (клещи до 35 кВ) Установка и снятие изолирующих ограждений, накладок и другие работы	6—10 35	950 1250	490 750	2,5 3,0

Примечание. Указанные клещи могут применяться при относительной влажности воздуха не выше 80% и в диапазоне температур: К-1000 — от —35 до +50° С, 6-35 кВ — от —50 до +50° С.

отсутствия напряжения между токоведущей частью и землей. Они требуют прикосновения только к токоведущей части. Однополюсные указатели выполняются в виде авторучек или отверток. Двухполюсные указатели напряжения требуют прикосновения к двум частям электроустановки, между которыми определяется наличие или отсутствие напряжения. Эти указатели имеют два щупа, соединенные проводником. Принцип действия двухполюсных указателей основан на свечении неоновой лампы при протекании через нее активного тока. Индикатор напряжения ИН-92 имеет встроенный вольтметр, а пробник напряжения — линейный газоразрядный индикатор, позволяющие измерять величину напряжения.

Резиновые диэлектрические защитные средства (табл. 11.6) включают диэлектрические резиновые перчатки, диэлектрические галоши, диэлектрические боты и резиновые диэлектрические ковры. Диэлектрические перчатки служат для защиты человека от поражения электрическим током при прикосновении к частям под напряжением до 1000 В и в качестве дополнительного изолирующего ЭЗС при работе с основными изолирующими ЭЗС в установках напряжением выше 1000 В. Диэлектрические боты и галоши служат для изоляции человека от земли при работе с основными изолирующими ЭЗС на токоведущих частях под напряжением и для защиты от напряжения шага. Диэлектрические ковры являются изолирующим основанием. Они укладываются на полу сухих, закрытых электротехнических помещений и производственных цехов, где выполняются операции с электрическими приборами и аппаратами.

Изолирующие подставки применяются в качестве изолирующего основания в электроустановках всех напряжений. Они укладываются перед пусковыми устройствами электроустановок, перед приводами управления коммутационных аппаратов и т. д. Изолирующая подставка представляет собой деревянный решетчатый настил, укрепленный на фарфоровых или пластмассовых изоляторах. Сечение планок принимается 3 × 3 или 4 × 4 см, резе 3 × 4 см, расстояние между план-

Таблица 11.3. Клещи электронизмерительные [14]

Наименование и тип клещей	Назначение клещей	Номинальное напряжение электроустановки, В	Пределы измерения			Габаритные размеры мм	Масса, кг
			по току, А	по напряжению, В	по мощности, кВт		
Клещи электронизмерительные типа Ц 90	Измерение тока без разрыва цепи в сетях переменного тока промышленной частоты	До 10 000	До 600 с пределами 15, 30, 75, 300, 600	—	—	772×315×165	2,7
Клещи электронизмерительные типа Ц 91	Измерение тока (без разрыва цепи) и напряжения в сетях переменного тока промышленной частоты	До 650	До 500 с пределами 10, 25, 100, 250, 500	0—300 0—600	—	238×94×36	0,6
Клещи электронизмерительные типа Д 90	Измерение мощности без разрыва цепи в сетях переменного тока промышленной частоты	До 380	—	—	25—50—75 (при напряжении 220 В) 50—100—150 (при напряжении 380 В)	239×94×41	0,6

Примечания: 1. Электронизмерительные клещи Ц 90 имеют размер изолирующей части 380 мм, рукоятки 150 мм. 2. Электронизмерительные клещи применяются при температуре воздуха от -30°C до $+40^{\circ}\text{C}$ с относительной влажностью не выше 90%.

Таблица 11.4. Указатели напряжения выше 1000 В [14]

Наименование и тип указателя	Назначение указателя	Номинальное напряжение электроустановки, кВ	Порог зажигания, В, не выше	Габаритные размеры, мм		Масса, кг
				в раскрытом виде	в свернутом виде	
Указатель высокого напряжения УВН-10 УВН-80М	Проверка наличия или отсутствия напряжения в электроустановках 2—10 кВ переменного тока промышленной частоты	2—10	550	Ø45×715	Ø45×390	0,46
		2—10	550	Ø45×745	Ø45×395	0,35
Указатель высокого напряжения УВН-90	Проверка наличия или отсутствия напряжения в электроустановках 35—110 кВ переменного тока промышленной частоты	35—110	9000	Ø67×2000	Ø67×1015	1,2
Указатель высокого напряжения УВН-35-220	Проверка наличия или отсутствия напряжения в электроустановках 35—220 кВ переменного тока промышленной частоты	35—220	9000	235×70×60		0,4

Примечания: 1. Указатели напряжения УВН-10 и УВН-80М применяются при температуре от -40 до $+50^{\circ}\text{C}$ с относительной влажностью не выше 80%; УВН-90 — при температуре от -40 до $+50^{\circ}\text{C}$ с относительной влажностью не выше 60%; УВН-35-220 — при температуре от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$ с относительной влажностью не выше 80%.

2. Указатели УВН-10 и УВН-80М в комплекте с изолирующей штангой на соответствующее напряжение могут быть применены в электроустановках 35—220 В.

3. Указатель УВН-90 при раздвинутой штанге применяется на напряжение 110 кВ, а при сдвинутой — на 35 кВ.

4. Указатель УВН-35-220 применяется в комплекте с изолирующей штангой на соответствующее напряжение.

Таблица 11.5. Указатели напряжения до 1000 В [14]

Наименование и тип указателя	Номинальное напряжение, В		Напряжение зажигания, В	Габаритные размеры, мм	Длина соединительного провода, мм	Масса, кг
	переменное	постоянное				
Указатель низкого напряжения						
УНН-1	127—500		120	Ø15×141		0,04
УНН-1Ш	127—500	127—500	120	Ø25×142	850	0,11
УНН-1М	127—660		90	Ø20×118		0,1
Указатель низкого напряжения УНН-10	127—500	127—500	90	Ø25×630	500	0,08
Указатель низкого напряжения						
ПИН-90	65—750	65—750	50	Ø25×880	640	0,1
МИН-1	127—500	127—500	90	Ø25×880	640	0,2
Индикатор напряжения — отвертка						
типа ИН-90	127—380		90	Ø19×126		0,025
типа ИН-91	127—380		90	Ø19×128		0,03
Индикатор напряжения стрелочный						
ИН-92	10—100 100—700	10—250	—	150×50×20	—	0,3
Пробник напряжения	90—500		90	Ø30×961	600	0,2

Примечания: 1. Указатели напряжения УНН-1, УНН-1М и индикаторы напряжения — отвертки однополюсные, остальные двухполюсные.

2. Указатели напряжения типа УНН-1, УНН-1Ш, УНН-1М, УНН-10, ПИН-90, МИН-1 и индикаторы напряжения — отвертки, предназначены для проверки наличия или отсутствия напряжения. Индикатор напряжения ИН-92 и пробник напряжения предназначены для проверки наличия или отсутствия напряжения и измерения величины этого напряжения.

3. Указатели напряжения УНН-1, УНН-1Ш, УНН-1М, МИН-1, ИН-90, ИН-91, ИН-92 применяются при температуре воздуха от -40 до $+50^{\circ}\text{C}$ с относительной влажностью до 80%; УНН-10 — при температуре от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$ с относительной влажностью до 80%; ПИН-90 — при температуре от -40 до $+50^{\circ}\text{C}$ с относительной влажностью до 98%; пробник напряжения при температуре от 0 до $+40^{\circ}\text{C}$ с относительной влажностью воздуха до 98%.

ками — не более 3 см, материал — бук, береза, сосна. Части настила соединяются путем врезки или с помощью деревянных шпилек или клея. Наименьшие размеры настила должны быть не менее 50×50 см [12], а наибольшие — не более 100×150 см, чтобы подставка не была излишне громоздкой. Расстояние от нижней поверхности настила до пола должно быть не менее 5 см в электроустановках напряжением до 1000 В и 7 см — выше 1000 В.

Слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками предназначен для работы под напряжением в электроустановках напряжением до 1000 В. Рукоятки инструмента и стержни отверток покрыты слоем полиэтилена. Инструмент применяется при температуре воздуха от -40 до $+40^{\circ}\text{C}$ с относительной влажностью не выше 80%. В состав комплекта входят гаечный разводной ключ КР-30; трещоточ-

ный ключ с пятью сменными головками; комбинированные пассатижи; комбинированные плоскогубцы 200 мм; боковые кусачки 150 мм; острогубцы 200 мм, отвертки 175 и 200 мм, монтерский нож с чехлом. Размеры сумки с инструментом в свернутом виде 380 × 200 мм, масса 5,42 кг.

Заземления переносные применяются для соединения накоротко между собой и заземления всех фаз отключенного участка электроустановки. Конструктивно переносные заземления состоят из одного или трех (соответственно однофазное или трехфазное) кусков медного голого гибкого провода соответствующего сечения, заканчивающихся фазными зажимами и заземляющей струбиной, а также изолирующих штанг.

Проводники переносного заземления должны иметь сечения, исключающие возможность их чрезмерного нагревания или перегорания при протекании токов короткого замыкания. Правила [12] рекомендуют следующую формулу для подсчета площади сечения, мм², проводников заземления:

$$S = \frac{I_{\Sigma} \sqrt{t_{\Sigma}}}{272}, \quad (11.1)$$

где I_{Σ} — установившийся ток короткого замыкания, А; t_{Σ} — фиктивное время протекания установившегося тока короткого замыкания, с.

Таблица 11.6. Резиновые диэлектрические защитные средства [14]

Наименование	Номинальное напряжение электроустановки, В	Диапазон температур °С	Размеры
Перчатки диэлектрические со швом	Все напряжения	от —40 до +40	Длина 350 мм, ширина у ладони 135 мм, толщина 1,1—1,25 мм
бесшовные	Все напряжения	от —40 до +40	Длина 350—360 мм, толщина 0,7—1,2 мм
Галоши диэлектрические	До 1000	от —30 до +50	2—14
Ковер резиновый диэлектрический	Все напряжения	от —15 до +40	Длина 750—8000 мм, ширина 750—1200 мм, толщина 6 ± 1 мм
Боты диэлектрические	Все напряжения	от —40 до +50	9—16, по заказу 8 и 17

Независимо от результатов расчета, площадь сечения проводников переносного заземления должна приниматься не более площади эквивалентного сечения закорачиваемых токоведущих частей, но не менее 25 мм² для установок напряжением выше 1 кВ и 16 мм² — до 1 кВ.

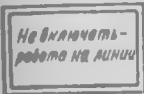
К электрозащитным средствам относятся также предупредительные переносные плакаты, условия применения и место установки которых приведены в табл. 11.7.

11.2. ПРАВИЛА ПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗОЛИРУЮЩИМИ ЭЛЕКТРОЗАЩИТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Операции с *изолирующей штангой* разрешается производить только квалифицированному специально обученному персоналу. В большинстве случаев при работе со штангой необходимо присутствие второго работника, который контролирует действия оператора и может оказать ему помощь. Штанги должны применяться в электроустановках с номинальным напряжением не выше того, для которого они предназначены, и при допустимых параметрах окружающего воздуха. Поверхность штанги должна быть чистой и сухой. Запрещается пользоваться штангами с неисправными деталями, ослабленным креплением и при истекшем сроке электрического испытания. Работая со штангой, оператор должен иметь на руках диэлектрические перчатки. Без применения диэлектрических перчаток и других защитных средств

Таблица 11.7. Переносные предупредительные плакаты [5; 13]

Вид плаката	Размер, характер исполнения	Условия применения, место установки
<i>Предостерегающие плакаты</i>		
	Размер не менее 280×210 мм. Черные буквы на белом фоне. Кайма ярко-красная шириной 10 мм, стрела ярко-красная	Вывешивается на сетчатых или сплошных ограждениях ячеек, соседних с местом работ и противоположащих, на временных ограждениях — на переносных щитах, устанавливаемых в проходах, куда не следует ходить и т. д. На открытых распределительных устройствах (РУ) — на веревочных ограждениях (при работах на уровне земли) и на конструкциях вокруг рабочего места так, чтобы путь по фермам к соседним токоведущим частям был закрыт. На временных ограждениях у оголенных участков кабеля и разделенных концов его на время испытания высоким напряжением
	То же	Вывешивается на конструкциях открытого РУ, соседних с той, которая предназначена для подъема персонала (при работах на конструкциях открытого РУ, т. е. если рабочее место расположено на высоте)
	То же	Вывешивается на ограждениях и конструкциях. Применяется только в установках напряжением до 1000 В
<i>Запрещающие плакаты</i>		
	Размер 240×130 мм. Красные буквы на белом фоне	Вывешивается на ключах управления, а также рукоятках или штурвалах приводов выключателей и разъединителей, при ошибочном включении которых может быть подано напряжение к месту, где работают люди
	Размер 80×50 мм. Красные буквы на белом фоне	То же, но для применения на щитах и пультах
	Размер 240×130 мм. Красные буквы на белом фоне	Вывешивается на штурвалах задвижек воздушных магистралей выключателей и приводов, при ошибочном открытии которых может быть пущен воздух высокого давления к оборудованию, где работают люди

Вид плаката	Размер, характер исполнения	Условия применения, место установки
	Размер 240×130 мм. Белые буквы на красном фоне	Вывешивается на ключах управления, а также рукоятках или штурвалах приводов линейных выключателей и разъединителей, при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на линию, где работают люди
	Размер 80×50 мм. Белые буквы на красном фоне	То же, но для применения на щитах управления и пультах

Разрешающие плакаты

	Размер 250×250 мм. Белый круг диаметром 200 мм на зеленом фоне. Кайма белая шириной 15 мм. Буквы черные в пределах круга	Вывешиваются в закрытых РУ на месте работ, а также на открытых РУ в том месте, где персонал должен войти в огражденное пространство
	Размер 100×100 мм. Белый круг диаметром 80 мм на зеленом фоне. Кайма белая шириной 6 мм. Буквы черные в пределах круга	То же. Вывешивается на щитах управления при работах на панелях
	Размер 250×250 мм. Белый круг диаметром 200 мм на зеленом фоне. Кайма белая шириной 15 мм. Буквы черные в пределах круга	Вывешивается на конструкциях открытого РУ, по которым обеспечен безопасный подъем персонала к месту работ, расположенному на высоте
	Размер 240×130 мм. Черные буквы на светло-зеленом фоне	Вывешивается на ключах управления, рукоятках или штурвалах разъединителей, при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на заземленный участок схемы

Напоминающие плакаты

	Размер 240×130 мм. Черные буквы на светло-зеленом фоне	Вывешивается на ключах управления, рукоятках или штурвалах разъединителей, при ошибочном включении которых может быть подано напряжение на заземленный участок схемы
	Размер 80×50 мм. Черные буквы на светло-зеленом фоне	То же, но для применения на щитах управления и пультах

Примечание. Плакаты изготавливаются из не проводящего электрический ток материала (картон, фанера, пластмасса).

Правила [13] разрешают выполнять работы измерительными штангами на воздушных линиях электропередачи (ВЛ) и подстанциях любого напряжения (выявление дефектных изоляторов, определение распределения напряжения по элементам гирлянды или колонны изоляторов и сопротивления контактов и др.), а также любые работы в электроустановках напряжением до 1000 В. При выполнении операций в открытых сборках напряжением выше 1000 В с вертикальным расположением разьединителей оператор должен стоять на изолирующем основании. Во время работы со штангой не разрешается прикасаться изолирующей частью штанги к токоведущим или заземленным частям электроустановки. При работе оператор должен удерживать штангу только за рукоятку (до упорного кольца) и не прикасаться к изолирующей части. Работа со штангой должна вестись с прочного основания (земли или пола). Допускается работать с телескопических вышек, подмостей, опор ВЛ и др. Запрещено проводить работы штангами с лестниц, подвесных люлек и подобных сооружений. Переносимая в руках штанга должна располагаться горизонтально. Составные штанги должны собираться на месте выполнения работ. Штанга должна подниматься на опору ВЛ или конструкцию открытого РУ при помощи веревки, а при низких опорах и конструкциях — из рук в руки. При подъеме и передаче штанга должна быть в собранном виде и направлена рабочей частью вверх.

После работы штанга должна быть очищена от загрязнений и увлажнений и установлена в закрытом сухом помещении.

Изолирующие штанги, находящиеся в эксплуатации, должны периодически подвергаться осмотру (выявление внешних дефектов) и электрическим испытаниям. Осмотры измерительных штанг рекомендуется проводить перед началом сезона измерений, но не реже одного раза в год, осмотры всех остальных штанг — не реже одного раза в год.

Изолирующие клещи должны применяться только по прямому назначению в закрытых электроустановках при соответствующих параметрах воздуха и номинальном напряжении не выше того, на которое они рассчитаны. В сухую погоду (при отсутствии джда, снега, тумана и измороси) клещи могут использоваться и в наружных электроустановках. Перед применением клещи подвергаются осмотру, а их изолирующие части протираются от пыли. Не допускается пользование клещами с поврежденными деталями, ослабленным креплением, увлажненной и загрязненной поверхностью, по истечении срока испытания. При выполнении работ в электроустановках напряжением выше 1000 В оператор должен быть в диэлектрических перчатках, а при снятии или установке предохранителей под напряжением, кроме того, должен стоять на изолирующем основании и пользоваться защитными очками. Клещи необходимо держать на вытянутых руках и не касаться клещами других токоведущих или заземленных частей. Находящиеся в эксплуатации изолирующие клещи должны ежегодно осматриваться для выявления внешних повреждений.

Электроизмерительные клещи должны применяться в электроустановках закрытого типа и в наружных — в сухую погоду. Измерения можно проводить на изолированных и на неизолированных токоведущих частях. Перед измерением клещи подвергаются внешнему осмотру, а изолирующие части и рукоятки протираются от пыли. При осмотре следует особое внимание обратить на плотность прилегания половинок магнитопровода. При пользовании клещами оператор должен быть в защитных очках, а в установках напряжением выше 1000 В — в диэлектрических перчатках и стоять на изолирующем коврике или подставке. На линиях напряжением до 1000 В разрешено проводить замеры клещами и с опор. В установках напряжением выше 1000 В измерения должны проводиться в присутствии второго лица. Находящиеся в эксплуатации клещи должны осматриваться 1 раз в 6 мес. Клещи должны храниться и транспортироваться в специальном чемодане-футляре.

Указатели напряжения выше 1000 В должны применяться в электроустановках номинального напряжения, для которого они предназначены, могут применяться в закрытых электроустановках и в наружных условиях в сухую погоду. При пользовании разборным или складным указателем отдельные части его должны прочно соединяться друг с другом. Перед применением необходимо тщательно осмотреть указатель, проверить по клейму, не истек ли срок испытания, соответствие напряжения, убедиться в отсутствии повреждения изолирующей части и удалить с поверхности пыль. Затем необходимо проверить исправность действия указателя, т. е. способность его подавать сигнал при наличии напряжения. Для этого применяется два метода: приближение шупа указателя к токоведущим частям, заведомо находящимся под напряжением, и с помощью прибора ППИ-4, предназначенного для

проверки исправности указателей напряжения выше 1000 В. Оператор, работая с указателем напряжения, должен иметь на руках диэлектрические перчатки и держать указатель только за рукоятку не выше упорного кольца. Запрещается одновременно касаться указателем двух токоведущих частей или токоведущей части и заземленного предмета. Работа с указателем должна проводиться с прочного устойчивого основания, а при работах на опорах ВЛ разрешается стоять на когтях. Указатели должны храниться и транспортироваться в футлярах. После применения указатель следует осмотреть, протереть и уложить в футляр. С целью выявления внешних повреждений указатели необходимо периодически (не реже чем через 6 мес) тщательно осматривать.

Указатели напряжения до 1000 В могут применяться в электроустановках номинального напряжения не ниже и не выше того, на которое они рассчитаны. Перед применением необходимо осмотреть указатель, при наличии внешних повреждений пользоваться им нельзя. Желательно проверить исправность указателя путем прикосновения к токоведущим частям, заведомо находящимся под напряжением. Указатели используются без применения других ЭЗС (перчаток, ковриков и т. д.). Не следует допускать длительного протекания тока через указатель, так как срок службы неоновых ламп ограничен.

Диэлектрические резиновые изделия должны использоваться только по прямому назначению. Недопустимо касаться резиновыми изделиями горячих предметов и выполнять работы с бензином, маслами, кислотами, щелочами и другими активными жидкостями.

Перчатки следует выбирать такого размера, чтобы они свободно одевались на руки, не сдавливая пальцев, но и не спадали с рук, свободно опущенных вниз. Для защиты от холода при работе зимой и для защиты от ожогов электрической дугой или брызгами расплавленного металла под диэлектрические перчатки надеваются хлопчатобумажные или шерстяные перчатки. Диэлектрические перчатки надеваются на руки на полную глубину. Раструб перчаток натягивается на рукава одежды.

Боты и галоши надевают на обычную обувь. Обувь должна быть сухой, чистой, а также не иметь, по возможности, пряжек, застежек, которые могут повредить резину бот или галош.

Резиновые диэлектрические средства должны осматриваться периодически (перчатки, боты, галоши — не реже одного раза в 6 мес, коврики — не реже одного раза в 12 мес) и перед использованием, чтобы убедиться в пригодности защитного средства. При этом проверяется отсутствие повреждений, изделие очищается от пыли и грязи, проверяется, не истек ли срок очередного электрического испытания. Диэлектрические перчатки, кроме того, проверяются на герметичность. Для этого у расправленной перчатки закатывается и зажимается манжета, чтобы воздух внутри перчатки оказался под некоторым избыточным давлением. При наличии проколов или надрывов воздух будет выходить из перчаток. Негерметичные перчатки применять нельзя. Периодические осмотры проводятся более тщательно специально выделенными квалифицированными лицами. При этих осмотрах тщательно проверяется состояние наружных и внутренних поверхностей средства (отсутствие проколов, трещин, надрывов, отклеивание швов, их увлажнение и загрязнение).

Изолирующие подставки являются дополнительными защитными средствами, поэтому пользование ими разрешается при применении основных изолирующих ЭЗС. Однако Правила [12] разрешают проводить операции с предохранителями, пусковыми устройствами электродвигателей и приводами разъединителей и выключателей в закрытых электроустановках любого напряжения с изолирующей подставкой без применения диэлектрических перчаток. Перед использованием необходимо осмотреть подставку, чтобы убедиться в отсутствии внешних повреждений (поломанная планка, разбитый изолятор и т. д.) и в отсутствии под подставкой каких-либо предметов (куска проволоки, волокна дерева и т. д.), которые могут шунтировать изоляторы. В процессе эксплуатации изолирующие подставки испытаниям не подвергаются. Периодически (через каждые два года) проводится осмотр изолирующих подставок. При этом проверяется наличие поломок, прочность связей элементов настила, устойчивость подставки, наличие и целостность изоляторов и т. д.

Инструментом с изолирующими рукоятками разрешается работать без диэлектрических перчаток, однако оператор должен быть изолирован от земли (диэлектрическими галошами, ковром или изолирующей подставкой), быть в головном уборе, с опущенными и застегнутыми у кистей рук рукавами одежды. Если при работе может возникнуть опасность случайного прикосновения свободной рукой к

Таблица 11.8. Нормы и сроки электрических испытаний защитных средств, находящихся в эксплуатации [4; 13]

Наименование защитных средств	Напряжение электроустановки, кВ	Испытательное напряжение, кВ	Продолжительность испытания, мин	Ток утечки, не более, мА	Срок периодических испытаний, мес
Изолирующие штанги (кроме измерительных)	Ниже 110	$3U_{\text{л}}$, но не менее 40	5	—	24
То же	110—220	$3U_{\text{ф}}$	5	—	24
Измерительные штанги	Ниже 110	$3U_{\text{л}}$, но не менее 40	5	—	См. примечание 2
То же	110—330	$3U_{\text{ф}}$	5	—	То же
» »	500	$2,2U_{\text{л}}$, но не менее $3U_{\text{ф}}$	5	—	» »
Изолирующие клещи	До 1	2	5	—	24
То же	1—35	$3U_{\text{л}}$, но не менее 40	5	—	24
Клещи электроизмерительные	0,4—0,65	2	5	—	12
То же	0,65—1	3	5	—	12
» »	1—10	40	5	—	12
Указатели высокого напряжения:					
изолирующая часть	Ниже 110	$3U_{\text{л}}$, но не менее 40	5	—	12
рабочая часть	110—220	$3U_{\text{ф}}$	5	—	12
	2—10	20	5	—	12
	6—20	40	5	—	12
	10—35	70	5	—	12
Указатели напряжения, действующие при протекании активного тока:					
изоляция корпуса и соединительного провода	До 0,5	1	1	—	12
	До 1	2	1	—	12
схема (проверка на устойчивость)	До 0,5 и до 1	0,75	1	4,0	12
Указатели напряжения, действующие при протекании емкостного тока:					
изоляция корпуса	До 0,5	1	1	—	12
	До 1	2	1	—	12
схема (проверка на устойчивость)	До 0,5 и до 1	0,75	1	2,0	12
Изолирующие средства для ремонтных работ под напряжением	Ниже 110	$1,5U_{\text{л}}$, но не менее $3U_{\text{л}}$	5	—	6
То же	110 и выше	$1,5U_{\text{л}}$, но не менее $3U_{\text{ф}}$	5	—	6
Инструмент с изолирующими рукоятками	До 1	2	1	—	12
Перчатки резиновые диэлектрические	До 1	2,5	1	2,5	6
То же	Выше 1	6	1	6,0	6
Боты резиновые диэлектрические	Любое	15	1	7,5	36

Наименование защитных средств	Напряжение электроустановки, кВ	Испытательное напряжение, кВ	Продолжительность испытаний, мин	Ток утечки, не более, мА	Срок периодических испытаний, мес
Галоши резиновые диэлектрические	До 1	3,5	1	2,0	12
Коврики резиновые	До 1	3	См. примечание 3	3,0	24
То же	Выше 1	15	То же	15,0	24

Примечания: 1. В таблице приняты следующие обозначения: $U_{\text{л}}$, $U_{\text{ф}}$ — соответственно линейное и фазное напряжения электроустановки, кВ; l — длина изолирующей части ЭЗС, см.

2. Измерительные штанги должны испытываться не реже 1 раза в год и дополнительно в сезон измерений не реже 1 раза в 3 мес — для штанг до 220 кВ включительно и в 2 мес — для штанг 330 и 500 кВ. Кроме того, штанги на 330 и 500 кВ должны испытываться каждый раз перед измерением.

3. Ковры резиновые испытываются путем протягивания их между цилиндрическими электродами со скоростью 2—3 см/с. Испытание ковров не обязательно для предприятий системы Минэнерго СССР.

токоведущим частям, на эту руку надлежит надевать диэлектрическую перчатку. Инструмент разрешается применять сухой с неповрежденной изоляцией. Он должен храниться в сухом помещении и перевозиться в сумках. Состояние и исправность инструмента проверяется перед каждым применением.

Все изолирующие ЭЗС, кроме изолирующих подставок и штанг для наложения переносных заземлений, в процессе эксплуатации периодически подвергаются электрическим испытаниям. Сроки и нормы испытаний приведены в табл. 11.8.

Перед испытанием ЭЗС осматривается, при обнаружении повреждений бракуется и электрическим испытаниям не подлежит. Все испытания проводятся переменным током с частотой 50 Гц при температуре 15—20° С. Защитные средства из резины допускается испытывать постоянным (выпрямленным) током. При этом величина испытательного напряжения должна быть равной 2,5-кратному значению требуемого для испытаний переменного напряжения, а продолжительность испытаний та же, что и при переменном токе.



Рис. 11.1. Электрические испытания электрозащитных средств:

а — изолирующей штанги на электрическую прочность; б — указателя напряжения выше 1000 В на видимое свечение лампы; в — указателя напряжения до 1000 В на электрическую прочность рукояток и проводов; г — диэлектрических резиновых перчаток и галош, а также инструмента с изолированными ручками.

Прикладываемое при испытаниях к ЭЗС начальное напряжение не должно быть выше 50% полного испытательного напряжения. Затем испытательное напряжение повышается постепенно до полного значения со скоростью, позволяющей следить за показаниями измерительных приборов. Продолжительность выдержки полного испытательного напряжения не должна превышать пороговое значение, причем начало отсчета времени соответствует моменту установления полного испытательного напряжения.

При испытании изолирующих штанг, изолирующих и электроизмерительных клещей один вывод обмотки испытательного трансформатора присоединяется к рабочей части ЭЗС, а другой — к противоположному концу изолирующей части, выше упора, где для этой цели создается временный металлический электрод из фольги (рис. 11.1, а). Во время испытаний ведутся наблюдения за поверхностью изолирующей части. В случае появления разрядов по поверхности изоляции или ее пробоя ЭЗС бракуется. После снятия испытательного напряжения изолирующая часть, подвергавшаяся испытанию, ощупывается рукой и при наличии хотя бы местного нагрева ЭЗС считается не выдержавшим испытание.

Испытание указателей напряжения выше 1000 В проводится в три этапа: испытание изоляции повышенным напряжением, определение напряжения отчетливо видимого свечения и проверка на отсутствие свечения лампы указателя от влияния соседних цепей. Испытанию повышенным напряжением подвергается изоляция обеих частей указателя — изолирующей (с целью проверки ее электрической прочности) и собственно указателя (с целью проверки исправности лампы и конденсаторов). Эти испытания проводятся аналогично испытанию изолирующих штанг. При испытании изолирующей части испытательное напряжение прикладывается на границе между собственно указателем и упором. При испытании собственно указателя — один вывод испытательного трансформатора присоединяется к крюку указателя, а второй — к выводу от конденсатора или на границе между собственно указателем и его изолирующей частью. У исправного указателя лампа горит ярким ровным светом, не мигая. Мигание лампы, шипение и потрескивание свидетельствует о неисправности указателя.

Для определения напряжения отчетливо видимого свечения лампы указатель размещается изолированно от земли на высоте 1,3—1,5 м и не ближе 1 м от заземленных металлических предметов. Один вывод обмотки испытательного трансформатора заземляется, а второй — присоединяется к крюку указателя (рис. 11.1, б). Напряжение повышается плавно, и когда наступает отчетливое и устойчивое свечение лампы, отмечается его величина. Это напряжение не должно превышать 25% номинального напряжения установки, для которой допущен указатель.

Испытание указателей напряжения до 1000 В с проверкой электрической прочности рукояток и провода проводится следующим образом. Обе рукоятки по всей длине (до упора) обертываются фольгой. Провод указателя опускается в сосуд с водопроводной водой, чтобы рукоятки касались поверхности или были погружены в воду не более чем на 5 мм. Один вывод испытательного трансформатора присоединяется к шупам указателя, а второй — к фольге на рукоятках и опускается в воду (рис. 11.1, в). Если не произойдет пробоя или перекрытия изоляции и не будут отмечены колебания испытательного напряжения, указатель считается выдержавшим испытание. Для определения порога зажигания лампы указатель подключается к источнику регулируемого напряжения и по вольтметру фиксируется напряжение, при котором возникает свечение лампы. Для проверки свечения лампы от напряжения одной фазы одним шупом указателя прикасаются к токоведущей части под напряжением. При этом у исправного указателя лампа не должна светиться.

Испытание диэлектрических резиновых перчаток, бот и галош проводится в сосуде с водопроводной водой, которая, кроме того, заливается и внутрь изделия. Уровень воды внутри и снаружи изделия должен быть на 5 см ниже верхнего края перчаток и отворотов бот, а для галош — не должен доходить на 2 см до верхнего края борта. Один вывод обмотки трансформатора соединяется с электродом внутри изделия, а второй — опускается в сосуд с водой (рис. 11.1, г). В процессе испытания измеряется ток утечки через изделие. При пробое изоляции изделия, при резких колебаниях стрелки прибора или при величине тока утечки больше допустимой ЭЗС бракуется.

Испытание инструмента с изолирующими рукоятками проводится в ванне с водопроводной водой (аналогично испытанию диэлектрических резиновых перчаток, бот и галош). Уровень воды должен быть на 1 см ниже края изоляции. Напря-

жение подключается к металлической части инструмента и воде в ванне (рис. 11.1, г).

На каждое ЭЭС, подвергшееся испытанию, составляется протокол, а на самом ЭЭС, выдержавшем испытание, ставится штамп, удостоверяющий пригодность ЭЭС к эксплуатации. В штампе указываются рабочее напряжение, на которое рассчитано ЭЭС, срок годности, дата испытания и название лаборатории, проводившей испытания.

11.3. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ПЕРСОНАЛ

Лица, обслуживающие и эксплуатирующие электроустановки, относятся к электротехническому персоналу. Электротехнический персонал условно разделяется на четыре группы: административно-технический персонал — это начальники служб, энергетики предприятий, мастера, начальники лабораторий и т. д.; оперативный персонал — это дежурный персонал, оперативно обслуживающий электроустановки; ремонтный персонал — это работники, выполняющие ремонтные, наладочные и другие работы в электроустановках; ремонтно-оперативный персонал — это лица,

Таблица 11.9. Квалификационные группы по технике безопасности

Группа	Профессия, должность	Стаж работы в электроустановках	Возраст не моложе, лет	Характеристика
I	Электротехнический персонал, не прошедший проверку знаний по ПТЭ и ПТБ Персонал, обслуживающий электротехнологические установки (электропечи, высокочастотные установки, электролизеры, электрофильтры, электродонлики и т. п.) Персонал, работающий с электроинструментом Водители автомашин и автокранов Уборщики помещений электроустановок	Не нормируется	18	Лица, не имеющие специальной электротехнической подготовки, но имеющие элементарное представление об опасности электрического тока и мерах безопасности при работе на обслуживаемом участке, электрооборудовании, установке. Должны иметь практические навыки по оказанию первой помощи
II	Практиканты институтов, техникумов, технических и ремесленных училищ Электромонтеры, электрослесари, связисты, мотористы электродвигателей Машинисты электротранспорта, машинисты кранов, электросварщики Практики-электрики	Не нормируется Не менее 1 мес Не менее 1 мес Не менее 6 мес	Не нормируется 18 18 18	Знакомство с электроустановками Отчетливое представление об опасности поражения электрическим током и приближения к токоведущим частям Знание основных мер предосторожности при работах в электроустановках Практические навыки по оказанию первой помощи

Продолжение табл. 11.9

Группа	Профессия должность	Стаж работы в электроустановках	Возраст не моложе, лет	Характеристика
III	Электромонтеры, электрослесари, связисты; оперативный персонал электроподстанций; оперативно-ремонтный персонал электроустановок	Не менее 6 мес Для лиц с образованием 7 классов и выше, прошедших специальное обучение, а также для лиц, окончивших технические и ремесленные училища, — не менее 3 мес	18	Элементарные познания в электротехнике и знакомство с устройством и обслуживанием электроустановок Отчетливое представление об опасности при работах в электроустановках Знание общих правил техники безопасности и правил допуска к работам в электроустановках
	Практиканты институтов и техникумов	Не менее 1 мес в предыдущей группе	18	Знание специальных правил техники безопасности по тем видам работ, которые входят в обязанности данного лица
	Начинающие инженеры и техники	То же	18	Умение вести надзор за работающими в электроустановках Знание правил оказания первой помощи и умение практически оказать первую помощь пострадавшему (приемы искусственного дыхания и т. п.)
IV	Электромонтеры, электрослесари, связисты; оперативный персонал электроподстанций; оперативно-ремонтный персонал цеховых электроустановок	Общий стаж не менее 1 года в предыдущей группе Для лиц с образованием 7 классов и выше, прошедших специальное обучение, а также для лиц, окончивших технические и ремесленные училища — не менее 6 мес	18	Познания в электротехнике в объеме специализированного профтехучилища Полное представление об опасности при работах в электроустановках Знания полностью ПТЭ и ПТБ, а также ППИЗС Знание установки настолько, чтобы свободно разбираться, какие именно элементы должны быть отключены для проведения работы, находить в натуре все эти элементы и проверять выполнение необходимых мероприятий по безопасности

Продолжение табл. 11.9

Группа	Профессия должность	Стаж работы в электроустановках	Возраст не моложе, лет	Характеристика
V	Начинающие инженеры и техники	Не менее 2 мес в предыдущей группе	18	Умение организовать безопасное проведение работ и вести надзор за ними в электроустановках напряжением до 1000 В Знание правил оказания первой помощи и умение практически оказать первую помощь пострадавшему (приемы искусственного дыхания и т. д.)
	Инженеры по технике безопасности	Общий производственный стаж не менее 3 лет (только для инженеров ТБ)	20	
	Электромонтеры, электрослесари, мастера, техники и инженеры-практики	Общий стаж работы не менее 5 лет Для лиц с образованием 7 классов и выше, прошедших специальное обучение, а также для лиц, окончивших ремесленные и технические училища — не менее 3 лет	21—23	Знание схем и оборудования своего участка Твердые знания ПТЭ и ПТБ как в общей, так и в специальной частях, а также ППИЗС. Ясное представление о том, чем вызвано требование того или иного пункта Умение организовать безопасное ведение работ и вести надзор за ними в электроустановках любого напряжения
	Мастера, техники, инженеры с законченным средним или высшим техническим образованием	Общий стаж не менее 6 мес	19	Знание правил оказания первой помощи и умение практически оказать первую помощь (приемы искусственного дыхания и т. д.) Умение обучать персонал других групп правилам техники безопасности и оказанию первой помощи

Примечания: 1. Для работающих в установках напряжением выше 1000 В учитывается стаж работы только в этих установках (по удостоверениям и проверке знаний).

2. В таблице приняты следующие сокращения: ПТЭ и ПТБ — Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей; ППИЗС — Правила пользования и испытания защитных средств, применяемых в электроустановках.

оперативно обслуживающие и выполняющие другие работы в электроустановках не имеющих дежурного персонала.

К работам в электроустановках не допускаются лица моложе 18 лет. Практикантам учебных заведений, не достигшим 18-летнего возраста, разрешено пребывание в электроустановках или электропомещениях ограниченное время и под постоянным надзором опытного и квалифицированного работника.

Лица, допускаемые к обслуживанию электроустановок, проходят медицинское освидетельствование при принятии на работу и периодически один раз в 2 года при обслуживании действующих электроустановок и один раз в год при работе со ртутными выпрямителями и преобразователями тока.

До назначения на самостоятельную работу или при переводе на другую работу, связанную с обслуживанием электроустановок, а также при перерыве в работе свыше 6 мес персонал обязан пройти производственное обучение на рабочем месте. По окончании обучения обучаемый в специальной комиссии проходит проверку знаний по Правилам технической эксплуатации и Правилам техники безопасности. Каждому работнику, успешно прошедшему проверку, выдается именное удостоверение и присваивается квалификационная группа по технике безопасности (табл. 11.9). Знания персонала проверяются в следующие сроки:

1 раз в год — для персонала, обслуживающего действующие электроустановки или проводящего в них наладочные работы или профилактические испытания, и для персонала, оформляющего распоряжения и организующего эти работы, а также для персонала электролабораторий;

1 раз в 3 года — для инженерно-технического персонала, не относящегося к персоналу предыдущей группы.

Знание Правил проверяется квалификационными комиссиями в составе не менее трех человек.

Всего установлено пять квалификационных групп по технике безопасности (I—V), однако по результатам проверки знаний квалификационной комиссией присваивается только четыре группы (II—V). Квалификационная группа I присваивается лицом, ответственным за электрохозяйство предприятия (цеха) или по его указанию лицом с квалификационной группой не ниже III после проверки знаний безопасных методов работы на обслуживаемой установке. Присвоение квалификационной группы I фиксируется в специальном журнале. Удостоверение при этом не выдается. В процессе работы персонал I группы проходит периодический инструктаж не реже 1 раза в квартал.

11.4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Эксплуатация действующих электроустановок по условиям безопасности подразделяется на оперативное обслуживание и проведение работ в электроустановке.

К оперативному обслуживанию относятся следующие операции: дежурства в электроустановках, обходы и осмотры электроустановок, а также оперативные переключения. Оперативное обслуживание электроустановок осуществляется оперативным персоналом (дежурным), к которому относятся также все работники, обслуживающие электроустановки посменно и допущенные к оперативным переключениям, а также оперативно-ремонтным персоналом, к которому относится ремонтный персонал, специально обученный и подготовленный для выполнения оперативной работы.

Оперативное обслуживание электроустановок может осуществляться одним или несколькими лицами. Лица оперативного персонала, обслуживающие электроустановки единолично, или старшие в смене или бригаде должны иметь квалификационную группу по технике безопасности не ниже IV в установках напряжением выше 1000 В и не ниже III в установках напряжением до 1000 В.

Осмотр электроустановок под напряжением сопряжен с опасностью попадания под напряжение в результате прикосновения или приближения на опасное расстояние к токоведущим частям под напряжением, а также в результате прикосновения к металлическим корпусам оборудования с поврежденной изоляцией при неудовлетворительном состоянии защитного заземления или зануления. Поэтому осматривать электроустановки разрешается только с соблюдением определенных требований безопасности.

Единоличный осмотр электроустановок разрешается проводить административно-техническому персоналу с квалификационной группой V в установках напря-

жением выше 1000 В и IV в установках напряжением до 1000 В, а также оперативному персоналу, обслуживающему данную электроустановку, с квалификационной группой не ниже III.

Работы, проводимые в действующих электроустановках (ремонт, монтаж, наладка, испытание оборудования и т. д.), в отношении мер безопасности разделяются на четыре категории:

а) работы, выполняемые при полном снятии напряжения, т. е. работы, которые ведутся в электроустановках или их частях, где со всех токоведущих частей, в том числе и вводов (линейных или кабельных), снято напряжение и где нет незапертого входа в соседнюю электроустановку, находящуюся под напряжением;

б) работы, выполняемые при частичном снятии напряжения, т. е. работы, которые проводятся в открытой электроустановке или в электроустановке (ее части), расположенной в отдельном помещении, где напряжение снято только с тех присоединений или их участков, на которых выполняется работа, или где напряжение снято полностью, но есть незапертый вход в соседнюю находящуюся под напряжением электроустановку;

в) работы, выполняемые без снятия напряжения вблизи и на токоведущих частях, находящихся под напряжением, т. е. работы, при выполнении которых необходимо принятие технических или организационных мероприятий (непрерывный надзор и др.), предотвращающих возможность приближения работающих людей и используемой ими ремонтной оснастки и инструмента к токоведущим частям на опасное расстояние, а также работы на токоведущих частях, проводимые с помощью изолирующих защитных средств и приспособлений;

г) работы, выполняемые без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением, т. е. работы, при выполнении которых исключено случайное приближение работающих людей и используемой ими ремонтной оснастки и инструмента к токоведущим частям на опасное расстояние и не требуется принятия технических или организационных мероприятий (непрерывный надзор и др.) для предотвращения такого приближения.

Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность при выполнении работы в действующих электроустановках, являются оформление работы нарядом или распоряжением, допуск к работе, надзор во время работы, оформление перерыва в работе, переводов на другие рабочие места и окончания работы.

Работы в электроустановках выполняются по письменному или устному распоряжению. Наряд — это письменное распоряжение на работу, в котором определены место работы, время начала и окончания работы, состав бригады, лица, ответственные за безопасность работ. По наряду должны проводиться работы с полным снятием напряжения, с частичным снятием напряжения и без снятия напряжения вблизи и на токоведущих частях, находящихся под напряжением. По устному распоряжению могут вестись работы без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением, а также кратковременные и небольшие по объему работы с полным или частичным снятием напряжения и работы без снятия напряжения вблизи и на токоведущих частях, находящихся под напряжением, выполняемые оперативным персоналом или под его наблюдением.

Ответственными за безопасность работы являются лица, выдающие наряд или отдающие распоряжения, ответственное лицо оперативного персонала — допускающий, ответственный руководитель работ, производитель работ, наблюдающий и члены бригады.

Право выдачи нарядов на проведение работ предоставляется лицам электротехнического персонала и уполномоченным на выдачу нарядов распоряжением главного энергетика предприятия. Эти лица должны иметь квалификационную группу V, а в электроустановках напряжением до 1000 В — не ниже IV. Право давать устные распоряжения на ведение работ предоставляется также лицам оперативного персонала с квалификационной группой не ниже IV.

При эксплуатации действующих электроустановок могут возникнуть требующие срочного устранения неисправности: загрязнение изоляторов РУ, вызывающее электрические разряды по поверхности, ослабление креплений шин на изоляторах, перегрев и искрение контактов и др.

Восстановительные работы в аварийных случаях и кратковременные, не терпящие отлагательства работы по устранению неисправностей разрешается проводить без наряда оперативному персоналу (в установках напряжением выше 1000 В — не менее чем двумя лицами), ремонтному персоналу под наблюдением оперативного персо-

нала, а в случае занятости оперативного персонала — ремонтному персоналу под наблюдением и ответственностью обслуживающего данную электроустановку административного электротехнического персонала с квалификационной группой V (в установках напряжением до 1000 В с группой IV).

При отсутствии на подстанции административного электротехнического персонала, имеющего право выдачи наряда, оперативному персоналу с квалификационной группой не ниже IV разрешается выдача наряда дежурным бригадиром на работы по предотвращению аварий или ликвидации их последствий.

При работах с частичным или полным снятием напряжения на рабочих местах выполняются следующие технические мероприятия: отключаются необходимые электроустановки или их части и принимаются меры, препятствующие подаче напряжения к месту работы вследствие ошибок или самопроизвольного включения коммутационной аппаратуры; вывешиваются запрещающие плакаты и при необходимости устанавливаются временные ограждения; присоединяется к заземляющей шине переносное заземление и проверяется отсутствие напряжения на токоведущих частях, на которые должно накладываться переносное заземление; непосредственно после проверки отсутствия напряжения накладывается заземление на отключенные токоведущие части электроустановки; ограждается рабочее место и вывешиваются предостерегающие и разрешающие плакаты.

Электрооборудование напряжением выше 1000 В отключается со всех сторон, откуда может быть подано напряжение. При этом с каждой стороны должен быть видимый разрыв, образующийся отключением разъединителей и выключателей нагрузки, не имеющих автоматического привода на включение, снятием предохранителей, отсоединением или снятием шин или проводов. Для проведения работ отключаются токоведущие части, на которых ведется работа, а также те, к которым при выполнении работы не исключено случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние. Допустимые расстояния приближения к частям электроустановок под напряжением приведены ниже.

Напряжение электроустановки, кВ	Допустимое расстояние приближения, м
До 15 включительно	0,7
Выше 15 до 35 включительно	1,0
Выше 35 до 110 включительно	1,5
154	2,0
220	2,5
330	3,5
400 и 500	4,5
750	6,0

Оборудование напряжением до 1000 В отключается таким образом, чтобы выделенная для выполнения работы часть электроустановки была отделена со всех сторон от токоведущих частей коммутационными аппаратами или снятием предохранителей. На месте работы отключаются токоведущие части, на которых ведется работа. Доступные для прикосновения части под напряжением могут отключаться или ограждаться изолирующими накладками. Для предотвращения подачи напряжения к месту работы вследствие «обратной» трансформации отключаются все связанные с выводимым в ремонт оборудованием силовые, измерительные и специальные трансформаторы со стороны высшего и низшего напряжений.

Проверка отсутствия напряжения между всеми фазами и каждой фазы по отношению к земле и нулевому проводу на отключенной части электроустановки производится допускающим лицом перед началом работы со снятием напряжения после вывешивания предупредительных плакатов.

Чтобы убедиться в отсутствии напряжения в электроустановках напряжением до 110 кВ включительно, используют указатель напряжения или рабочую часть изолирующей штанги, рассчитанной на соответствующее напряжение, которую приближают к токоведущим частям. В этом случае при наличии напряжения возникает потрескивание или искрение. В открытых РУ напряжением до 220 кВ применять указатель напряжения или штангу разрешается только в сухую погоду, а в сырую погоду проверка выполняется путем тщательного прослеживания схемы. При использовании указателями напряжения их заземление допускается только в случаях проверки напряжения с деревянных опор или лестниц.

Отсутствие напряжения в установках напряжением до 1000 В проверяется указателем напряжения или переносными вольтметрами. Непосредственно перед проверкой устанавливается исправность применяемого указателя или другого прибора на находящихся под напряжением токоведущих частях или с помощью специального прибора.

Не допускается делать заключение об отсутствии напряжения, если нет показаний стационарных сигнализирующих устройств (ламп, вольтметров), но если эти приборы указывают наличие напряжения, то приближение к данному оборудованию недопустимо.

Наложение переносных заземлений требуется в тех случаях, когда токоведущие части, на которых ведется работа, могут оказаться под наведенным напряжением или на них может быть подано напряжение опасной величины от постороннего источника. Переносные заземления накладываются на токоведущие части всех фаз отключенной для проведения работы части электроустановки со всех сторон, откуда может быть подано напряжение.

Места наложения заземлений выбираются так, чтобы заземления были отделены видимым разрывом (отключенными разъединителями, отделителями или выключателями, снятыми предохранителями, рубильниками, автоматами, демонтированными щитами) от находящихся под напряжением токоведущих частей. В закрытых РУ переносные заземления накладываются на токоведущие части в специально установленных местах, которые очищены от краски и окаймлены черными полосами.

Наложение переносных заземлений не требуется при работе на оборудовании при условии, что от него отсоединены все токоведущие элементы, по которым может быть подано напряжение, что на него не может быть подано напряжение путем обратной трансформации или от постороннего источника и что на это оборудование не наводится напряжение.

Наложение и снятие переносных заземлений в электроустановках напряжением выше 1000 В проводится лицом оперативного персонала с квалификационной группой по технике безопасности не ниже IV и работником из числа неоперативного электротехнического персонала с квалификационной группой не ниже III, который прошел инструктаж и ознакомлен со схемой электроустановки.

Порядок наложения переносных заземлений следующий: заземляющий проводник присоединяется к заземляющему устройству, проверяется отсутствие напряжения на токоведущих частях, затем закорачивающие проводники присоединяются к отключенным токоведущим частям. Снятие переносного заземления проводится в обратном порядке. В установках напряжением выше 1000 В операции с переносными заземлениями выполняются с помощью штанги, а в установках напряжением до 1000 В — с применением диэлектрических перчаток.

11.5. ПОМОЩЬ ЧЕЛОВЕКУ ПРИ ПОПАДАНИИ ПОД НАПРЯЖЕНИЕ

Помощь человеку при попадании под напряжение состоит из следующих этапов: освобождение пострадавшего от тока, определение степени поражения и оказание первой помощи пострадавшему. Основными условиями успеха при оказании помощи людям, попавшим под напряжение, являются быстрота действий, находчивость и умение правильно оказывать помощь.

Так как исход поражения зависит от продолжительности протекания тока через человека, в первую очередь необходимо быстро освободить пострадавшего от источника тока. Наиболее простым способом является отключение электроустановки или ее части, которой касается человек. При этом следует учитывать следующие возможные осложнения. Если пострадавший находится на высоте, отключение установки может привести к падению пострадавшего, в этом случае принимаются меры, обеспечивающие безопасность падения. При отключении электроустановок может одновременно отключиться и электрическое освещение, в связи с этим следует обеспечить освещение от другого источника.

Если быстро отключить установку нельзя, необходимо, приняв соответствующие меры предосторожности, чтобы самому не включиться в электрическую цепь, отделить пострадавшего от частей под напряжением. В электроустановках под напряжением до 1000 В пострадавшего можно оттянуть за сухую одежду (например, полы пиджака, пальто). При этом нельзя касаться незащищенных участков тела пострадавшего, сырой одежды, обуви и т. д. Пользуясь сухой деревянной палкой, доской или другими изолирующими предметами, можно отбросить руку пострадав-

шего или провод. Если необходимо коснуться тела пострадавшего, не прикрытого одеждой, оказывающий помощь должен изолировать руки (надеть диэлектрические перчатки, обмотать руку шарфом, опустить рукава одежды и т. д.) или изолировать себя от земли, встав на сухую доску, сверток одежды и т. д. При затруднении освобождения пострадавшего от частей, находящихся под напряжением, можно перерубить или перерезать провода, используя инструмент с сухими деревянными или изолирующими рукоятками.

В электроустановках напряжением выше 1000 В для освобождения пострадавшего необходимо пользоваться изолирующей штангой или изолирующими клещами, соблюдая все правила использования этих защитных средств. Если освобождение указанным способом невозможно, прибегают к искусственному короткому замыканию (наброс) всех проводов линии или заземлению того провода, к которому прикасается пострадавший.

Если в результате воздействия шагового напряжения пострадавший упал, его необходимо изолировать от земли, подсунув под него деревянную доску или фанеру.

После освобождения пострадавшего от тока необходимо установить степень поражения и в соответствии с его состоянием оказать помощь. Если пострадавший не потерял сознание, необходимо обеспечить ему отдых, а при наличии травм или повреждений (ушибы, переломы, вывихи, ожоги и т. д.) необходимо оказать первую помощь. Если не работает только сердце, а дыхание есть, необходимо применить массаж сердца, если прекратилось дыхание, а сердце работает, необходимо проводить искусственное ды-



Рис. 11.2. Оказание первой помощи пострадавшему от электрического тока.

хание. В случае клинической смерти применяются мероприятия по оживлению, включающие искусственное дыхание и массаж сердца.

В любом случае тяжелого поражения электрическим током необходимо вызвать скорую помощь, так как после восстановления сердечной деятельности и дыхания у пострадавшего может наступить повторная остановка или фибрилляция сердца. Кроме того, в некоторых случаях необходимо введение в организм пострадавшего препаратов, стимулирующих работу сердца и органов дыхания. Однако проведение мероприятий по оживлению в этом случае также необходимо, так как они позволяют продлить время клинической смерти до двух часов.

Статистика показывает, что эффект оживления зависит от того, как быстро будут начаты работы по оживлению. Так, при задержке до 1 мин оживляется до 90% пострадавших, до 7 мин — 10%, после 12 мин — исход неизвестен.

Для восстановления сердечной деятельности применяется непрямой, или закрытый массаж сердца. Для его проведения пострадавшего укладывают на твердую подстилку, оказывающий помощь встает сбоку или в изголовье пострадавшего и кладет ему ладонь своей руки на нижнюю треть грудины по середине (предсердечная область). Другая рука накладывается на тыльную поверхность первой для усиления давления (рис. 11.2). После этого оказывающий помощь энергичным толчком обеих рук смещает переднюю часть грудной клетки пострадавшего на 4—5 см в сторону позвоночника. После надавливания следует быстро отнять руки. При сдавливании сердца, во-первых, происходит механическое раздражение сердечной мышцы и возбуждаются самостоятельные ее сокращения и, во-вторых, кровь из полости сердца выдавливается в аорту, т. е. поддерживается кровообращение в организме. Закрытый массаж следует проводить в ритме нормальной работы сердца, т. е. 60—70 надавливаний в минуту.

С помощью закрытого массажа не удастся вывести сердце из состояния фибрилляции. Для устранения фибрилляции служат специальные аппараты — дефибрилляторы. Основным элементом дефибрилятора является конденсатор, который заряжается от сети, а затем разряжается через грудную клетку пострадавшего. Разряд происходит в форме одиночного импульса тока длительностью 10 мкс и амплитудой 15—20 А при напряжении до 6 кВ. Импульс тока выводит сердце из состояния фибрилляции и вызывает синхронизацию функций всех мышечных волокон сердца. Дефибрилляцию сердца может выполнять только медицинский персонал.

Искусственное дыхание производится при отсутствии или очень слабом естественном дыхании. В настоящее время широкое применение получили методы искус-

венного дыхания «изо рта в рот» и «изо рта в нос», являющиеся наиболее эффективными.

Прежде чем начать искусственное дыхание, нужно убедиться в проходимости дыхательных путей пострадавшего. Если челюсти у него сжаты, их разжимают каким-нибудь плоским предметом. Полость рта освобождают от слизи и зубных протезов. Затем пострадавшего укладывают на спину и расстегивают одежду, стесняющую кровообращение и дыхание. Под плечи подкладывают небольшую валик. Голова его при этом должна быть резко запрокинута назад так, чтобы подбородок находился на одной линии с шеей. В этом положении корень языка отходит от входа в гортань, благодаря чему обеспечивается полная проходимость верхних дыхательных путей. Во избежание западания языка необходимо одновременно выдвинуть вперед нижнюю челюсть и удерживать ее в этом положении. Затем оказывающий помощь приступает к искусственному дыханию. Он делает глубокий вдох и, прижав свой рот ко рту пострадавшего, вдывает в его легкие воздух (метод «изо рта в рот»). После того как грудная клетка пострадавшего достаточно расширится, вдывание прекращают. У пострадавшего при этом происходит пассивный выдох. Тем временем оказывающий помощь делает глубокий вдох и повторяет дыхание. Частота таких вдываний для взрослых должна достигать 12—16, для детей — 18—20 в минуту.

При применении метода «изо рта в рот» на время вдывания воздуха носздри пострадавшего зажимают пальцами, а после прекращения вдывания их открывают для облегчения выдоха. При методе «изо рта в нос» воздух вдывают через носовые ходы, поддерживая подбородок и губы пострадавшего так, чтобы воздух не уходил через ротовое отверстие. У детей искусственное дыхание можно производить «изо рта в рот и нос».

При появлении у пострадавшего слабого и нерегулярного естественного дыхания обычно переходят к вспомогательному искусственному дыханию. В зависимости от характера восстанавливающегося дыхания вспомогательное дыхание осуществляется по-разному: если естественные вдохи неглубокие и слабые, вдывания должны совпадать с ними и усиливать их, если вдохи редки, дополнительные вдывания следует производить в промежутках между ними. Вспомогательное дыхание продолжается до тех пор, пока у пострадавшего не восстановится полноценное самостоятельное дыхание.

При дыхании «изо рта в рот» или «изо рта в нос» для соблюдения правил гигиены нужно прикрыть губы и нос пострадавшего кусочком бинта или тонкой материи, проделав в нем отверстие для вдывания воздуха. Для повышения гигиеничности при методе «изо рта в рот» применяется резиновая трубка — воздуховод, один конец которой вставляется в рот пострадавшему, а через второй конец вдывается воздух.

Искусственное дыхание «изо рта в рот» или «изо рта в нос» является наиболее эффективным (по сравнению с применением для этой цели различных аппаратов), однако оно имеет и свои недостатки. Это искусственное дыхание малогигиенично, неудобно при транспортировке пострадавшего и затруднительно для оказывающего помощь (он быстро устает из-за избытка кислорода в крови).

В настоящее время созданы аппараты для искусственного дыхания. Наиболее распространен аппарат РПА-2, состоящий из гофрированного меха, масок трех размеров, наголовника, языкодержателя, воздуховодов трех размеров и винтового расширителя. Для проведения искусственного дыхания необходимо уложить пострадавшего на спину, открыть и прочистить рот, вставить в рот воздуховод (чтобы не западал язык) и одеть соответствующую маску. С помощью ремней устанавливают степень растяжения меха, что определяет количество подаваемого воздуха. При растягивании меха воздух из атмосферы засасывается в мех. При сжатии меха этот воздух подается в легкие пострадавшего. Во время следующего растягивания меха происходит пассивный выдох через дыхательный клапан. В аппарате также предусмотрен предохранительный клапан, препятствующий повышению давления в легких пострадавшего выше нормы (более 300 мм вод. ст.).

Мероприятия по оживлению, включающие одновременное проведение закрытого массажа сердца и искусственного дыхания, выполняются когда пострадавший находится в состоянии клинической смерти. Закрытый массаж сердца и искусственное дыхание проводят так же, как описано выше. Если помощь оказывают два человека, то один из них производит закрытый массаж сердца, а второй — искусственное дыхание. При этом на каждое вдывание воздуха производится 4—5 надавливаний на грудную клетку. Во время вдывания воздуха надавливать на грудную клетку нельзя. Если оказывает помощь один человек, то ему самому приходится произво-

дить и закрытый массаж сердца и искусственное дыхание. Очередность операции при этом следующая: 2—3 раза вдывание воздуха, а затем — 15 толчков в область сердца.

Мероприятия по оживлению необходимо проводить до восстановления нормальной работы сердца и органов дыхания, о чем свидетельствуют следующие признаки: порозовение кожи, сужение зрачков и восстановление реакции глаз на свет, появление пульса на сонных артериях, восстановление дыхания. Если оживить пострадавшего не удастся, то эти мероприятия необходимо проводить до прибытия медицинской помощи или появления явных признаков необратимой (биологической) смерти: трупных пятен, окоченения, снижения температуры тела до температуры окружающей среды.

Список литературы

1. Временные методические указания по расследованию электротравм на производстве. М., 1977. 17 с.
2. Гольдсмит В. А., Иваниченко А. С. Справочник энергетика промышленных предприятий. К., Техника, 1977. 464 с.
3. Долин П. А. Основы техники безопасности в электрических установках. М., Энергия, 1970. 336 с.
4. Долин П. А. Справочник по технике безопасности. М., Энергия, 1973. 448 с.
5. Долин П. А. Электротехнические защитные средства и предохранительные приспособления. М.—Л., Энергия, 1966. 376 с.
6. Королькова В. И. Электробезопасность на промышленных предприятиях. М., Машиностроение, 1971. 520 с.
7. Манойлов В. Е. Основы электробезопасности. Л., Энергия, 1976. 342 с.
8. Найфгальд М. Р. Заземление, защитные меры электробезопасности. М., Энергия, 1971. 312 с.
9. Объем и нормы испытания электрооборудования. М., Энергия, 1975. 224 с.
10. Охрана труда в электроустановках. Под ред. Б. А. Князевского. М., Энергия, 1977. 320 с.
11. Правила устройства электроустановок. М., Энергия, 1966. 464 с.
12. Правила технической эксплуатации и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. Днепропетровск, Промінь, 1973. 355 с.
13. Правила пользования и испытания защитных средств, применяемых в электроустановках. Днепропетровск, Промінь, 1973. 48 с.
14. Справочник по электротехническим защитным средствам и приспособлениям. М., Энергия, 1978. 64 с.
15. Цапенко Е. Ф. Контроль изоляции в сетях до 1000 В. М., Энергия, 1972. 152 с.
16. Шипунов Н. В. Защитное отключение. М., Энергия, 1968. 160 с.

Раздел V.

ПОЖАРО-ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Глава 12.

ПОЖАРНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВ

12.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Пожаро-взрывобезопасность представляет собой такое состояние объекта или производственного процесса, при котором исключается возможность пожара и взрыва, а в случае их возникновения предотвращается воздействие на людей опасных факторов пожара и взрыва и обеспечивается защита материальных ценностей. Пожаро-взрывобезопасность обеспечивается за счет систем предотвращения пожара и взрыва и систем пожаро- и взрывозащиты, организационными и организационно-техническими мероприятиями.

Системы предотвращения пожара и взрыва и пожаро- и взрывозащиты являются составной частью мер обеспечения безопасных условий труда.

Система предотвращения пожара и взрыва должна разрабатываться по каждому конкретному объекту из расчета, что нормативная вероятность возникновения пожара или взрыва принимается равной не более 10^{-6} в год в расчете на отдельный пожароопасный узел (элемент) данного объекта.

Система пожаро- и взрывозащиты должна разрабатываться по каждому конкретному объекту из расчета, что нормативная вероятность воздействия опасных факторов пожара и взрыва на людей принимается равной не более 10^{-6} в год в расчете на отдельного человека. Опасными факторами пожара и взрыва, воздействующими на людей, являются открытый огонь и искры; повышенная температура воздуха, предметов и т. п.; токсичные продукты горения и взрыва; дым; пониженная концентрация кислорода; обрушение и повреждение зданий, сооружений, установок и разлетание их осколков, ударная волна.

12.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЖАРО-ВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТИ

Мероприятия по пожаро-взрывобезопасности разрабатываются на основании действующих документов, таких как нормы технологического проектирования; СНиП (строительные нормы и правила); ПУЭ; ПИВРЭ (Правила изготовления взрывозащитного и рудничного электрооборудования); СН 805—69 (Указания по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений); ПТЭ и ПТБ (Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей), и других общесоюзных, отраслевых, республиканских норм, правил, инструкций, стандартов, технических условий, а также ГОСТ ССБТ: ГОСТ 12.1.004—76, ГОСТ 12.1.010—76, ГОСТ 12.2.020—76, ГОСТ 12.2.037—78.

Нормативные документы по пожаро-взрывобезопасности разрабатывает и издает Государственный пожарный надзор (ГПН) и другие организации, согласующие разрабатываемые ими нормативные документы с ГПН. Государственный пожарный надзор осуществляется МВД СССР через Главное управление пожарной охраны и местные органы пожарной охраны.

Требования пожаро-взрывобезопасности нормативных документов обязательны для всех ведомств, предприятий, учреждений и отдельных лиц при проектировании, строительстве, реконструкции, ремонте и эксплуатации предприятий, зданий и сооружений и т. п. Вся ответственность за выполнение требований пожаро-взрывобезопасности возлагается на проектировщиков, строителей и эксплуатационников.

Ответственность за пожаро-взрывобезопасность предприятия, отдельных цехов, мастерских, а также за своевременное их выполнение возлагается персонально на руководителя предприятия, начальника цеха, склада, мастерской. Назначение ответственных лиц за пожарную безопасность цехов, мастерских, складов оформляется приказом руководителя предприятия.

Соблюдение противопожарных нормативных документов при проектировании, строительстве и эксплуатации контролирует ГПН путем проверки проектных организаций, строек, предприятий. При выявлении отступлений от требований нормативных документов ГПН предписывает устранить нарушения. Если при обследовании строек и предприятий устанавливаются нарушения, создающие непосредственную угрозу возникновения пожара или взрыва, ГПН имеет право приостановить строительство и работу предприятия, организации, установки и т. д. Лица, нарушающие правила пожаро-взрывобезопасности, предупреждаются ГПН (устно и письменно), материалы на них могут передаваться в товарищеский суд или общественные организации для принятия мер общественного воздействия или для наложения штрафа. Если при проверке устанавливаются признаки преступления, ГПН возбуждает уголовное дело.

В настоящее время установлено два основных вида пожарной охраны — профессиональная и добровольная. Профессиональная пожарная охрана делится на воинизированную (ВПО), невоенизированную (НПО), министерства внутренних дел (МВД) и ведомственную пожарную охрану других министерств и ведомств. В Министерстве внутренних дел СССР входит Главное управление пожарной охраны (ГУПО).

В зависимости от степени пожарной опасности основных отраслей народного хозяйства и других особенностей в министерствах внутренних дел союзных и автономных республик имеются управления (УПО) и отделы (ОПО) пожарной охраны, в управлениях внутренних дел крайисполкомов, облисполкомов и крайоблгорисполкомов организованы управления или отделы пожарной охраны. Наиболее крупные города, административные центры и особо опасные в пожарном отношении объекты охраняются военизированными пожарными частями (ВПЧ), а менее круп-

ные города, районные центры, поселки городского типа и другие объекты — невоенно-зированными профессиональными пожарными частями (ППЧ) МВД. Промышленные предприятия ряда ведомств железнодорожного и водного транспорта охраняются ведомственной пожарной или объединенной пожарно-сторожевой охраной. В промышленных городах и районных центрах сельской местности в зависимости от их величины имеются отделы, отделения, отряды и инспекции государственного пожарного надзора.

В зависимости от степени пожарной опасности объекты народного хозяйства охраняют ведомственные военизированные пожарные части (ВВПЧ); военизированные горноспасательные или газоспасательные части (ВГСЧ); профессиональные пожарные части (ППЧ); профессионально-производственные пожарные части (ПППЧ), состоящие из рабочих и служащих данного предприятия и профессиональных работников пожарной охраны; объединенная пожарно-сторожевая охрана (ПСО), на которую возлагается как общая охрана предприятия, так и охрана от пожаров.

В целях усиления работы по предупреждению пожаров и борьбы с ними, а также привлечения инженерно-технического персонала и общественности к проведению противопожарных мер на предприятиях и других объектах организуются добровольные формирования и создаются пожарно-технические комиссии, возглавляемые главным инженером, все руководители служб предприятий являются членами пожарно-технических комиссий.

Все поступающие на предприятие должны инструктироваться по мерам пожарной безопасности. Для работников, занятых на наиболее опасных в пожарном отношении участках производства, организуется изучение противопожарного технического минимума.

12.3. ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ И ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

В основе явлений, происходящих при пожарах, лежит горение, все сопутствующие явления — деформация и обрушение строительных конструкций и технологического оборудования, взрывы, вскипание и выброс жидкостей и т. п. — являются следствием горения.

Горение возникает при наличии горючего вещества, окислителя и источника воспламенения. Окислителями могут быть кислород, хлор, бром, кислородсодержащие вещества и др. При горении в воздухе окислителем является кислород. Горючее вещество и окислитель находятся в определенном количественном соотношении, образуя воспламеняющую (горючую, взрывоопасную) смесь. Для начала горения воспламеняющаяся смесь или горючее вещество должны быть нагреты до определенной температуры источником воспламенения: пламенем, искрой, накалившимся телом или теплом, выделяющимся в результате химической реакции или механической работы.

Газы образуют воспламеняющуюся смесь при смешивании их в необходимом количестве с воздухом. Жидкости и твердые вещества образуют воспламеняющиеся смеси, если они нагреты до температуры, при которой вследствие испарения или разложения образуются парогазообразные продукты в достаточном количестве. Пыль твердых веществ образует воспламеняющуюся смесь, если она находится в воздухе во взвешенном состоянии (аэрозоль) в достаточном количестве.

По способности к горению в воздухе (горючести) все вещества и материалы подразделяются на негорючие, трудногорючие и горючие. Из числа горючих выделяют легковоспламеняющиеся и трудновоспламеняющиеся вещества и материалы.

Негорючими веществами и материалами называются такие, которые не способны к воспламенению и горению в воздухе обычного состава. К этим веществам относятся газообразные (азот, сернистый газ, хлористый водород, хлор); жидкие (вода, серная кислота, перекись водорода, соляная кислота и др.); твердые (перекись натрия, марганцовокислый калий, хромовый ангидрид, фосфаты, бораты, сульфаты, хлориды металлов и др.), т. е. материалы неорганического происхождения, естественные и искусственные.

Трудногорючими веществами и материалами называются такие, которые способны гореть только под воздействием источника зажигания и горение которых прекращается после его удаления. К таким веществам относятся огнезащитные

горючие материалы (фибrolит, некоторые виды пластмасс, слабые водные растворы спиртов, трихлорэтилен и др.).

Горючими называются материалы и вещества, которые загораются от источника зажигания и продолжают гореть после его удаления. К горючим веществам относятся газообразные (водород, окись углерода, природный газ, метан, этилен, ацетилен); жидкие (бензин, керосин, бензол, толуол, спирты, ацетон и др.), твердые (древесина, пластмассы, каучук, резино-технические изделия, натрий, калий, барий и др.).

К трудновоспламеняющимся относятся горючие вещества и материалы, которые при хранении на открытом воздухе или в помещении не возгораются даже при длительном воздействии источника зажигания незначительной энергии (пламени спички, искры, накалированного электропровода и т. п.). Они возгораются от более мощного источника, который нагревает значительную часть вещества до температуры воспламенения.

К легковоспламеняющимся относятся горючие материалы, которые на открытом воздухе или в помещении способны без предварительного нагрева возгораться от кратковременного действия источника зажигания незначительной энергии (полистирол, пенополиуретан и др.).

Продуктами пожара или взрыва могут быть газообразные, жидкие и твердые вещества. Состав и объем их зависят от состава и объема горючего или взрывоопасного вещества и условия его горения или взрыва. Различают продукты полного и неполного сгорания. К продуктам полного сгорания относятся углекислый газ, сернистый газ, пары воды, азот и др. Все они не способны гореть или образовывать взрывоопасную смесь и не поддерживают горение большинства горючих веществ.

К продуктам неполного сгорания относятся окись углерода, сажа и продукты термоокислительного разложения. Продукты сгорания многих органических и неорганических веществ содержат взвешенные твердые частицы (сажа, окислы, соли и др.).

Большинство продуктов термоокислительного разложения, так же, как и продукты неполного сгорания, способны гореть при условии притока к ним свежего воздуха и даже создавать взрывоопасную смесь. Кроме того, продукты разложения представляют опасность для человека. Так, например, углекислый газ при концентрации 3—4,5% при получасовом вдыхании становится опасным, а при концентрации 8—10% вызывает потерю сознания и смерть.

Окись углерода — отравляющее вещество. При концентрации 0,4% и вдыхании в течение 300 с вызывает смерть. К основным показателям пожарной опасности веществ относятся: температурный класс (группа горючести), температура вспышки, температура воспламенения, температура самовоспламенения, склонность к самовозгоранию, область воспламенения газов, паров в воздухе (пределы взрыва), температурные пределы воспламенения паров в воздухе, нижний предел воспламенения взрывозвеси твердых веществ, максимальное давление взрыва, склонность к электризации, воспламеняющая способность от электрических искр, характер взаимодействия горящего вещества с водопенными средствами тушения пожара.

Температура вспышки — наименьшая температура горючего вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары или газы, способные вспыхнуть в воздухе от внешнего источника зажигания. Устойчивые горение при этом не устанавливается вследствие малой скорости испарения. Температура вспышки показывает, при какой температуре вещество подготовлено к воспламенению и является экспресс-параметром, ориентировочно показывающим температурные условия, при которых вещество становится огнеопасным в открытом сосуде.

Температура вспышки принята за основу классификации жидкостей по степени их пожарной опасности.

Согласно ГОСТ 12.1.004—76, в зависимости от температуры вспышки жидкости подразделяются на легковоспламеняющиеся (ЛВЖ) с температурой вспышки паров не выше 61°С (в закрытом тигле) или 66°С (в открытом тигле) и горючие (ГЖ) с температурой вспышки паров выше соответственно 61°С и 66°С. К ЛВЖ относятся, например, бензин, керосин, ацетон, бензол, спирт метиловый и др., к ГЖ — минеральные и растительные масла и др.

Легковоспламеняющиеся жидкости делятся на три разряда: I — особо опасные ЛВЖ с температурой вспышки от —18°С и ниже в закрытом тигле или —13°С и ниже в открытом тигле; II — постоянно опасные ЛВЖ с температурой вспышки выше —18°С до +23°С в закрытом тигле или выше —13 до +27°С в открытом тигле;

III — опасные при повышенной температуре воздуха ЛВЖ с температурой вспышки от 23 до 61° С в закрытом тигле или от 27 до 66° С в открытом тигле.

Температура воспламенения — наименьшая температура, при которой вещество выделяет такое количество горючих паров или газов и с такой скоростью, что они воспламеняются от источников зажигания и продолжают устойчиво гореть.

У легковоспламеняющихся жидкостей температура воспламенения выше температуры вспышки примерно на 1—5° С, причем чем ниже температура вспышки жидкости, тем меньше эта разность. Так, для бензина, бензола, ацетона и других жидкостей, имеющих температуру вспышки ниже 0° С, эта разность составляет 1° С, и практически в открытом сосуде трудно отличить вспышку от воспламенения. У горючих жидкостей, имеющих температуру вспышки выше 0° С, эта разность доходит до 30° С и выше.

Температура самовоспламенения — это наименьшая температура вещества, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, приводящее к возникновению горения пламенем. Различают два способа воспламенения: самовоспламенение и вынужденное воспламенение, или зажигание.

Если горючее вещество или воспламеняющуюся смесь нагреть до определенной температуры, в них происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающихся возникновением пламенного горения. Такой процесс возникновения горения называется самовоспламенением, а температура, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, называется температурой самовоспламенения. Самовоспламенение может быть тепловое и цепное. При температуре самовоспламенения вещества горение еще не возникает. Оно возникает и развивается при температуре горения (пламени), значительно превышающей температуру самовоспламенения. Например, температура самовоспламенения бензина 260° С, а его пламени 1200—1300° С. Скачок в подьеме температуры с 260 до 1200° С — результат самонагрева паров бензина с воздухом.

Время с момента нагрева вещества от температуры самовоспламенения до появления пламени называют периодом индукции, или временем запаздывания самовоспламенения. Для газовых смесей оно составляет десятки и сотни секунд, для твердых веществ может составлять часы и дни. Период индукции имеет практическое значение при действии на горючее вещество маломощных источников воспламенения, например искры. При попадании искры в воспламеняющуюся смесь происходят нагрев смеси и охлаждение искры. Если период индукции больше времени охлаждения искры до температуры ниже температуры самовоспламенения, воспламенение смеси или вещества не происходит.

Горение, возникающее под действием местного источника — небольшого пламени, электрической искры, накаливаемого тела, тепла, выделенного в результате механической работы, химической реакции и т. п., называется воспламенением, вынужденным воспламенением или зажиганием.

Физическая сущность процесса воспламенения та же, что и самовоспламенения, но при воспламенении источник локально разогревает часть объема воспламеняющейся смеси или горючего вещества до температуры, обуславливающей ее самовоспламенение и горение, а процесс самовоспламенения происходит во всем его объеме.

Температуру самовоспламенения газов и паров учитывают при классификации газов и паров ЛВЖ по температурному классу (группам) взрывоопасности для выбора электроустановок, температурных условий безопасного применения вещества при нагреве его до высоких температур; для вычисления максимально допустимой температуры нагрева нетеплоизолированных поверхностей технологического, электрического и иного оборудования; расследования причин пожаров, если необходимо определить, могло ли самовоспламениться вещество от нагретой поверхности.

По температуре самовоспламенения взрывоопасные смеси газов и паров жидкостей в соответствии с ГОСТ 12.2.020—76, ГОСТ 12.1.011—78 разделяются на шесть температурных классов (групп):

Температурный класс	Предельная температура
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	80

Склонность к самовозгоранию характеризует способность ряда веществ и материалов самовозгораться и гореть при нагревании до сравнительно небольших температур или при контакте с другими веществами, а также при воздействии тепла, выделяемого микроорганизмами в процессе их жизнедеятельности. Различают теп-

Таблица 12.1. Порядок хранения пожароопасных веществ

Группа вещества	Группа вещества, с которой не допускается совместное хранение	Помещения для хранения
I. Взрывчатые вещества динамит, нитроглицерин, гремучий студень, дымный и бездымный порох и т. д.	II, III, IV, V, VI, VII, VIII	Специальные огнестойкие склады, погреба, землянки
II. Хлораты и селитры селитры аммиачная, калиевая, кальциевая, натриевая и т. п.	I; III, а; IV; V; VI; VII	Изолированные отделения огнестойких складов
III. Сжатые и сжиженные газы горючие и поддерживающие горение: ацетилен, водорода, водяной газ, воздух сжатый и жидкий, дивинил, кислород, нефтяной газ, окись этилена, пропилен, сероводород негорючие газы: азот, аргон, гелий, неон, сернистый ангидрид, углекислый газ	I, II, IV, V, VII, VIII; не допускается совместное хранение разноименных газов группы III, а IV, V, VIII	Специальные огнестойкие склады или открытый воздух под навесом
IV. Самовозгорающиеся и воспламеняющиеся вещества карбид кальция, металлические калий, кальций и натрий, фосфор желтый, фосфористые кальций и натрий, промасленные и волокнистые материалы и опилки	I, II, III, V, VII, VIII	Изолированные отделения общих складов Изолированные отделения общих огнестойких складов
V. Легковоспламеняющиеся жидкости ацетон, бензин, скинсол, нефть, сероуглерод, скипидар, спирты, эфиры органических кислот, эфир серный и дитролейный	I; II; III, а, б; IV; VI; VII; VIII	Специальные огнестойкие склады, погреба
VI. Отраваляющие и сильнодействующие вещества мышьяковистый ангидрид, мышьяковистые препараты, соли ртутные и цианистые, фосген, хлор, хлорпикрин	I, IV, V, VIII	Специальные закрытые помещения
VII. Вещества, могущие вызвать воспламенение бор, марганцовокислый калий, сильные кислоты (азотная, серная), хлориды органические, хромовая кислота и ее соли	I; II; III, а; IV; V; VI; VIII	Каждое вещество изолировано от других
VIII. Легкогорючие материалы вата, джут, пенька, сажка, солома, стружка древесная, хлопок, щепка	I, II, III, IV, V, VI, VII	Изолировано от веществ прочих групп

ловое, химическое и микробиологическое самовозгорания. Склонность к тепловому самовозгоранию характеризуют температурами самонагрева и тления, температурой среды, при которой наблюдается самовозгорание, а также размерами и формой образца. Таким образом, процесс теплового самовозгорания состоит из двух стадий: самонагрева и самовоспламенения, которому предшествует тление.

Самовозгорающиеся вещества по характеру возможных химических реакций можно подразделить на следующие группы: самовозгорающиеся при соприкосновении с воздухом, при контакте с водой, при смешивании или соприкосновении

(несовместимые вещества), разлагающиеся под воздействием температуры, удара и трения.

К веществам, самовозгорающимся при соприкосновении с воздухом, относятся растительные масла и животные жиры и продукты, приготовленные на их основе или с их добавкой (олифа, краски, лаки, пропиточные составы и т. д.); каменные и бурые угли, фрезерный торф, порошкообразные металлы (торий, цирконий, титан, алюминий, цинк, сплав «ЦЕТО»); белый, желтый и красный фосфор; сернистые соединения металлов.

Эти вещества окисляются кислородом воздуха при обычных или повышенных температурах. При условии аккумуляции тепла происходит их саморазогрев до температуры самовоспламенения.

К веществам, воспламеняющимся или вызывающим горение при соприкосновении с водой, относятся следующие: натрий, калий, карбиды кальция и щелочных металлов, гидраты щелочных металлов, негашеная известь, рубидий, силаны, фосфористый кальций и натрий и т. д.

К веществам, воспламеняющим органические соединения при взаимоконтакте, относятся твердые, жидкие и газообразные окислители: хлор, бром, фтор, окислы азота, азотная кислота, перекиси натрия и бария, хромовый ангидрид, селитры, перхлораты, перганаты, соли хромовой кислоты, жидкий и сжатый кислород и др.

Окислители вызывают самовозгорание органических веществ при смешивании или соприкосновении с ними. Иногда это происходит при незначительном подогреве, механическом воздействии или в присутствии небольшого количества влаги. В некоторых случаях реакция носит характер взрыва. Сжатый кислород вызывает самовозгорание минерального масла. Ацетилен, водород, метан, этилен в смеси с хлором самовозгораются на свету. Скипидар, будучи распределен в пористом веществе, самовозгорается в хлоре. Красный фосфор самовозгорается при соприкосновении с хлором или бромом. Скипидар и этиловый спирт самовозгораются при соприкосновении с азотной кислотой. При соприкосновении с перекисью натрия самовозгораются метиловый, этиловый, пропиловый, бутиловый, изоамиловый и бензиловый спирты, этилен-гликоль, диэтиловый эфир, анилин, скипидар, уксусная кислота. Перманганат калия вызывает самовозгорание глицерина, этилен-гликоля. При попадании на хромовый ангидрид самовозгораются метиловый, этиловый, бутиловый, изобутиловый и изоамиловый спирты, диэтиловый эфир, этилацетат, ацетон.

Основным требованием пожарной безопасности является раздельное хранение окислителей и органических веществ, предотвращение взаимоконтакта и смешения окислителей и органических веществ при их использовании.

Для каждой группы веществ установлен определенный порядок хранения (табл. 12.1).

К разлагающимся при воздействии тепла и давления или удара относятся химические вещества, получающиеся в результате реакций, протекающих с поглощением тепла (эндотермических), например, карбиды меди, серебра, ртути, ацетилен, взрывчатые вещества и др. Процесс разложения этих веществ всегда сопровождается выделением тепла и может закончиться их самовоспламенением или взрывом. Хранятся и используются такие вещества при условии защиты от воздействия тепла, ударов, резких повышений температуры и давления.

Область (пределы) воспламенения газов, пыли и паров в воздухе — это область концентрации данного газа, пара или пыли в воздухе при атмосферном давлении, в которой смеси газа, пара или пыли с воздухом способны воспламеняться от внешнего источника зажигания.

Граничные концентрации области воспламенения называют соответственно нижним (НПВ) и верхним (ВПВ) концентрационными пределами воспламенения или взрываемости, а смеси между нижним и верхним пределами — воспламеняющимися или взрывоопасными. Для газов и паров жидкости НПВ и ВПВ определяются в объемных процентах, для пыли или волокон — в граммах на кубический метр (табл. 12.2).

Величины пределов воспламенения используют при расчете допустимых концентраций внутри взрывоопасных технологических аппаратов, систем рекуперации, вентиляции; а также при определении предельно допустимой взрывоопасной концентрации паров и газов при работе с применением искрящего инструмента.

За величину предельно допустимой взрывоопасной концентрации (ПДВК) паров или газов при работе с применением огня и искрящего инструмента следует принимать концентрацию, которая не превышает 5% величины НПВ данного пара или

газа, пыли или волокон в воздухе при отсутствии в рассматриваемом аппарате конденсированной фазы.

Температурные пределы воспламенения паров в воздухе определяются такой температурой вещества, при которой его насыщенные пары образуют концентрации соответственно нижнему или верхнему концентрационным пределам воспламенения. Соответственно они называются нижним (НТПВ) и верхним (ВТПВ) температурными пределами воспламенения (табл. 12.3).

Температурные пределы воспламенения учитывают при расчете безопасных температурных режимов закрытых технологических аппаратов с жидкостями и летучими твердыми веществами, работающих при атмосферном давлении.

Таблица 12.2. Пределы взрываемости некоторых веществ

Горючие вещества	НПВ, %	ВПВ, %
Водород	4	75
Оксид углерода	12,5	74
Аммиак	15	28
Ацетон	2	13
Бензол	1,4	7,1
Ацетилен	2,5	100
Толуол	1,3	6,7

Таблица 12.3. Температурные пределы воспламенения некоторых веществ

Горючее вещество	НТПВ, °С	ВТПВ, °С
Ацетон	-20	6
Бензол	-14	13
Толуол	0	30

Безопасной для образования взрывоопасных паровоздушных смесей следует считать температуру вещества на 10°C ниже НТПВ или на 15°C выше ВТПВ.

Если аппарат работает при опасных температурах даже непродолжительное время, необходимо предусматривать меры по флегматизации взрывоопасных паровоздушных смесей инертными газами, специальными флегматизирующими веществами или другими средствами.

Нижний предел воспламенения взрывов твердых веществ — наименьшая концентрация вещества в воздухе, при которой смесь способна воспламениться с последующим распространением пламени на весь объем смеси. Для пылей обычно определяется только НПВ. Его учитывают при классификации производств по пожарной опасности в соответствии со СНиП и помещений по ПУЭ.

Азровзвеси твердого вещества в зависимости от НПВ делятся на особо взрывоопасные с $\text{НПВ} \leq 15 \text{ г/м}^3$, взрывоопасные с $\text{НПВ} \leq 65 \text{ г/м}^3$ и пожароопасные с $\text{НПВ} > 65 \text{ г/м}^3$. Характеристика воспламенения некоторых твердых веществ приведена ниже.

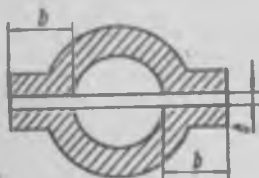
Горючие вещества	НПВ взрывов, г/м^3
Древесная мука	12,6—25
Пыль полиэтилена (фракция 250 мкм)	45
Пыль серы (фракция 650 мкм)	23
Пыль сахара (фракция 74 мкм)	15
Пыль промышленная железного порошка	100

Максимальное давление взрыва — это наибольшее давление, которое возникает при наиболее пожаро-взрывоопасной газо-, паро- и пылевоздушной смеси в замкнутом объеме при начальном давлении смеси 0,1 МПа. Значения данной величины для некоторых веществ приведены ниже.

Горючее вещество	Давление взрыва, 10^5 Па
Ацетон	8,93
Аммиак	6
Древесная мука	7,7
Водород	7,39
Ацетилен	10,3

Величина максимального давления взрыва учитывается в расчетах на взрывоустойчивость аппаратуры с горючими газами, жидкостями и порошкообразной продукцией, в расчетах предохранительных клапанов и мембран, оболочек взрывонепроницаемых электроустановок в соответствии с ПИВРЭ.

Категория взрывоопасной смеси. Если шарообразную оболочку (рис. 12.1), части которой соединяются между собой плоскими поверхностями, заполнить газопаровоздушной взрывоопасной смесью и поместить в пространство, заполненное этой же смесью, то при поджигании смеси в оболочке пламя, проникая через зазор (щель) δ между прилегающими плоскостями длиной b , может воспламенить окружающую среду, т. е. передать взрыв наружу. При определенных значениях длины и ширины зазора в нем происходит затухание пламени. Это обусловлено тем, что тепловыделения при горении взрывоопасной смеси, заключенной в объеме зазора, меньше теплоотдачи к стенкам зазора, температура продуктов горения (взрыва) понижается в сравнении с температурой пламени и пламя гаснет. Зазор между плоскими



поверхностями длиной 25 мм, при котором частота передачи взрывов из стандартной оболочки объемом 2,5 л составляет 50%, принят за критический пламегасящий, и по нему ПУЭ и ПИВРЭ устанавливают четыре категории взрывоопасных смесей. Категории взры-

Рис. 12.1. Принципиальная схема устройства оболочки взрывонепроницаемого электрооборудования.

воопасных смесей (ГОСТ 12.1.011—78) используют при определении параметров взрывонепроницаемого электрооборудования. Категории устанавливаются по ширине критического зазора:

Категория смеси	Ширина критического зазора длиной 25 мм, при которой частота передачи взрывов составляет 50%, мм
1	Более 1,0
2	0,65—1,0
3	0,35—0,65
4	Менее 0,35

Склонность к электризации, воспламеняющая способность от электрических искр. Разряды статического электричества могут образоваться при перемещении жидкостей, газов и пылей, при ударах, измельчении, распылении и подобных процессах механического воздействия на материалы и вещества, являющиеся диэлектриками.

Разность потенциалов при электризации диэлектриков может достигать очень высоких значений:

Процессы, вызывающие электризацию	Напряжение электрического поля, В
Протекание чистого бензола по стальным трубам	3600
Выпуск из баллона ацетилена, увлажненного ацетоном	9000
Выпуск двуокиси углерода из баллона	800
Движение кожаного приводного ремня со скоростью 15 м/с	80 000

При разности потенциалов 700 В искровой разряд может воспламенять все горючие газы, а при 5000 В — большую часть горючих пылей.

Воспламеняющая способность от электрических искр оценивается по величинам воспламеняющих токов в индуктивной или безындуктивной цепях и напряжений в емкостной цепи или минимальной энергии зажигания. Воспламеняющим током и воспламеняющим напряжением считаются такие, которые вызывают воспламенение взрывоопасной среды с вероятностью 10^{-3} . Воспламеняющий ток и воспламеняющее напряжение используются при расчете и конструировании искробезопасного электрооборудования, установок и аппаратуры. Токи и напряжения должны быть в 2 раза меньше тока воспламенения и напряжения воспламенения.

Значение минимальной энергии воспламенения используется при оценке опасности статического электричества. Минимальная энергия воспламенения — это наименьшее значение энергии искры электрического разряда (мДж), способной воспла-

менить наиболее легковоспламеняющуюся взрывоопасную смесь паров жидкости или пыли с воздухом.

Экспериментальные данные показывают, что применяемые в промышленности жидкости и газы имеют воспламеняющий ток в пределах 160—250 мА и минимальную энергию воспламенения 0,3—0,01 мДж. Установлено, что для веществ и материалов, минимальная энергия зажигания которых более 100 мДж, статическое электричество пожарной опасности не представляет.

Характер взаимодействия с водопенными средствами тушения. При выборе средств тушения выявляются вещества, при взаимодействии которых с водой, воздушно-механической и химической пеной могут возникать бурные химические реакции, увеличивающие интенсивность горения и даже взрыва.

Значения взрыво-пожароопасных параметров индивидуальных веществ, смесей и технических продуктов приведены в справочных данных [6; 7] и ГОСТ 12.1.004—76.

Распределение веществ по категориям в зависимости от способности передачи взрыва через зазоры в оболочке, по воспламеняющей способности от электрических искр и группам по температуре самовоспламенения приведено в ПУЭ, ПНВРЭ и ГОСТ 12.2.020—76.

Рассмотренные основные показатели пожарной опасности веществ и материалов легли в основу классификации производств по степени пожарной опасности.

12.4. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВ ПО ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНОСТИ

Возможность выделения газов, паров и пыли при применении, производстве, переработке, обработке и хранении веществ и материалов, способных образовывать взрывоопасную смесь в объеме помещения, определяет взрывную, взрыво-пожарную и пожарную опасность производств.

В основу классификации производств положены сравнительные данные, определяющие вероятность возникновения пожара или взрыва в зависимости от свойств и состояния веществ и материалов, образующихся в производстве, с учетом их количества.

Согласно СНиП II-М.2-72, производства и склады в зависимости от склонности к возгоранию применяемых или хранимых в них материалов и веществ по взрывной, взрыво- и пожароопасности делятся на шесть категорий: А, Б, В, Г, Д, Е.

Категория А — взрыво- и пожароопасные, в которых находятся в обращении горючие газы с НПВ 10% и менее к объему воздуха; жидкости с температурой вспышки паров до 28°С включительно при условии, что эти газы и жидкости могут образовывать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5% объема помещения; вещества, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или один с другим.

Категория Б — взрыво- и пожароопасные, с применением или обращением в производстве горючих газов, НПВ которых составляет более 10% к объему воздуха; жидкости с температурой вспышки паров от 28 до 61°С; жидкости, нагретые в условиях производства до температуры вспышки и выше; горючие пыли или волокна, НПВ которых составляет 65 г/м³ и менее к объему воздуха при условии, что указанные газы, жидкости и пыли могут образовывать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5% объема помещения.

Категория В — пожароопасные, в которых находятся в обращении жидкости с температурой вспышки паров свыше 61°С; горючие пыли или волокна, НПВ которых более 65 г/м³ к объему воздуха; вещества, способные гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или между собой; твердые горючие вещества и материалы.

Категория Г — производства, в которых в обращении находятся негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; твердые, жидкие и газообразные вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

Категория Д — производства, в которых в обращении находятся негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Категория Е — взрывоопасные, в которых в обращении находятся горючие газы без жидкой фазы и взрывоопасные пыли в таком количестве, что они могут

образовать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5% объема помещения, и в которых по условиям технологического процесса возможен только взрыв (без последующего горения); вещества, способные взрываться (без последующего горения) при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или между собой.

Склады и наружные установки относятся к соответствующим категориям производства в зависимости от обращающихся в них веществ и материалов.

К категориям А, Б, В не относятся производства, в которых твердые, жидкие и газообразные вещества сжигаются в качестве топлива или утилизируются сжиганием, а также производства, в которых технологический процесс протекает с применением открытого огня.

В случаях, когда из-за малых количеств или низкой взрыво- и пожароопасности образующихся веществ затруднено установление категории производства, ее определяют расчетным путем в соответствии с «Указаниями по определению категорий производств по взрывной, взрыво-пожарной и пожарной опасности» СН 463—74. При установлении категории производства в соответствии с Указаниями необходимо определить: 1) какие вещества обращаются в технологических процессах, их количество и агрегатное состояние, а также каковы их пожароопасные свойства (горючесть, температура вспышки, концентрационные пределы воспламенения и др.); 2) общее количество горючих веществ (газов, жидкостей), вышедших при аварии из аппаратов, трубопроводов в производственное помещение до момента ликвидации аварийного состояния; 3) количество паров, образующихся при испарении разлившейся горючей жидкости, сжиженного газа или количества газа, выходящего из аппарата с избыточным давлением в воздух помещения; 4) объем взрывоопасной смеси (на НПВ с учетом коэффициента безопасности) при выходе горючих веществ в производственное помещение в результате аварии технологического оборудования; 5) расчетный (свободный) объем помещения за вычетом объема, занимаемого производственными аппаратами и оборудованием; 6) величину относительного объема взрывоопасной смеси в помещении.

Глава 13.

СИСТЕМЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЖАРА И ВЗРЫВА

13.1. ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЖАРА И ВЗРЫВА

К системам предотвращения пожара и взрыва относятся: предотвращение образования горючей и взрывоопасной среды и образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания и инициирования взрыва; поддержание температуры горючей среды ниже максимально допустимой по горючести; поддержание давления в горючей среде ниже максимально допустимого по горючести; уменьшение определяющего объема горючей среды ниже максимально допустимого по горючести, т. е. обеспечение пожарной безопасности технологического процесса, оборудования, электроустановок, систем отопления и вентиляции.

Взрывоопасной средой может быть смесь веществ (газов, паров и пылей) с воздухом и другими окислителями (кислород, озон, хлор, окислы азота и др.), способная к взрывчатому превращению, а также вещества, склонные к взрывному разложению (ацетилен, озон, гидразин, аммиачная селитра и др.).

Источником зажигания и инициирования пожара и взрыва являются горящие или нагретые тела, электрические разряды, тепловые проявления химических реакций и механических воздействий, искры от удара и трения, ударные волны, солнечная радиация, электромагнитные и другие излучения.

Предотвращение образования горючей и взрывоопасной среды должно обеспечиваться регламентацией допустимой концентрации горючих газов, паров и взвесей в воздухе; применением ингибирующих (химически активных) и флегматизирующих (инертных) добавок; допустимой концентрации кислорода или другого окислителя; горючести обращающихся веществ, материалов, оборудования и конструкций; применением рабочей и аварийной вентиляции; отводом взрывоопасной среды; применением герметичного оборудования; выбором скоростных режимов движения среды; контролем состава воздушной среды.

Пожаро-взрывоопасные составы среды внутри технологического оборудования должны быть установлены нормативно-технической документацией на конкретный производственный процесс.

Предотвращение образования источников зажигания и инициирования взрыва должно быть обеспечено регламентацией огневых работ; ограничением нагрева материалов и оборудования до температуры ниже температуры самовоспламенения. Необходимо также применение материалов, не создающих при соударении искр, способных воспламенить или инициировать взрыв пожаро-взрывоопасной среды; средств защиты от атмосферного и статического электричества, блуждающих токов, токов замыкания на землю и т. д.; технологического процесса и оборудования, удовлетворяющих требованиям электростатической искробезопасности; электрооборудования, соответствующего классу пожаро-взрывоопасности помещения или наружной установки, температурному классу и категории взрывоопасной смеси. Должны быть ликвидированы условия для теплового, химического и микробиологического самовозгорания образующихся веществ, материалов, изделий и конструкций; ограничена мощность электромагнитных и других излучений; должны применяться средства, понижающие давление на фронте ударной волны; быстродействующие средства защитного отключения возможных источников пожара и взрыва; устранены контакты с воздухом пирфорных веществ и веществ, нагретых до температуры самовоспламенения. Показатели пожарной опасности веществ приведены в приложении 2 ГОСТ 12.1.004—76.

13.2. ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ ПОЖАРО- И ВЗРЫВОЗАЩИТЫ

К системам пожаро- и взрывозащиты относятся: применение негорючих и трудногорючих веществ и материалов; ограничение количества горючих и взрывоопасных веществ и их размещение; изоляция горючей и взрывоопасной среды; предотвращение распространения пожара за пределы очага; применение средств пожаротушения, конструкций объектов с регламентированными пределами огнестойкости и горючести. Пожаро- и взрывозащита включает также эвакуацию людей; применение средств коллективной и индивидуальной защиты людей; систему противодымной защиты; применение средств пожарной сигнализации и средств извещения о пожаре; организацию пожарной охраны объекта.

Количество горючих и взрывоопасных веществ и их размещение должны регламентироваться количеством (массой, объемом) горючих и взрывоопасных веществ и материалов, находящихся одновременно в помещении, на складе; наличием аварийного слива пожаро-взрывоопасных жидкостей и аварийного стравливания горючих газов из аппаратуры; противопожарными разрывами и защитными зонами; числом рабочих мест, на которых используются пожаро-взрывоопасные вещества.

Изоляция горючей и взрывоопасной среды должна обеспечиваться максимальной механизацией и автоматизацией технологических процессов; установкой пожаро-взрывоопасного оборудования в изолированных помещениях или на открытых площадках; применением для пожаро-взрывоопасных веществ герметизированного оборудования и тары; применением изолированных отсеков, камер, кабин и т. п.

Распространение пожара и взрыва должно предотвращаться с помощью устройств противопожарных преград (стен, зон, поясов, защитных полос, занавесов), огнепреградителей, гидрозатворов, водяных и сланцевых заслонов, инертных газовых или паровых завес; установления предельно допустимых площадей противопожарных и взрывобезопасных отсеков и секций; устройства аварийного отключения и переключения аппаратов и коммуникаций; защиты аппаратов от разрушения при пожаре или взрыве с помощью устройств аварийного сброса давления (предохранительные мембраны или клапаны). Локализация пожара обеспечивается также применением оборудования, рассчитанного на давление взрыва; применением быстродействующих отсечных и обратных клапанов; применением средств, предотвращающих или ограничивающих разлив и растекание жидкостей.

Применяемые средства пожаротушения должны ограничивать размеры пожара и обеспечивать его тушение. При этом должны быть определены виды средств пожаротушения; вид, количество, размещение и содержание первичных средств пожаротушения в соответствии с ГОСТ 12.4.009—75; порядок хранения веществ, тушение которых недопустимо одними и теми же средствами; источники и средства подачи воды для пожаротушения; порядок обслуживания установок пожаротушения и хранения средств тушения; применение систем активного подавления взрыва.

Пределы огнестойкости конструкций объекта должны быть такими, чтобы конструкции сохраняли несущие и ограждающие функции в течение эвакуации людей или пребывания их в местах коллективной защиты. При этом пределы огнестойкости должны устанавливаться без учета воздействия средств тушения пожара, но с учетом пожаро-взрывоопасности производственных процессов.

Каждый объект должен иметь такое объемно-планировочное и техническое исполнение, чтобы эвакуация людей из него была завершена до наступления предельно допустимых уровней опасных факторов пожара или взрыва. Для обеспечения эвакуации необходимо установить размеры, количество эвакуационных путей и выходов и обеспечить соответствующее их конструктивное исполнение; обеспечить возможность беспрепятственного движения людей по путям эвакуации.

Средства коллективной и индивидуальной защиты должны обеспечивать безопасность людей в течение всего времени действия опасных факторов пожара и (или) взрыва. Коллективная и индивидуальная защита должна осуществляться в тех случаях, когда эвакуация людей затруднена или нецелесообразна.

Система противодымной защиты должна обеспечивать незадымление путей эвакуации в течение времени, достаточного для эвакуации людей.

Каждый объект народного хозяйства должен быть обеспечен надежными средствами извещения или сигнализации о пожаре в его начальной стадии.

Для возможности тушения пожара и безопасности людей, участвующих в его ликвидации, на объектах необходимо предусматривать технические средства (лестничные клетки, защищенные лифты, наружные пожарные лестницы, аварийные люки и т. п.), которые должны сохранять свои функции в течение расчетного времени, необходимого для тушения пожара.

Меры пожаро-взрывозащиты должны быть установлены в нормативно-технической документации на конкретные производственные процессы.

13.3. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРО-ВЗРЫВБЕЗОПАСНОСТИ

Организационные и организационно-технические мероприятия по обеспечению пожаро-взрывобезопасности должны включать разработку системы инструктивных материалов средств наглядной агитации, регламентов и норм ведения технологических процессов, правил обращения с пожаро-взрывоопасными веществами и материалами; организацию обучения, инструктажа и допуска к работе обслуживающего персонала пожаро-взрывоопасных производственных процессов; контроль и надзор за соблюдением норм технологического режима, правил и норм техники безопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности; организацию противопожарной, газоспасательных и горноспасательных работ и установление порядка ведения работ в аварийных условиях; организацию пожарной охраны (профилактического и оперативного обслуживания объектов).

Вид пожарной охраны (военноизбранная, профессиональная, добровольные формирования и т. п.), порядок профилактического и оперативного обслуживания объектов, необходимость организации подразделений пожарной охраны и их численность определяются в установленном порядке.

В производственных процессах с целью обеспечения пожаро-взрывобезопасности следует контролировать параметры пожаро-взрывоопасности исходных веществ; технологический режим; состав атмосферы производственных помещений; технологическое оборудование; электрооборудование.

Контролироваться должны следующие параметры пожаро-взрывоопасности: температура вспышки по ГОСТ 6356—75 в закрытом тигле и по ГОСТ 13921—68 в открытом тигле; пределы воспламенения (концентрационные пределы для горючих газов) по ГОСТ 13919—68; температурные пределы воспламенения для жидкостей и легкоплавающих веществ по ГОСТ 13922—68; температура самовоспламенения жидкостей и легкоплавающих веществ по ГОСТ 13920—68.

В производственных помещениях, горных выработках содержание пожаро-взрывоопасных веществ в воздухе необходимо контролировать периодически; в помещениях, горных выработках, где возможно скопление выбросов, проливов газобразных и жидких пожаро-взрывоопасных веществ — непрерывно.

Техническое освидетельствование и испытания технологического оборудования с целью выполнения требований взрывобезопасности (проверка прочности, герметичности и т. д.) следует осуществлять в соответствии с нормами и правилами, утвержденными Госгортехнадзором СССР, а также с нормативно-технической документацией на данный процесс.

13.4. ОСНОВНЫЕ МЕРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЖАРА И ВЗРЫВА И ПОЖАРО-ВЗРЫВОЗАЩИТЫ

Категория производства имеет первостепенное значение при проектировании и эксплуатации производств, так как позволяет установить оптимальные требования пожарной профилактики, обеспечивающие безопасность производств.

Меры пожаро-взрывобезопасности при проектировании технологических процессов и эксплуатации должны предусматривать устройства и технические средства, обеспечивающие содержание в производственных помещениях предельно допустимых взрывоопасных концентраций (ПДВК) горючих газов, паров жидкостей, пыли и волокон (т. е. предупреждать образование взрывоопасной смеси и появление и источников воспламенения). ПДВК, в соответствии с инструкцией ВНИИПО № 02р—70, составляет 5% значения нижнего концентрационного предела воспламенения.

Соблюдение предельно допустимых концентраций должно достигаться рациональной организацией технологических процессов; комплексной механизацией и автоматизацией производственных операций с автоматическим или дистанционным контролем и управлением, а также автоматической сигнализацией о выделении горючих веществ; герметизацией технологического оборудования, аппаратуры, приборов, коммуникаций для предупреждения выделения горючих веществ; выносом из помещений узлов, аппаратов и других источников выделения горючих веществ; заменой горючих веществ негорючими или менее горючими; заменой сухих способов переработки пылящих материалов мокрыми; местными отсосами от оборудования и автоблокировкой пусковых устройств технологического и санитарно-технического оборудования, а также устройством общеобменной приточно-вытяжной и аварийной вентиляции; рекуперацией летучих растворителей и очисткой от них технологических выбросов и промышленных сточных вод; контролем исправности технологического оборудования и планово-предупредительным ремонтом его.

Появление источников воспламенения должно предупреждаться соблюдением теплового режима обработки веществ и материалов, не допускающих их опасного нагрева; установлением режима применения, транспортировки и хранения веществ и материалов с учетом предупреждения взрыва или горения при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом; выбором электрооборудования, обеспечивающего невоспламенение взрывоопасной смеси от искр, дуг, пламени и нагретых частей электрооборудования; устройством молниезащиты и защиты от статического электричества; применением инструментов и вращающихся механизмов, например вентиляторов, из неискрящих металлов; предупреждением выбросов искр из дымовых и выхлопных труб; ограничением нагрева приборов отопления, технологического оборудования, предупреждением перегрева трущихся частей; выполнением мер пожарной безопасности при проведении огневых работ (электро-сварка и резка, газопламенная обработка металлов, бензокеросинорезные и паяльные работы и др.).

Для обеспечения пожарной безопасности предприятия в целом, цехов, мастерских, складов, установок в процессе эксплуатации разрабатываются противопожарные инструкции. Инструкции разрабатываются инженерно-техническим составом, согласовываются с пожарной охраной предприятия, утверждаются руководителем предприятия и вывешиваются на видных местах. Противопожарные инструкции цехов, мастерских, складов предусматривают специальные мероприятия для отдельных производств, несоблюдение которых может вызвать взрыв или пожар; порядок и нормы хранения пожаро-взрывоопасных веществ и материалов в цехах, мастерских, складах, кладовых; места, где запрещается применение открытого огня и курение, а также, где курение разрешено. В инструкциях оговариваются также порядок сбора, хранения и удаления промасленных концов, содержания и хранения спецодежды, уборки и очистки цеха, мастерской и т. п.; способы введения в действие первичных средств пожаротушения и специальных огнетушительных установок, действия и обязанности работников цеха, мастерской при возникновении пожара —

правила вызова пожарной помощи, остановки технологического оборудования, отключение вентиляции и электрооборудования, применение средств пожаротушения, порядок эвакуации ценностей и т. п.

Строительные материалы и конструкции по возгораемости разделяются на негорючие, трудногорючие и горючие.

Под воздействием высокой температуры пожара у негорючих и трудногорючих конструкций могут образоваться сквозные трещины и отверстия, через которые проникают продукты горения или пламя, необогреваемая поверхность конструкции прогревается до температуры, обуславливающей самовоспламенение соприкасаю-

Таблица 13.1. Группа возгораемости и минимальные пределы огнестойкости основных строительных конструкций, ч

Степень огнестойкости здания или сооружения	Несущие стены, стены лестничных клеток, колонны	Наружные стены из навесных панелей и наружные факторные стены	Плиты, настилы и другие несущие конструкции междуэтажных и чердачных перекрытий	Плиты, настилы и другие несущие конструкции покрытий	Внутренние несущие стены (перегородки)	Противопожарные стены (брандмауэры)
I	2,5	0,5	Негорючие 1,0	0,5	0,5	2,5
II	2,0	0,25	Негорючие 0,75	0,25	Трудногорючие 0,25	Негорючие 2,5
III	2,0	0,25 Трудногорючие 0,5	Трудногорючие 0,75	Горючие	Трудногорючие 0,25	Негорючие 2,5
IV	Трудногорючие 0,5	Трудногорючие 0,25	Трудногорючие 0,25	Горючие	Трудногорючие 0,25	Негорючие 2,5
V	Горючие	Горючие	Горючие	Горючие	Горючие	Негорючие 2,5

щихся с ней веществ, конструкции теряют несущую способность и обрушаются. Это приводит к распространению горения в смежные помещения. Время, в течение которого конструкции задерживают распространение огня, оценивается пределом огнестойкости. Предел огнестойкости конструкции определяется временем в часах от начала огневых испытаний до образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, повышения температуры на необогреваемой поверхности выше допустимой, обрушения конструкции. Пределы огнестойкости и возгораемость строительных конструкций приведены в СНиП. Здания и сооружения в зависимости от возгораемости и предела огнестойкости их основных строительных конструкций подразделяются на пять степеней огнестойкости (табл. 13.1).

Различные производства и подсобные, складские и вспомогательные помещения, как правило, объединяются в одном здании. Степень огнестойкости и количество этажей принимаются в зависимости от категории производства. Чем опаснее производство по взрыву или пожару, тем выше степень огнестойкости здания и меньше допускаемое количество этажей. Производства, более опасные по взрыву

или пожару, если это допускается требованиями технологии, размещаются в одноэтажных зданиях — у наружных стен, в многэтажных зданиях — на верхних этажах. В перекрытиях многэтажных зданий с производствами категорий А, Б и Е, как правило, устраиваются проемы (открытые или перекрытые решетчатым настилом) площадью 10—15% площади помещения. В зданиях, где применяются или перерабатываются воспламеняющиеся жидкости, проемы устраиваются в соответствии с требованиями технологии. При взрыве в здании продукты взрыва стравливаются через проемы, что снижает давление взрыва до величины, безопасной для прочности и устойчивости строительных конструкций.

Производства различных категорий допускается размещать в одном помещении. Для предупреждения взрыва и распространения очага горения технологическое оборудование герметизируется, применяются местные отсосы, автоматические локальные средства пожаротушения, взрыво- и пожароопасные процессы проводятся в кабинах, ограждаемых экранами. При недостаточной эффективности указанных мероприятий производства различных категорий размещаются в отдельных помещениях, разделяемых негорючими перегородками. Перегородки, отделяющие помещения с производствами категорий А, Б и Е — пылегазонепроницаемые. Для устранения проникновения огня, газов, паров и пыли из одного помещения в другое в местах проемов во внутренних стенах и перегородках помещений с производствами категорий А, Б и Е устраиваются тамбур-шлюзы из негорючих конструкций с обеспечением в тамбурах избыточного давления воздуха.

В помещениях без световых или аэрационных фонарей с производствами категорий А, Б и Е для удаления дыма при пожаре устраиваются дымовые вытяжные шахты с ручным и автоматическим открыванием.

Наружные ограждающие конструкции зданий или помещений с производствами категорий А, Б и Е, как правило, легко сбрасываются при воздействии взрывной волны. К ним относятся окна с обычным стеклом, двери, распашные ворота, фонарные переплеты, легкие конструкции. Площадь легкосбрасываемых конструкций определяется расчетом, она должна быть не менее $0,05 \text{ м}^2$ для производства категорий А и Е и не менее $0,03 \text{ м}^2$ — для производства категории Б на 1 м^3 взрывоопасного помещения.

Для ограничения распространения пожара здания и сооружения разделяются на секции противопожарными преградами — негорючими перекрытиями и противопожарными стенами (брандмауэрами). Площадь этажа между противопожарными стенами принимается в зависимости от категории производства, степени огнестойкости и этажности здания. Учитывается также наличие sprinkлерных или автоматических дренчерных установок и автоматической пожарной сигнализации.

Противопожарные стены возводятся от фундамента на всю высоту здания или сооружения, разделяют горючие и трудногорючие покрытия на 30—60 см выше кровли и выступают за плоскость наружных горючих или трудногорючих стен, за карнизы и свесы крыш на 30 см. Площадь дверей, ворот, окон и других проемов в противопожарных стенах должна составлять не более 25% их площади. Двери, ворота должны быть негорючими или трудногорючими, samozакрывающимися, окна — неоткрывающимися. При невозможности защиты проемов дверями или воротами устраиваются открытые (без дверей) тамбуры из негорючих конструкций со sprinkлерными установками. Вентиляционные каналы, пересекающие противопожарные преграды, выполняются из негорючих материалов, а по обе стороны преграды устанавливаются автоматические огнезадерживающие заслонки.

Для эвакуации людей из зданий и помещений при пожаре используются проезды, проходы, двери, ворота, коридоры, предусматриваемые для производственных целей. Если их для эвакуации недостаточно или они не удовлетворяют требованиям, устраиваются специальные эвакуационные выходы. Ворота для железнодорожного транспорта, лифты, эскалаторы и другие механические средства передвижения людей в качестве эвакуационных выходов использовать не допускается.

Из зданий или помещений устраивается, как правило, не менее двух выходов, расположенных рассредоточенно. Один выход допускается только в случаях, указанных в СНиП. Потребное количество выходов определяется так, чтобы расстояние от наиболее удаленного рабочего места до ближайшего эвакуационного выхода было равно или меньше допустимого. Допустимое расстояние зависит от категории производства, степени огнестойкости и этажности зданий.

Суммарная ширина маршей лестничных клеток устанавливается в зависимости от количества людей, находящихся на наиболее населенном этаже, кроме первого.

Ширина дверей, коридоров или проходов по путям эвакуации во всех этажах принимается из расчета не менее 0,6 м на 100 чел. при соблюдении наименьшей ширины дверей 0,8 м, коридоров — 1,4 м, проходов — 1,0 м, маршей и площадок лестниц — 1,05 м.

Лестницы для эвакуации располагаются в лестничных клетках с боковым естественным освещением. В зданиях I и II степени огнестойкости с производствами категорий В, Г и Д таких лестниц может быть 50%, но не менее двух. В лестничных клетках без естественного освещения обязательно искусственное освещение — рабочее и аварийное с автоматическим включением, а в покрытиях — люки для выпуска дыма.

Таблица 13.2. Противопожарные разрывы между зданиями и сооружениями, м

Степень огнестойкости зданий и сооружений	Степень огнестойкости зданий и сооружений			
	I и II	III	IV и V	
I и II	См. примечание	9	12	
III	9	12	15	
IV и V	12	15	18	

Примечание. Для категорий А, Б и В — 9 м. Это расстояние уменьшается до 6 м при одном из следующих условий: если здание оборудуется стационарными автоматическими средствами пожаротушения; если здание оборудуется автоматической пожарной сигнализацией; если удельная загрузка горючими веществами в зданиях менее или равна 10 кг/м² площади этажа. Для остальных категорий не нормируется.

горючих материалов не располагаются по отношению к другим производственным зданиям и сооружениям с наветренной стороны ветров преобладающего направления. Установки с открытыми источниками огня или выбросом искр не располагаются с наветренной стороны по отношению к открытым складам воспламеняющихся жидкостей и горючих материалов.

Расстояния (разрывы) между зданиями и сооружениями принимаются в соответствии с технологическими нормами, условиями размещения транспортных путей и инженерных сетей, но не менее санитарных и противопожарных.

Санитарные разрывы между зданиями и сооружениями, освещаемыми через оконные проемы, должны быть не менее наибольшей высоты до верха карниза противостоящих зданий и сооружений. Если одно из противостоящих зданий или сооружений со стороны, обращенной к другому, не имеет световых проемов, разрыв определяется высотой здания или сооружения без световых проемов.

Противопожарные разрывы между зданиями и сооружениями определяются по СНиП II-M.1—71 в зависимости от степени огнестойкости с учетом категории производства (табл. 13.2).

Площадка предприятия должна иметь выезды на дороги общего пользования. Дороги на территории предприятия должны обеспечить подъезд пожарных автомобилей к зданиям и сооружениям. При устройстве тупиковых дорог в конце тупика устраиваются петлевые объезды или площадки для разворота.

Устройство винтовых лестниц, забежных ступеней на путях эвакуации и подъемных дверей не допускается, вращающиеся двери не учитываются. Двери должны открываться по направлению выхода из здания. В лестничных клетках не должно быть рабочих, складских и иного назначения помещений, промышленных газопроводов, трубопроводов воспламеняющихся жидкостей, выходов из шахт грузовых подъемников, оборудования, выступающего из плоскости стены на высоте до 2 м от поверхности проступей и площадок лестниц.

При разработке генеральных планов промышленных предприятий площадка по ее функциональному использованию разделяется на зоны: производственную, предзаводскую, подсобную, складскую. Зонирование осуществляется с учетом технологических связей, санитарно-гигиенических и противопожарных требований, грузооборота и видов транспорта. Взрывоопасные и пожароопасные объекты, склады воспламеняющихся жид-

13.5. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК И РАДИОАППАРАТУРЫ

13.5.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК И РАДИОАППАРАТУРЫ

Возникновению пожара способствует наличие на объекте горючего вещества, окислителя и источника воспламенения. В качестве горючего компонента могут служить строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, окна, двери, полы, мебель, стеллажи, изоляция силовых и сигнальных кабелей, а также радиотехнические детали и соединительные провода электронной схемы.

Окислителем служит кислород воздуха. Источником воспламенения являются электрические искры, дуги и перегретые опорные поверхности, радиоизделия и элементы. Источники воспламенения возникают в электронных схемах, кабельных линиях и т. п.

Таким образом, при эксплуатации электроустановок (ЭУ) и радиоаппаратуры (РЭА) могут присутствовать все три основных фактора, способствующих возникновению пожара. Вероятность их одновременного взаимодействия в различных ЭУ и РЭА не всегда одинакова. В зависимости от конструкции и условий эксплуатации ЭУ и РЭА существуют специфические особенности их пожарной опасности.

Для электронных устройств характерно частое появление источников открытого огня при коротких замыканиях, пробоях и перегрузках. Однако мощность и продолжительность действия этих источников воспламенения сравнительно малы, поэтому горение, как правило, не получает развития. Возникновение пожара в электронных устройствах возможно, если они изготовлены из горючих изоляционных материалов.

Кабельные линии электропитания состоят из горючего изоляционного материала, и поэтому являются наиболее опасным элементом в конструкции ЭУ и РЭА с точки зрения возможности возникновения пожара.

ЭУ и РЭА представляют сложный комплекс электрических цепей. По пожарной опасности их можно сравнить с обычными электрическими цепями. При прохождении электрического тока по проводникам и радиотехническим элементам и изделиям выделяется тепло. Если на каком-либо участке электронной схемы количество выделяемого тепла превысит допустимый предел, то происходит его перегрев. При соприкосновении перегретых элементов и изделий с горючими веществами и материалами могут возникнуть загорания и пожары. Практика показывает, что источники пламени в электронной схеме РЭА могут возникать в результате сильного нагревания и излучения тепла деталями, которые могут воспламенить близлежащие детали, изготовленные из легковоспламеняющихся материалов; загорания трансформаторов, дросселей и резисторов, когда через них проходит ток, превышающий величину, допустимую для данного изделия; нарушения изоляции монтажных проводов, пробой конденсаторов, короткого замыкания, вследствие чего происходит пробой деталей и возникает электрическая дуга.

Надежность работы радиоэлектронных изделий гарантируется только в определенных интервалах температуры, влажности, тока и напряжения. Ввиду возможных отклонений электрических и климатических параметров, а также ухудшения технического состояния устройств элементы электронной схемы являются наиболее вероятными и частыми источниками открытого пламени и высоких температур в ЭУ и РЭА. Так, например, при возможных повреждениях схемы мощность рассеивания резисторов может резко возрасти. При полутора-двукратном превышении допустимой мощности рассеивания резисторы типа МЛТ нагреваются до 200—300° С и начинается выделение дыма. Трех-четырекратная перегрузка нарушает их параметры, а при шести—десятикратной перегрузке резисторы горят ярким пламенем с разбрасыванием искр. Горение нередко завершается взрывом резистора.

В РЭА возможны загорания резисторов в результате пробоев в цепях делителей напряжений, а также при включении РЭА и во время проведения профилактики в утяжеленных режимах. Резисторы типа СП часто выходят из строя из-за выгорания их в месте установочного движка. В других схемах остеклованные резисторы могут нагреваться выше 100° С.

Резисторы и другие радиодетали представляют пожарную опасность не только как источники воспламенения, но и как горючий материал. Особенно опасны горящие резисторы для жгутов монтажного провода с горючей синтетической изоляцией. Если эти провода попадают в зону пламени или соприкасаются с сильно нагретой деталью, то изоляция плавится, провод оголяется и происходит замыкание в схеме, которое вызывает нагрев, плавление изоляции и загорание других проводов.

В процессе эксплуатации РЭА зарегистрированы пробон конденсаторов, германиевых диодов, выгорание отдельных элементов схемы (заваривание контактов на реле), выгорание шин питания на платах в результате ухудшения изоляции проводов, выгорание проволочных реостатов.

Таблица 13.3. Показатели пожарной опасности электронизоляционных материалов

Материал	Возгораемость	Температура воспламенения, °С	Скорость выгорания в 1 кг/м ² в 1 мин	Теплотворная способность, Дж/кг (ккал/кг)	Характер пламени
Полистирол	Горючий	274	4,4	$4,18 \cdot 10^7$ (10 000)	Коптящее
Полиэтилен	»	306	2,5	$1,13 \cdot 10^8$ (27 000)	Бездымное
Плексиглас	»	200	5,6	$6,9 \cdot 10^7$ (16 500)	»
Полихлорвинил	»	560	1,7	$3,76 \cdot 10^7$ (9000)	Коптящее
Винипласт	Трудновоспламеняющийся	580	—	$1,8 \cdot 10^7$ (4320)	»
Резина	Горючий	220	—	$4,9 \cdot 10^7$ (11 700)	»
Текстолит	Трудновоспламеняющийся	358	1,3	$2,38 \cdot 10^7$ (5700)	Самозатухающее
Гетинакс	То же	285	1,3	$2,46 \cdot 10^7$ (5900)	То же

Причиной возникновения загорания в радиотехнической схеме может явиться небрежное исполнение и нарушение правил монтажа. Наличие оголенных концов монтажных проводов при их случайном сближении приводит к короткому замыканию. Особенно это опасно при монтаже разъемных плат: применяемые разъемы с плавающими контактами при перекосе могут сблизить подводящие проводники и также вызвать короткое замыкание.

Под действием вентиляционных потоков воздуха, применяемых для охлаждения ЭУ и РЭА, возможна вибрация отдельных элементов аппаратуры, которая может ослаблять болтовые и винтовые соединения деталей и проводников, вызывая увеличение переходных контактных сопротивлений и их перегрев.

В ЭУ и РЭА применяются изоляционные материалы, которые являются горючими. Важнейшими органическими и элементоорганическими электронизоляционными материалами являются естественные и синтетические смолы; пластмассы на основе смол и эфиров целлюлозы; волокнистые материалы; электронизоляционные пленки; материалы на основе каучука; электронизоляционные жидкости; воскообразные вещества; лаки, компаунды и различные сорта клея. Почти все синтетические смолы и пластмассы на их основе являются горючими материалами (табл. 13.3).

Многие электронизоляционные материалы нетеплостойки. Нарушение температурного режима может привести к их разложению с выделением пожароопасных побочных продуктов и потерей диэлектрических характеристик. Значения теплостойкости некоторых изоляционных материалов приведены в табл. 13.4. Рабочие температуры изоляционных материалов не должны превышать указанных температур.

Причиной возникновения пожара в силовых и высоковольтных анодных трансформаторах являются короткие замыкания оголенных проводов, плохие контакты на клеммах и ухудшение диэлектрических свойств электронизоляционных материалов,

Вследствие этого образуются искры, наблюдаются горение проводов и прогорание текстолитовых плат.

Генераторы и электродвигатели имеют одинаковую пожароопасность. Пожарная опасность электродвигателя заключается в возможности возникновения загорания на обмотках или клеммах от коротких замыканий, а также перегрузок. Пожарная опасность электродвигателей может быть значительно уменьшена при правильном выборе и расчете аппаратов защиты (плавких предохранителей, тепловых реле, автоматов). Установка плавких предохранителей и тепловых реле с завышенным, а также с заниженным номинальным током срабатывания во многих случаях приводит к ухудшению работоспособности системы электропитания и увеличению вероятности загораний.

Таблица 13.4. Теплостойкость электроизоляционных материалов

Материал	Теплостой- кость, °С	Материал	Теплостой- кость, °С
Аминопласт	100	Полихлорвинил	65
Асбест	400	Полиэтилен	70
Воск	65	Радиофарфор	1000
Канифоль	85	Резина	50
Капрон	90	Слюда	500
Карболит	110	Текстолит	120
Лакоткань	205	Фибра	100
Микалес	400	Целлулоид	50
Озокерит	75	Церезин	75
Парафин	50	Шеллак	100
Оргстекло	60	Эбонит	70
Полистирол	65	Электрокартон	100
Политетрафторэтилен	200		

Практика показывает, что кабельные линии, служащие для подачи электропитания и передачи электрических сигналов, являются наиболее пожароопасным местом ЭУ и РЭА. Почти все крупные пожары возникали на силовых кабельных линиях вследствие нарушения правил укладки их, эксплуатации при повышенной температуре, что приводило к ускоренному старению изоляции кабелей и короткому замыканию. Кабель должен соответствовать номинальным параметрам сети, условиям окружающей среды, температурному режиму и снабжен аппаратами защиты.

13.5.2. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ В ЭУ И РЭА

По данным статистики, от короткого замыкания в электрических сетях, машинах и аппаратах происходит в среднем 43,3% пожаров, от воспламенения горючих материалов и предметов, находящихся в непосредственной близости от электропотребителей или соприкасающихся с ними (перегрев опорных поверхностей) — 33,2%, при токовых перегрузках — 12,3%; от перегрева мест соединения токоведущих частей в результате образования больших переходных сопротивлений — 4,6%; от воздействия на окружающую среду электрической дуги и электрического искрения, возникающих при разрыве цепей — 3,3%; от нагрева конструкций при переходе (выносе) на них напряжений — 3,3%.

В зависимости от вида электрооборудования пожары возникают от электропроводок — 41% (в том числе 29% от осветительных и 12% от силовых); от электронагревательных приборов — 26,2%; от электродвигателей — 7,1%; от светильников — 4,6%; от радиоприемников и телевизоров — 3,6%; от аппаратов управления — 3,6%; кабельных линий — 2,4%; от установочных электроизделий (штепсельные соединения, выключатели, патроны, предохранители) — 2,3; от силовых трансформаторов — 1,4%; от прочих видов электрооборудования — 7,8%.

Токи короткого замыкания (К. З.) в современных ЭУ и РЭА могут быть от единиц до сотен килоампер и зависят от следующих факторов: мощности источников питания (чем больше мощность, тем больше величина тока К. З.); от величины

полного сопротивления элементов цепи, включенных между источником питания и точкой К. З.; вида К. З. (трехфазное, однофазное и т. д.), при однофазном К. З. ток К. З. будет минимальным; времени с момента возникновения К. З. до отключения К. З. аппаратами защиты.

Токи К. З. обладают термическим и электродинамическим действиями и сопровождаются резким понижением напряжения в электрических сетях. Поэтому они могут перегреть токоведущие части и расплавить проводники. Перегрев проводников, электрические искры и дуги повреждают и воспламеняют изоляцию и окружающую горючую среду. Возникающие при этом большие механические усилия способны разрушить элементы электрооборудования.

Термическое действие токов К. З. Протекание по проводнику длительно допустимого тока ($I_{\text{доп}}$) связано с выделением тепла, Дж, количественно определяется по формуле

$$Q = I_{\text{доп}}^2 r t, \quad (13.1)$$

где $I_{\text{доп}}$ — длительно допустимый ток, А; r — активное сопротивление, Ом; t — время, с.

В начальный момент часть выделяемого тепла расходуется на повышение температуры проводника и его изоляции, часть тепла рассеивается в окружающую среду. При длительном протекании тока устанавливается стационарный режим, при котором вся выделяющаяся теплота передается в окружающую среду. Температура проводника в этом случае достигает постоянного значения, обусловливаемого величиной тока. Поэтому длительно допускаемые токи для проводников определяются предельно допустимой температурой нагрева, при которой изоляция будет в нормальном тепловом режиме и будет работать длительное время.

Время протекания тока К. З. не превышает нескольких секунд или даже долей секунды. Оно зависит от времени действия аппаратов защиты, например плавких предохранителей, автоматических выключателей, электронных схем защиты источников питания и т. д. Это обстоятельство позволяет не учитывать отвод тепла (теплопередачу) в окружающую среду за время К. З. и считать, что все выделенное в проводнике тепло расходуется на повышение его температуры (адиабатический процесс нагрева). Поэтому при протекании тока К. З., величина которого значительно превышает величину $I_{\text{доп}}$, температура нагрева проводника быстро увеличивается и может достичь опасных значений.

Электродинамическое действие тока К. З. Направление силы взаимодействия двух проводников, по которым протекает электрический ток, определяется направлением токов в проводниках. При одинаковом направлении токов электродинамические силы притягивают проводники, при разных направлениях — отталкивают. Величину электродинамической силы, Н, можно определить по формуле

$$F_9 = 2 \cdot 10^{-7} I_{\text{к.з.}}^2 \frac{l}{a}, \quad (13.2)$$

где l — длина параллельных проводников, м; a — расстояние между осями проводников, м.

К. З. сопровождается резким понижением напряжения в электрических сетях. В результате может быть частичное или полное расстройство электроснабжения потребителей. Понижение напряжения в питающей сети нарушает, например, нормальную работу электродвигателей, так как момент вращения асинхронных электродвигателей пропорционален квадрату подведенного к ним напряжения. Если момент вращения окажется меньше момента сопротивления, электродвигатель остановится. Остановка электродвигателя может привести к расстройству технологического процесса, а иногда и к порче продукции, взрыву, пожару (например, остановка электродвигателей насосов, вентиляторов может привести к прекращению подачи охлаждающей среды, что может явиться причиной аварии из-за повышения температуры, давления внутри установок и т. д.).

Причины возникновения К. З. Короткие замыкания возникают в результате нарушения изоляции токоведущих частей и внешних механических повреждений в электропроводниках, монтажных проводниках, обмотке двигателей и аппаратов.

Многие виды РЭА и оборудования не являются влаго- и пыленепроницаемыми, поэтому с течением времени производственная пыль (особенно токопроводящая),

химически активные вещества и влага проникают внутрь их оболочки и оседают на поверхности электроизоляционных конструкций и материалов и создают условия для возникновения чрезмерных токов утечки и дуговых К. З. При работе РЭА и электрооборудование нагреваются до допустимых температур при нормальных нагрузочных режимах и внешних температурных воздействиях, до значительных температур — при повышенных нагрузочных режимах. Поэтому при охлаждении в периоды остановок на отдельных изделиях и частях РЭА и электрооборудования может выпадать конденсат воды. Это пригодит к перекрытию или пробоям как изолированных обмоток, так и других токоведущих элементов или их частей. Изоляция РЭА может повреждаться при воздействии на нее высокой температуры или пламени, инфракрасного излучения, из-за перенапряжений в результате первичного или вторичного воздействия молнии, перехода напряжения с первичной обмотки силового трансформатора на вторичную и т. д. Причиной К. З. может быть склеивание проводов, подключаемых к воздушным линиям электропередач, под действием ветра. К возникновению К. З. могут привести ошибочные действия обслуживающего персонала при выполнении различных оперативных переключений, ревизиях и ремонтах РЭА и электрооборудования.

Профилактика К. З. Наиболее действенным предупреждением К. З. являются правильный выбор, монтаж и эксплуатация электрических сетей, РЭА, машин и электрооборудования. Конструкция, вид исполнения, способ установки и класс изоляции применяемых машин, стенов, приборов и РЭА, кабелей, проводов и прочего электрооборудования должны соответствовать номинальным параметрам РЭА или электроустановки (току, напряжению, нагрузке), условиям окружающей среды и требованиям ПУЭ. Кроме того, должна быть предусмотрена электрическая защита сетей, схем и РЭА. Наиболее эффективными аппаратами защиты являются быстродействующие реле и выключатели, установочные автоматы и плавкие предохранители. Однако эта защита не всегда предотвращает выброс электрических искр в окружающую среду при К. З. в схемах и, следовательно, не всегда может защитить от воспламенения горючие материалы. В современных схемах РЭА и электроустановках применяются бесконтактные автоматические схемы защиты.

Перегрузки. При прохождении тока по проводникам выделяющееся тепло нагревает их до температур, при которых усиливаются окислительные процессы и на проводах (особенно в контактных соединениях) образуются окисы, имеющие высокое сопротивление, увеличивается сопротивление контакта и, следовательно, количество выделяемого в нем тепла. Температура соединения растет, увеличивается окисление, а это может привести к полному разрушению контактного соединения проводов или к ускорению износа и разрушению изоляции.

Старение изоляции характеризуется уменьшением ее эластичности и механической прочности, под влиянием вибраций при работе трансформаторов, электродвигателей, вентиляторов она начинает растрескиваться и ломаться. Следствием этого могут быть электрический пробой изоляции и повреждение ЭУ и РЭА, а при наличии сгораемой изоляции и пожаро-взрывоопасной среды — пожар или даже взрыв. Согласно формуле (13.1), нагрев проводника возрастает с увеличением протекающего по нему тока. Поскольку каждый проводник рассчитан на определенный ток, увеличение его может привести к перегрузке.

Причиной возникновения перегрузок может быть неправильный расчет при проектировании сетей и схем. Если сечение проводников выбрано заниженным, то возникает перегрузка. Перегрузка может возникнуть из-за дополнительного подключения ЭУ и РЭА к сети или источнику питания, на которые они не рассчитаны. При увеличении числа электроприемников, питающихся от одной цепи, ток в магистральном (неразветвленном) участке цепи увеличивается.

Допустимые длительные токовые нагрузки ($I_{\text{доп}}$) приведены в ПУЭ. Максимально допустимая температура элементов электроустановок указана в соответствующих ГОСТ и ПУЭ.

Перегрузку проводников сетей, машин и аппаратов можно обнаружить по степени их нагрева с помощью термометров, термопар, амперметров, токоизмерительных клещей, а также по общей мощности всех включенных электроприемников и т. п.

Для защиты электроустановок от токов перегрузки наиболее эффективными являются автоматические схемы защиты, выключатели, тепловые реле и плавкие предохранители.

Переходные сопротивления. Причиной аварий и пожаров могут быть большие переходные сопротивления, возникающие в местах соединений, отводов и окон-

плавяний проводников, в контактах РЭА и другого оборудования. Падение напряжения на стыке соединений

$$\Delta U = I(r + r_k), \quad (13.3)$$

где $r_k = r_{\text{пер}} + r_{\text{пл}}$ — контактное сопротивление, где $r_{\text{пер}}$ — переходные сопротивления, вызванные неровностями на поверхности металла, Ом; $r_{\text{пл}}$ — сопротивление, вызванное наличием поверхностных (оксидных) пленок, Ом.

При протекании тока нагрузки в таком контактном соединении выделяется некоторое количество тепла, пропорциональное квадрату тока и сопротивлению точек действительного соприкосновения, и оно может быть столь значительным, что места переходных сопротивлений сильно нагреваются. Если контакты будут соприкасаться с горючими материалами, возможно их воспламенение, а во взрывоопасной смеси газов, паров и пылей это может явиться причиной взрыва.

Таблица 13.5. Значения коэффициентов ϵ и m при чистых неоокисленных контактах

Материал контактов	$\epsilon \cdot 10^{-4}$	Геометрическая форма контакта	m
Медь	0,7—1,4	Плоскость — плоскость	1
Алюминий	1,3—1,6	Многопластинчатая щетка — плоскость	1
Сталь	75—80	Болтовые шинные контакты	0,5—0,7
Серебро	0,5—0,6	Острые — плоскость	0,5
Алюминий — медь	10	Шар — плоскость	0,5
Сталь — медь	30	Шар — шар	0,5

Так как два проводника контактируют не по всей поверхности, а в отдельных точках, то плотность тока в местах контактирования может достигать до 10^7 А/мм². Действительная площадь соприкосновения контактов не зависит от их размеров, а определяется силой, сжимающей контакты, и временным сопротивлением упругости металла контактов:

$$S_d = \frac{F}{\sigma_{\text{см}}}, \quad (13.4)$$

где S_d — действительная площадь соприкосновения контактов, равная сумме элементарных площадок касания, м²; F — сила нажатия контактов, Н; $\sigma_{\text{см}}$ — временное сопротивление упругости металла, Па.

Зависимость переходного сопротивления многоточечного контакта $r_{\text{пер}}$ от силы нажатия на контакт F имеет вид:

$$r_{\text{пер}} = \frac{\epsilon}{F^m}, \quad (13.5)$$

где m — зависит от формы контактов, и, главным образом, от числа точек их соприкосновения (для одноточечных контактов $m = 0,5$, для многоточечных $m = 1$); ϵ — коэффициент, учитывающий удельное сопротивление материала контакта и $\sigma_{\text{см}}$, а также способ обработки контактных поверхностей (табл. 13.5).

Из табл. 13.5 видно, что величина переходного сопротивления контактов зависит от силы нажатия контактов, материала, из которого они изготовлены, геометрической формы и обработки их поверхностей.

Наряду с рассматриваемыми факторами на величину контактного сопротивления влияют окисление контактных поверхностей и образование поверхностных оксидных полупроводниковых пленок. Слой окисла может расти вглубь неограниченно. Особенно интенсивное окисление происходит при температуре нагрева контактов, превышающей 70—75°С, а также в среде, агрессивно воздействующей на контакты (химически активная среда, повышенная влажность и т. п.). Электрическая проводимость пленок значительно хуже, чем проводимость чистого металла.

Профилактика пожаров от контактных сопротивлений. Для увеличения площади действительного соприкосновения контактов необходимо применять упругие

контакты или специальные стальные пружины. Для отвода тепла от точек соприкосновения и его рассеивания необходимо изготавливать контакты определенной массы и поверхности охлаждения. Особое внимание следует уделять местам соединения проводов и подключения их к контактам устройств электроприемников. На съемных концах контакта применяют наконечники различной формы и специальные зажимы. Для надежности контакта предусматривают пружинящие шайбы и бортики, препятствующие растеканию алюминия. В местах, подвергающихся вибрации, при любых проводниках должны применяться пружинящие шайбы или контргайки. Все контактные соединения должны быть доступны для осмотра — их систематически контролируют в процессе эксплуатации.

Для уменьшения контактного сопротивления предусматривается неразъемное соединение проводов, основные из них — пайка, сварка, механическое соединение под давлением (опрессовка). Размыкающиеся контакты конструируют таким образом, чтобы размыкание и замыкание их сопровождалось скольжением одного контакта по другому. При этом тонкая пленка окислов разрушается и удаляется с площади действительного касания контактов, происходит, самоочищение контактов.

Контакты из меди, латуни и бронзы защищают от окисления лужением тонким слоем олова или сплава олова и свинца. В некоторой аппаратуре применяют серебряные контакты. Иногда к медным контактам приваривают серебряные пластинки, по которым происходит контактирование. Существенную роль играет защитная смазка, предохраняющая контактную поверхность от быстрого окисления.

13.6. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ПУЭ

Электроустановки проектируются и монтируются с учетом конкретных условий их эксплуатации.

Для обеспечения длительной и безопасной работы электротехнических установок, оборудования или РЭА необходимо, чтобы их конструкция соответствовала окружающей среде. Вне помещений среда характеризуется составом окружающей воздуха, его влажностью и температурой. Внутри помещений, зданий и сооружений среда обусловлена характером технологических процессов, химико-физическими свойствами обращающихся в производстве веществ и материалов.

Исходя из этого, все помещения подразделяются на сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие, пыльные, с химически активной средой, пожароопасные и взрывоопасные.

В соответствии с ПУЭ, отдельно классифицируются помещения, в которых обрабатываются, хранятся или образуются в результате технологического процесса пожаро- и взрывоопасные жидкие, твердые, парообразные или газообразные вещества и материалы, и в которых от электрических источников зажигания могут возникать загорания, пожары и взрывы. Выделяются две группы указанных помещений — пожароопасные и взрывоопасные. К отдельной группе относятся наружные установки с пожаро- и взрывоопасными веществами.

Пожароопасными помещениями называются такие, в которых обрабатываются или хранятся твердые горючие вещества и жидкости. По степени пожарной опасности указанные помещения подразделяются на следующие классы: П-I, П-II, П-IIa и П-III.

Класс П-I — помещения, в которых обращаются в производстве и хранятся ГЖ с температурой вспышки паров выше 61°C (66°C). Например, склады минеральных масел, установки по их регенерации, насосные станции ГЖ, цехи по пропитке хлопчатобумажных изделий маслами и лаками, хранилища масляных выключателей и трансформаторов.

Класс П-II — помещения, в которых по условиям технологического процесса выделяется горючая пыль. В данном случае опасность ограничивается только пожаром, так как в силу физических свойств этой пыли или волокон (степень измельчения и т. п.) НПВ составляет более 65 г/м^3 , или в силу того, что содержание ее в воздухе при нормальной эксплуатации оборудования не достигает взрывоопасных концентраций. К данным помещениям относятся деревоотделочные цехи и т. п.

Класс П-IIa — помещения, в которых образуются горючие вещества и материалы в твердом или волокнистом состоянии без выделения пыли и волокон.

Класс П-III — наружные установки и хранилища с ГЖ с температурой вспышки паров выше 61°C (66°C) и с твердыми горючими материалами. Например, открытые или под навесом склады и хранилища минеральных масел, древесины, угля, торфа и т. п.

Степень взрывоопасности помещений определяется физико-химическими и пожароопасными свойствами обращающихся веществ и материалов, условиями и характером протекания технологических процессов и специфическими явлениями, возникающими в разнообразных аварийных ситуациях. Согласно ПУЭ, взрывоопасные помещения и установки подразделяются на следующие классы. По горючим газам и парам предусмотрены три класса взрывоопасных помещений: В-I, В-Ia и В-Iб. По наружным установкам предусмотрен один класс В-Iг; по взрывоопасным пылям и волокнам предусмотрены два класса: В-II и В-IIa.

Класс В-I — помещения, в которых огнеопасные газы или пары выделяются в таком количестве и обладают такими свойствами, что могут образоваться с воздухом или иным окислителем взрывоопасные смеси при нормальных недлительных режимах работы. К ним относятся цехи с операциями по загрузке и выгрузке из технологических аппаратов обрабатываемых жидких веществ и материалов с температурой вспышки паров до 61°C (66°C) и др.

Класс В-Ia — помещения, в которых образование взрывоопасных смесей в нормальных условиях работы технологического оборудования не наблюдается, а возможно лишь вследствие аварии или неисправностей аппаратов, машин, установок.

Класс В-Iб — помещения характеризуются такими же показателями, что и В-Ia, но имеют следующие особенности: горючие газы имеют высокий НПВ (15% и более) и резкий запах; может иметь место лишь локальная взрывоопасная концентрация; горючие газы, ЛВЖ находятся в таких количествах, которые в помещениях не создают общей взрывоопасной концентрации, работа с ними ведется без применения открытого огня. Эти помещения относятся к невзрывоопасным при условии, что работа проводится в вытяжных шкафах и под вытяжным зонтом (лабораторные и опытные установки).

Класс В-Iг — наружные установки, в которых содержатся взрывоопасные пары, газы и ЛВЖ. Для наружных установок взрывоопасными считаются зоны в пределах до 20 м по горизонтали и вертикали от места открытого слива и налива ЛВЖ; до 3 м по горизонтали и вертикали от взрывоопасного закрытого технологического оборудования и 5 м по горизонтали и вертикали от дыхательных и предохранительных клапанов для остальных установок.

Класс В-II — помещения, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние пыль или волокна, способные образовывать с воздухом и другими окислителями взрывоопасные смеси при нормальных недлительных режимах работы технологических аппаратов и оборудования.

Класс В-IIa — помещения, связанные с оборудованием взрывоопасных пылевых смесей лишь в результате аварии или неисправности технологического оборудования.

Одновременно с этим следует учитывать возможные изменения классов взрывоопасности помещений в сторону уменьшения при условии выполнения ряда мероприятий, направленных на снижение пожарной опасности технологических процессов. Например, взрывоопасность помещений классов В-I, В-Ia, В-II можно снизить на одну ступень при условии выполнения одного из следующих мероприятий. Устройство системы вентиляции из нескольких вентиляционных агрегатов, постоянно находящихся в работе. При выходе из строя одного из них оставшиеся в работе полностью обеспечивают поддержание необходимой кратности обмена воздуха с равномерностью действия вентиляции по всему объему помещения, включая подвалы, каналы. Установка резервного вентиляционного агрегата, автоматически включающегося при остановке рабочего агрегата. Устройство автоматической сигнализации, действующей при возникновении в любом пункте помещения концентрации газов или паров, не превышающей 50% наименьшей взрывоопасности, а для ядовитых газов — при приближении концентрации к предельно допустимой санитарными нормами. Число сигнальных приборов, их расположение, система резервирования должны обеспечить безотказность действия сигнализации.

Помещения лабораторий и опытных установок класса В-Iб при выполнении одного из указанных мероприятий можно отнести к невзрывоопасным. Классы помещений, граничащих со взрывоопасными помещениями, определяются в соответствии с табл. VII—3 ПУЭ.

Помещения и наружные установки, связанные со сжиганием в них твердого, жидкого и газообразного топлива, и производства, в которых технологический процесс связан с применением открытого огня или раскаленных частей, либо наружные

поверхности технологического оборудования имеют температуру нагрева, превышающую температуру самовоспламенения паров ЛВЖ и ГЖ, горючих газов, пылей или волокон, относятся к невзрывоопасным и непожароопасным. Для этих помещений и установок электрооборудование выбирается в соответствии с условиями окружающей среды согласно общим требованиям ПУЭ.

В новой редакции ПУЭ взамен понятий «пожароопасные» и «взрывоопасные помещения и наружные установки» вводятся соответственно понятия «пожароопасная зона» и «взрывоопасная зона». Пожароопасной зоной (соответственно классов П-I, П-II, П-Ia, П-IIb) называется пространство, в котором могут находиться горючие вещества как при нормальном технологическом процессе, так и при его возможных нарушениях, и дополнительно пространство в пределах 3 м от него по горизонтали, а по вертикали — до ближайшего перекрытия.

Взрывоопасной зоной (соответственно классов В-I, В-Ia, В-Ib, В-II, В-IIa) называется пространство, в котором имеется постоянная или может появиться взрывоопасная концентрация горючих газов, паров и пылей и в пределах которого на способ исполнения и монтажа электроустановок накладываются ограничения с целью уменьшения опасности взрыва и пожара.

13.7. УРОВНИ И ВИДЫ ВЗРЫВОЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ИХ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Электроустановки подразделяются на общепромышленные и взрывозащищенные. Общепромышленные электроустановки средств взрывозащиты не имеют. Общепромышленное исполнение может быть: открытое, закрытое, защищенное, продуваемое, обдуваемое, пылезащищенное, брызгозащищенное, водозащищенное и маслозащищенное.

Открытые электроустановки не имеют специальных приспособлений для предохранения от случайных прикосновений к вращающимся и токоведущим частям, а также от попадания внутрь посторонних предметов, пыли, брызг воды и т. п. Охлаждение производится свободно проникающим воздухом.

Защищенные электроустановки имеют специальные приспособления (в виде щитков с мелкими отверстиями или сеток), защищающие от попадания внутрь двигателей посторонних твердых тел, а также от случайных прикосновений к вращающимся и токоведущим частям. От пыли, волокон, брызг воды эти установки не защищены. Охлаждение осуществляется окружающим воздухом.

Капле-брызгозащищенные установки имеют специальные устройства (защитные козырьки, жалюзи), которые предотвращают проникновение внутрь водяных капель, падающих вертикально (каплезащищенное исполнение) или под углом 45° к вертикали (брызгозащищенное исполнение).

Закрытые установки имеют оболочку, которая предохраняет от попадания внутрь волокон, грубой пыли и капель воды. От проникновения газов, тонкой пыли и паров жидкостей они не защищены.

Закрытые установки, снабженные вентиляционным устройством для обдувания их наружной части, называются обдуваемыми.

Надежная и безопасная в пожарном отношении эксплуатация электроустановок может быть обеспечена только в том случае, если их исполнение соответствует условиям окружающей среды. В сухих помещениях применяется открытое и защищенное исполнение электроустановок; во влажных и сырых помещениях — защищенное, капле-брызгозащищенное с влагостойкой изоляцией; в особо сырых помещениях — капле-брызгозащищенные с влагостойкой изоляцией обмоток или закрытое; в жарких помещениях — защищенное или закрытое (обдуваемое или продуваемое). В пыльных помещениях при негорючей пыли исполнение должно быть закрытое, продуваемое чистым воздухом или обдуваемое, допускается защищенное исполнение, если пыль не токопроводящая; в помещениях с химически активной средой — закрытое, обдуваемое или продуваемое чистым воздухом. Допускается также исполнение защищенное, но с химически стойкой изоляцией.

К В пожароопасных помещениях распределительные устройства, главные и групповые распределительные щиты должны иметь исполнение согласно ПУЭ VII—4—20, 26, IV—1—20; электропроводники следует выполнять согласно ПУЭ VII—4—30, 31, 34; электродвигатели должны быть изготовлены согласно ПУЭ VII—4—14, 16; электрические аппараты и приборы, искрящие по условиям работы, должны отвечать требованиям ПУЭ VII—18—22.

Взрывозащищенные электроустановки имеют специальные конструктивные средства, которые обеспечивают невоспламенение окружающей взрывоопасной газо-, паро- и пыле-воздушной смеси от электрических искр, дуг, пламени и нагретых частей установки. Изготавливаются взрывозащищенные установки согласно ПИВРЭ, а с 1.01.1980 г. установки классифицируются и маркируются по ГОСТ 12.2.020—76.

Взрывозащищенные электроустановки для внутренней и наружной установки, а также рудничное взрывозащищенное оборудование в зависимости от уровня взрывозащиты (вероятности воспламенения взрывоопасной смеси) подразделяются на

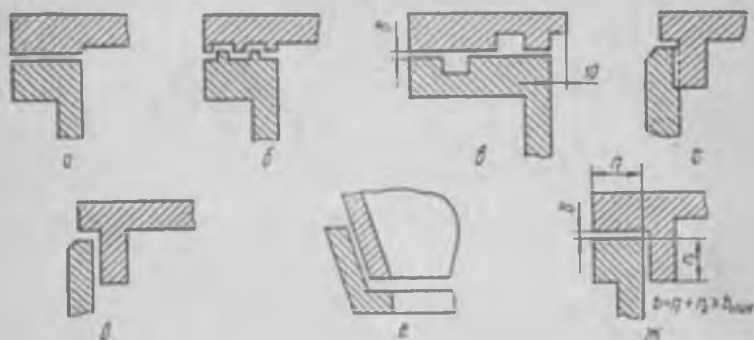


Рис. 13.1. Виды фланцевых соединений:

а — плоское; б — лабиринтное; в — барьерное; г — резбовое; д — цилиндрическое; е — коническое; ж — комбинированное.

электроустановки повышенной надежности против взрыва (для установок группы II обозначаются знаком 2), в которых взрывозащита обеспечивается только в признанном нормальном режиме его работы; взрывобезопасные электроустановки (I), в которых взрывозащита обеспечивается как при нормальном режиме работы, так и при признанных вероятных повреждениях, определяемых условиями эксплуатации, кроме повреждений средств взрывозащиты; особовзрывобезопасные электроустановки (0), в которых по отношению к взрывобезопасным электроустановкам приняты дополнительные средства взрывозащиты от действия искр или электрических дуг как при нормальной работе, так и при неограниченном числе повреждений любых элементов, за исключением защитных.

Если в состав электроустановки входят элементы с различным уровнем взрывозащиты, то общий уровень взрывозащиты электроустановки устанавливается по элементу или узлу, имеющему наиболее низкий уровень.

Взрывозащищенные электроустановки в зависимости от области применения подразделяются на две группы: группа I — рудничные взрывозащищенные электроустановки, предназначенные для подземных выработок шахт и рудников, опасных по газу или пыли; группа II — взрывозащищенные электроустановки для внутренней и наружной установки, кроме рудничных взрывозащищенных.

Взрывозащищенные электроустановки имеют различные виды взрывозащиты (совокупность средств взрывозащиты) и знаки вида взрывозащиты.

Для электроустановок группы II виды защиты следующие.

1. Взрывонепроницаемая оболочка (д) — оболочка, выдерживающая давление взрыва внутри нее и предотвращающая распространение взрыва из оболочки в окружающую взрывоопасную среду.

Способность оболочки локализовать взрыв обеспечивается прочностью материала и за счет разного рода фланцевых соединений. Фланцы в зависимости от их вида, категории взрывоопасной смеси и свободного объема оболочки имеют такие размеры (длина и ширина шели), чтобы продукты взрыва могли охлаждаться до безопасной температуры при выходе из оболочки, предотвращая воспламенение окружающей среды (рис. 13.1). Параметры взрывонепроницаемых соединений принимаются по ПИВРЭ. Во взрывонепроницаемой оболочке изготавливают электрические машины, аппараты и приборы, светильники, промышленные телевизионные аппараты и др.

2. Искробезопасная электрическая цепь (И) — способ обеспечения взрывозащиты, при котором электрическая цепь выполнена так, что электрический разряд или нагрев цепи не могут воспламенить взрывоопасную среду как при нормальном, так и аварийном режиме работы. Искробезопасность достигается тем, что ток (в индуктивной и бязиндуктивной цепи) или напряжение (емкостной цепи) принимается в два раза меньше их воспламеняющего значения. Искробезопасность обеспечивается ограничением напряжения и тока, шунтированием схемы и созданием условий, снижающих вероятность случайного повреждения элементов системы (например, заливка элемент в системы терморезистивным компаундом, герметизация элементов и пр.).

Искробезопасными выполняются аппаратура и приборы автоматики связи, сигнализации, измерения, контроля и т. п.

3. Защита вида «е» (Е) — вид взрывозащиты электроустановки или ее части, не имеющей нормально искрящих частей, который заключается в том, что наряду с используемыми принимаются дополнительные меры по предотвращению появления опасных нагревов, электрических искр и дуг.

К основным средствам и мерам, обеспечивающим защиту вида «е» (повышенную надежность), относятся: применение электроизоляционных материалов более высокого качества; снижение температуры перегрева изолированных обмоток сравнительно с допустимыми нормами для данного класса изоляции с целью повышения их надежности и ограничения нагрева поверхностей электроустановок до значений более низких, чем температура воспламенения взрывоопасных смесей; применение для оболочек материалов, не опасных в отношении искрения при ударе и трении.

Защита вида «е» применяется при изготовлении электрических машин, аппаратов и приборов, светильников и др.

4. Заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением (Р) — обеспечение работы электроустановки в среде с отсутствием взрывоопасных смесей. Оболочка электроустановки продувается чистым воздухом или инертным газом под избыточным давлением, предотвращающим попадание внутрь оболочки взрывоопасной смеси из внешней среды. Продувание осуществляется по разомкнутому или замкнутому циклам вентиляции. Для контроля величины избыточного давления предусматриваются приборы, устанавливаемые в местах с наименьшим давлением, и блокировка, допускающая подачу напряжения только после продувки электроустановки чистым воздухом или инертным газом объемом не менее пятикратного объема оболочки и воздухопроводов для удаления проникнувшей взрывоопасной смеси, блокировка отключает установку при падении избыточного давления ниже допустимого и включает сигнализацию.

5. Масляное заполнение оболочки (О) — заполнение пространства, в котором возникает электрическая дуга или возможно ее появление, жидким диэлектриком в виде трансформаторного масла, обеспечивающее при высокой теплопроводности интенсивный отвод тепла с нагретых токоведущих частей.

Маслонаполненными изготавливаются трансформаторы, конденсаторы, полупроводниковые выпрямители, коммутационные аппараты и др.

6. Кварцевое заполнение оболочки (Q) — заполнение оболочки кварцевым песком определенного зернового состава, в который погружаются конструктивные узлы электроустановок таким образом, чтобы при возникновении внутри оболочки электрической дуги не могло произойти воспламенение наружной взрывоопасной смеси ни от пламени дуги, ни от нагретых стенок оболочки.

С кварцевым заполнением изготавливаются электроустановки, не имеющие подвижных и нормально искрящих частей: трансформаторы, пускорегулирующие и ограничительные сопротивления, статические конденсаторы, твердые выпрямители и т. п.

7. Специальный вид взрывозащиты (S) — обеспечивается специальными средствами, не предусмотренными выше, исключающими воспламенение смеси. Например, оболочка электроустановки заливается эпоксидными компаундами, чем достигается герметизация и надежная изоляция соприкосновения взрывоопасной внешней среды с токоведущими частями (трансформаторы малой мощности, катушки, не имеющие подвижных частей). В другом случае герметическая оболочка заполняется издухом под избыточным давлением без продувки. Обеспечивается отключение напряжения с токоведущих частей при нарушении защитной оболочки за время, исключающее воспламенение смеси (переносные аккумуляторные светильники).

Для электроустановок группы I существуют такие виды защиты взрывонепо-

нищаемая оболочка (В); искробезопасная электрическая цепь (И); защита вида «е» (П); масляное заполнение оболочки (М); кварцевое заполнение оболочки (К); специальный вид взрывозащиты (С); автоматическое защитное отключение (А).

Последний из перечисленных видов взрывозащиты электроустановок заключается в снятии напряжения с токоведущих частей при разрушении защитной оболочки за время, исключающее воспламенение взрывоопасной среды. Принцип автоматического защитного отключения находит применение в гибких кабелях, светильниках и других устройствах. В этом случае в гибких кабелях используются полупроводниковые экраны, расположенные вокруг проводников. При повреждении кабеля, замыкании экранов или жил на полупроводниковом экране образуется замкнутая искробезопасная цепь с быстродействующим устройством. В светильниках при повреждении колпака специальные отключающие устройства (пружины, мембраны) отключают светильник от сети.

Электроустановки группы I, имеющие взрывонепроницаемые оболочки, подразделяются на подгруппы 1В, 2В, 3В и 4В, а электроустановки группы II, имеющие взрывонепроницаемые оболочки и (или) искробезопасную электрическую цепь, подразделяются на подгруппы IIА, IIВ, IIС. Классификация электроустановок на подгруппы устанавливается в стандартах на конкретные виды взрывозащиты.

Условные обозначения взрывозащищенных электроустановок устанавливаются, исходя из уровня и вида взрывозащиты, группы электроустановки, соответствия установок ГОСТ 12.2.020—76 и температурного класса.

Маркировка взрывозащиты электроустановки выполняется рельефными знаками на видном месте оболочки электроустановки или на табличке, прикрепляемой к оболочке таким способом, чтобы была обеспечена сохранность ее в течение всего срока службы электроустановки в условиях, для которых она предназначена.

Маркировка взрывозащиты взрывозащищенной электроустановки группы II выполняется в виде цельного, не разделенного на части знака. Маркировку располагают в прямоугольнике, а маркировка взрывозащиты электроустановок группы I состоит из двух частей. В первой части указывается уровень взрывозащиты, во второй части, расположенной правее или ниже первой, — остальная часть маркировки, при этом знак уровня взрывозащиты располагается в окружности, остальная часть — в прямоугольнике.

В маркировку взрывозащиты взрывозащищенной электроустановки группы II входят следующие знаки.

1. Знак уровня взрывозащиты: 2, 1, 0;
2. Знак Ex, указывающий, что электроустановка соответствует ГОСТ 12.2.020—76 и стандартам на виды взрывозащиты;
3. Знак вида взрывозащиты: d, i, e, O, P, q, S;
4. Знак группы или подгруппы электроустановки: II — для электроустановки, не подразделяющейся на подгруппы; IIА, IIВ и IIС — для электроустановки, подразделяющейся на подгруппы, при этом указывается один из знаков;
5. Знак температурного класса электроустановки. Если электроустановка предназначена только для определенной взрывоопасной смеси, то вместо знака температурного класса допускается указывать предельную температуру для этой смеси, например, 630° С. Если значения предельной температуры для конкретной смеси менее 450° С, то дополнительно в скобках допускается указывать температурный класс электроустановки, например, 350° С (T2).

Маркировка рудничной взрывозащищенной электроустановки (группа I) содержит указанные ниже знаки.

1. Знак уровня взрывозащиты: РП — для электроустановки повышенной надежности против взрыва; РВ — для взрывобезопасной электроустановки; РО — для особо взрывобезопасной электроустановки.
2. Знак вида взрывозащиты: 1В, 2В, 3В, 4В — взрывонепроницаемая оболочка, указывается один из знаков для электроустановки, подразделяющейся на подгруппы И, П, М, К, А, С.

По требованию потребителя маркировка взрывозащиты рудничной взрывозащищенной электроустановки, предназначенной на экспорт, должна содержать: знак Ex и знак вида взрывозащиты электроустановок группы II; знак I, обозначающий группу электроустановки.

Примеры маркировки взрывозащиты приведены в табл. 13.6—13.8.

Порядок согласования технической документации, проведения испытаний, выдачи заключений и свидетельств устанавливается по ГОСТ 12.2.021—76.

Таблица 13.6. Примеры маркировки взрывозащиты взрывозащищенной электроустановки группы II

Наименование электроустановки	Вид взрывозащиты	Группа (подгруппа) и температурный класс электроустановки	Маркировка
Электроустановка повышенной надежности против взрыва	Защита вида «е»	Группа II, температурный класс T6	2ExeII T6
Взрывобезопасная электроустановка	Специальный и взрывонепроницаемая оболочка	Подгруппа IIA, температурный класс T6	1ExsdIIAT6
То же	Специальный, искробезопасная электрическая цепь и взрывонепроницаемая оболочка	Подгруппа IIB, температурный класс T4	1ExsidII BT4
Особовзрывобезопасная электроустановка	Специальный	Группа II, температурный класс T4	0ExsII T4

Таблица 13.7. Примеры маркировки взрывозащиты рудничной взрывозащищенной электроустановки

Наименование электроустановки	Вид взрывозащиты	Маркировка
Рудничная электроустановка повышенной надежности против взрыва	Защита вида «е»	РП п
Рудничная взрывобезопасная электроустановка	Взрывонепроницаемая оболочка, искробезопасная электрическая цепь	РВ ЗВИ
Рудничная особовзрывобезопасная электроустановка	Специальный, искробезопасная электрическая цепь	РО ИС

Таблица 13.8. Примеры маркировки взрывозащиты рудничной взрывозащищенной электроустановки, предназначенной на экспорт

Вид взрывозащиты электроустановки	Маркировка
Взрывонепроницаемая оболочка	Exdl
Защита вида «е»	Exel
Искробезопасная электрическая цепь	Exil
Взрывонепроницаемая оболочка и искробезопасная электрическая цепь	Exdil
Кварцевое заполнение оболочки	Exql

13.8. МЕРЫ ПОЖАРНОЙ ПРОФИЛАКТИКИ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Меры пожарной профилактики в электроустановках сводятся к следующему. Технологи совместно с электриками проектирующей или эксплуатирующей организации определяют класс помещения и установок, категорию и температурный класс (группу) газо-паровоздушной смеси. При наличии не-колькох веществ, способных образовать взрывоопасную смесь, устанавливается, какое из них имеет наивысшую категорию и группу.

Электрооборудование выбирается (проектируется) по уровню и виду взрывозащиты в зависимости от категории и группы взрывоопасной смеси в соответствии с ПУЭ. Электрооборудование по конструкции, классу изоляции, нормированным, гарантийным и расчетным характеристикам должно соответствовать условиям работы, ГОСТ, техническим условиям и иметь таблички с техническими данными. Сечение проводников должно удовлетворять требованиям предельно допустимого нагрева при нормальных и аварийных режимах. Электрические сети, электродвигатели, установки должны иметь защиту от токов короткого замыкания и перегрузки. Пускорегулирующие аппараты должны выбираться по условиям короткого замыкания или иметь защиту от токов короткого замыкания.

Монтаж электрооборудования проводится в соответствии с требованиями ПУЭ, СНиП, ТУ заводов-изготовителей и других нормативных документов. В соответствии с требованиями ПУЭ, после окончания монтажа электроустановок проводятся приемо-сдаточные испытания.

Электроустановки должны эксплуатироваться в соответствии с ПТЭЭП и ПТБЭП, которые предусматривают: осуществление технического надзора за правильностью эксплуатации электрооборудования ответственными лицами; допуск к эксплуатации электроустановок лиц, имеющих соответствующую подготовку; объем периодических и внеочередных осмотров электрооборудования дежурным электротехническим персоналом; проведение планово-предупредительного ремонта.

В эксплуатации любой электроустановки и тем более предназначенной для пожаро- и взрывоопасных помещений важно, чтобы температура наружных поверхностей оболочек машины, приборов и аппаратов, а равно узлов и деталей, не защищенных соответствующей оболочкой в условиях нормальной их эксплуатации, не превышала строго установленных величин, которые ниже температуры самовоспламенения смесей. Наибольшая температура электроустановок во взрывозащищенном исполнении приведена в ПУЭ, табл. VII—3—6.

Нагрев наружных частей электроустановок, применяемых в помещениях, содержащих горючие пыли, не должен превышать 140° С. Технологическое оборудование со смонтированными электромашинами, приводами и аппаратами не должно нагреваться выше 80% от температуры самовоспламенения окружающей пожаро- и взрывоопасной среды.

Электропроводки должны быть проложены согласно ПУЭ VII—3—67, 70, 75—84; электродвигатели должны отвечать требованиям ПУЭ VII—3—38-42; электрические аппараты и приборы — ПУЭ VII—3—43—48.

Предохранители и выключатели осветительных сетей следует устанавливать вне взрывоопасных помещений.

Список литературы

1. Волков О. М. Противопожарная защита вычислительных центров. М., Стройиздат, 1973. 94 с.
2. Демидов П. Г., Саушев В. С. Горение и свойства горючих веществ. М., 1976. 258 с.
3. Иванов Б. И. Применение пожароопасных растворов и препаратов. М., Стройиздат, 1973. 96 с.
4. Мельников М. Г., Логинов Ф. Л. — Пожарная профилактика в электроустановках. Л., Энергия, 1973. 382 с.
5. Противопожарные требования СНиП при разработке проектов и строительстве объектов народного хозяйства. Л., ЛДНТП, 1974. 62 с.
6. Рябов И. В. Пожарная опасность веществ и материалов. М., Стройиздат, 1970. 350 с.
7. Рябов И. В. Пожарная опасность веществ и материалов, применяемых в химической промышленности. М., Химия, 1970. 363 с.
8. Черкасов В. И., Ульященко В. Е. Пожарная профилактика электроустановок. М., Высшая школа МВД СССР, 1970. 450 с.
9. Щербина Я. Я. Основы противопожарной техники. К., Вища школа, 1977. 231 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Раздел I. Общие вопросы охраны труда	4
Глава 1. Охрана труда как социальная категория	4
1.1. Социальная значимость охраны труда	4
1.2. Правовое регулирование охраны труда	5
1.3. Организация охраны труда на предприятии	8
1.4. Ответственность за нарушение требований охраны труда	10
Глава 2. Оценка условий труда	13
2.1. Производственные опасности	13
2.2. Учет и расследование несчастных случаев на производстве	15
2.3. Методы исследования причин производственного травматизма	16
Список литературы	17
Раздел II. Воздух рабочей зоны. Производственное освещение. Защита от шума и вибрации	18
Глава 3. Воздух рабочей зоны	18
3.1. Профилактические мероприятия	18
3.2. Причины загрязнения воздуха производственных помещений. Биологическое действие и принцип нормирования пыли, паров и газов	19
3.3. Метеорологические условия в производственных помещениях и их влияние на организм человека	20
3.4. Мероприятия по оздоровлению воздушной среды	23
3.5. Отопление производственных помещений	23
3.6. Вентиляция производственных помещений	24
3.6.1. Естественная вентиляция (аэрация)	25
3.6.2. Механическая вентиляция	25
3.7. Очистка воздуха от пыли	28
3.8. Локализация пыли, газов и паров с помощью местной вентиляции	31
3.8.1. Устройство местной приточной вентиляции	31
3.8.2. Местная вытяжная вентиляция открытого типа	32
3.8.3. Местная вытяжная вентиляция закрытого типа	33
3.9. Расчет воздухопроводов и подбор вентилятора	34
3.10. Эффективность вентиляции	36
3.10.1. Методы исследования метеорологических условий	36
3.10.2. Методы определения газов, паров и пыли в воздухе рабочих помещений	37
Список литературы	38
Глава 4. Производственное освещение	38
4.1. Основные характеристики освещения	38
4.2. Естественное освещение	41
4.3. Искусственное освещение	62
4.4. Проектирование искусственного освещения	66
Список литературы	72

<i>Глава 5. Защита от шума и вибрации</i>	72
5.1. Защита от шума	72
5.1.1. Физические характеристики шума	73
5.1.2. Нормирование и измерение параметров шума	75
5.1.3. Методы защиты от шума и ультразвука	77
5.2. Защита от вибрации	82
5.2.1. Физические характеристики вибраций	83
5.2.2. Нормирование и контроль вибраций	83
5.2.3. Методы защиты от вибраций	86
Список литературы	86
<i>Раздел III. Защита от производственных излучений</i>	87
<i>Глава 6. Защита от электромагнитных излучений радиочастотного диапазона</i>	87
6.1. Источники излучения электромагнитных полей радиочастот и характер распространения их в рабочих помещениях	87
6.2. Воздействие электромагнитных полей на организм человека	88
6.3. Предельно допустимые величины электромагнитных излучений	88
6.4. Методика измерения интенсивности электромагнитных полей и применяемые приборы	89
6.5. Побочные эффекты, возникающие при работе электровакуумных приборов	90
6.6. Расчет интенсивности электромагнитного поля на рабочем месте	91
6.7. Основные меры защиты от электромагнитных полей радиочастот	92
Список литературы	98
<i>Глава 7. Защита от излучений оптического диапазона</i>	99
7.1. Защита от инфракрасных излучений	99
7.1.1. Значение инфракрасных излучений с позиции охраны труда	99
7.1.2. Действие инфракрасной радиации на организм человека	101
7.1.3. Нормирование и контроль инфракрасного облучения	102
7.1.4. Расчет интенсивности теплового облучения	103
7.1.5. Защита от инфракрасного излучения	103
7.2. Защита от ультрафиолетовых излучений	108
7.2.1. Характеристика ультрафиолетовых излучений	108
7.2.2. Биологическое действие ультрафиолетовых излучений	109
7.2.3. Меры защиты от УФ	110
7.3. Защита от лазерного излучения	110
7.3.1. Источники и свойства лазерного излучения	111
7.3.2. Биологическое действие лазерного излучения	112
7.3.3. Предельно допустимые плотности потока лазерного излучения	113
7.3.4. Основные меры безопасности при обслуживании оптических квантовых генераторов	115
Список литературы	120
<i>Глава 8. Защита от ионизирующих излучений</i>	120
8.1. Основные понятия, определения и термины	120
8.2. Биологическое действие ионизирующих излучений	123
8.3. Допустимые уровни облучения	125
8.4. Прохождение ионизирующего излучения через вещество	127
8.5. Принцип расчета доз излучения	130
8.6. Средства и методы защиты от излучений	131
8.7. Службы радиоактивной безопасности	133
Список литературы	135
<i>Раздел IV. Защита от поражения электрическим током</i>	135
<i>Глава 9. Опасность поражения электрическим током</i>	135
9.1. Виды поражения электрическим током	135
9.2. Факторы, определяющие опасность поражения электрическим током	136
9.3. Опасность эксплуатации электрических сетей	140
9.4. Опасность замыкания на землю в электроустановках	143
9.5. Причины поражения электрическим током	149

Глава 10. Защитные меры в электроустановках	150
10.1. Общие положения	150
10.2. Применение малых напряжений	150
10.3. Изоляция в электроустановках	151
10.4. Обеспечение недоступности незаизолированных токоведущих частей	156
10.5. Защитное заземление	158
10.6. Зануление	167
10.7. Защитное отключение	173
Глава 11. Электрозащитные средства. Безопасная эксплуатация электроустановок	175
11.1. Классификация и конструкция электрозащитных средств	175
11.2. Правила пользования изолирующими электрозащитными средствами	181
11.3. Электротехнический персонал	189
11.4. Эксплуатация действующих электроустановок	192
11.5. Помощь человеку при попадании под напряжение	195
Список литературы	198
Раздел V. Пожаро-взрывобезопасность	198
Глава 12. Пожарные показатели веществ и материалов и классификация производств	198
12.1. Общие положения	198
12.2. Организация пожаро-взрывобезопасности	199
12.3. Процессы горения и пожарная опасность веществ и материалов	200
12.4. Классификация производств по пожаро- и взрывоопасности	207
Глава 13. Системы предотвращения пожара и взрыва	208
13.1. Требования к системе предотвращения пожара и взрыва	208
13.2. Требования к системе пожаро- и взрывозащиты	209
13.3. Организационные и организационно-технические мероприятия по обеспечению пожаро-взрывобезопасности	210
13.4. Основные меры обеспечения систем предотвращения пожара и взрыва и пожаро-взрывозащиты	211
13.5. Пожарная безопасность электроустановок и радиоаппаратуры	215
13.5.1. Общая характеристика пожарной опасности электроустановок и радиоаппаратуры	215
13.5.2. Причины возникновения пожаров в ЭУ и РЭА	217
13.6. Классификация помещений по ПУЭ	221
13.7. Уровни и виды взрывозащиты электрооборудования и их условные обозначения	223
13.8. Меры пожарной профилактики в электроустановках	228
Список литературы	228

КОНСТАНТИН НИФОНТОВИЧ ТКАЧУК, д-р техн. наук
ПАВЕЛ ЯКОВЛЕВИЧ ГАЛУШКО, д-р техн. наук
РОСТИСЛАВ ВАЛЕРИАНОВИЧ САБАРНО, канд. техн. наук
АНАТОЛИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ СЛОНЧЕНКО, канд. техн. наук
АНАТОЛИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ СТЕПАНОВ, канд. техн. наук

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Редактор *Е. К. Доброхотова*
Оформление художника *Л. А. Дикарева*
Художественные редакторы *Н. Ф. Соловьева, Л. А. Дикарев*
Технический редактор *Н. А. Бондарчук*
Корректоры *Н. Г. Петрик, Г. А. Высоцкая*

Информ. бланк № 1281

Сдано в набор 28.07.81. Подписано в печать 23.02.82. БФ 05275. Формат 60×90^{1/16}.
Бумага типогр. № 2. Гари. лит. Печ. выс. Усл. печ. л. 14,5 Усл. кр.-отт. 14,875.
Уч.-изд. л. 22,03. Тираж 40000 экз. Зак. № 1—1881. Цена 1 р. 30 к.

Издательство «Техника», 252601, Киев, 1 ГСП, Крещатик, 5.

Главное предприятие республиканского производственного объединения «Полі-
графкинг», 252057, г. Киев, Довженко, 3.