

Министерство образования и науки Кыргызской Республики

Кыргызский Государственный Технический Университет
им. И.Раззакова

Кафедра "Теплотехника и безопасность жизнедеятельности"

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ СБОРНИК (УМС) для студентов
заочного обучения электроэнергетических специальностей:

В сборник включены учебно-методические материалы
для самостоятельного обучения студентов, выполнения
контрольной и лабораторных работ.

Бишкек 2018

РЕКОМЕНДОВАНО
На заседании кафедры
«Теплотехника и БЖД»
Прот. № 7 от 7 марта 2018 г.

ОДОБРЕНО
Методическим советом
энергетического факультета
Прот. № 6 от 2 марта 2018 г.

Составил

УДК 621.316.9; 523.036.33

Учебно-методический сборник предназначен для студентов заочного обучения электроэнергетических специальностей: 17.301 – электрические станции, 17.302 – электрические сети и системы; 17.303 – гидроэлектроэнергетика; 17.304 – электроснабжение. В сборник включены учебно-методические материалы для самостоятельного обучения студентов, выполнения контрольной и лабораторных работ/ Кыргыз. гос. техн. ун-т; Сост.: Бишкек, 2018. - 53 с.

Табл.3. Ил.2. Библиогр. 23 назв.

Рецензент к.т.н., доц.

1. ПРОГРАММА, ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ И МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО К ИЗУЧЕНИЮ КУРСА

1.1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Студенты электроэнергетических специальностей заочного обучения изучают дисциплину "Безопасность жизнедеятельности" на 5-м курсе в 9 семестре. Согласно учебному плану для изучения этого курса отведено 14 аудиторных часов. На установочной сессии (в конце 8-го семестра) этим студентам читается установочная лекция (2 часа). В зимнюю экзаменационную сессию (в 9 семестре) студенты выполняют 3 лабораторные работы (6 часов) и отчитываются по ним. В этом же семестре до начала сессии студенты самостоятельно выполняют одну контрольную работу, сдают собеседование по работе, слушают обзорные лекции (6 часов) и затем сдают экзамен. Объем самостоятельной работы составляет 60 часов.

Согласно программе, утвержденной учебно-методическим управлением по высшему образованию, дисциплина "Безопасность жизнедеятельности" состоит из следующих разделов:

1. Общие вопросы безопасности на производстве и в любой среде обитания.
2. Безопасность при эксплуатации электроустановок на предприятиях.
3. Основы пожарной профилактики и безопасности при чрезвычайных ситуациях.

Раздел 1 включает необходимую информацию по основным вопросам трудового законодательства, государственного и ведомственного надзора по безопасности; организации контроля и работ по безопасности; анализу условий труда и причин травматизма; общим методам улучшения безопасности; нормативной документации; эргономике и инженерной психологии; взаимодействию человека с машиной в производственной среде.

Прикладная часть этого раздела содержит основные сведения о вредных и опасных производственных факторах, их воздействии на организм человека, нормировании их уровня, методах и средствах защиты.

Раздел 2 является специальным. В нем изучаются методы обеспечения электробезопасности людей, работающих в электроустановках с любыми напряжениями, и пользующихся ими на «потребительских» напряжениях.

Раздел 3 рассматривает пожароопасные свойства веществ, процессы воспламенения, горения, взрыва, огнестойкости зданий и сооружений, профилактики пожаров, организации защиты от пожаров, средства и методы тушения возгораний, организации систем предупреждения пожаров и пожарной защиты, а также организации безопасности при чрезвычайных ситуациях.

Цель преподавания дисциплины "Безопасность жизнедеятельности" состоит в качественной подготовке электроэнергетиков-выпускников КТУ к выполнению задач по обеспечению безопасности работающих на производстве, организации безопасных условий труда и жизни людей в любой среде обитания, а также

соблюдению единых норм и правил безопасности.

Основные знания, приобретаемые студентами при изучении дисциплины "Безопасность жизнедеятельности", включают:

а) общие вопросы обеспечения безопасности (законодательство, организация работы по созданию здоровых и безопасных условий труда, анализа условий труда);

б) вопросы техники безопасности, гигиены труда и производственной санитарии при эксплуатации электроустановок;

в) общие и специальные инженерные основы техники безопасности, без усвоения которых невозможно конкретное рассмотрение технологии производства, проектирования предприятий, конструирования оборудования и его эксплуатации;

г) основы профилактики и тушения пожаров, тесно связанные с техникой безопасности, и основы обеспечения жизнедеятельности при чрезвычайных ситуациях.

Студенты после изучения дисциплины должны уметь по литературным источникам составить перечень требований безопасности к проектированию территорий, зданий и сооружений, а также составить план организационно-технических мероприятий по улучшению условий труда, и уметь реализовать этот план с анализом условий труда.

Анализ условий труда включает следующие требования:

а) общие требования к условиям трудовой деятельности работающих на производстве;

б) нормы и правила по технике безопасности, производственной санитарии и пожарной профилактике;

в) порядок планирования и финансирования мероприятий по безопасности;

г) нормы и правила по специальной охране труда женщин, подростков и лиц с пониженной трудоспособностью;

д) льготы для работающих во вредных и тяжелых условиях;

е) правила медицинского обслуживания работающих;

ж) порядок расследования несчастных случаев на производстве;

з) правила надзора за соблюдением требований безопасности;

и) ответственность должностных лиц, рабочих и служащих за нарушение требований безопасности и последствия этих нарушений;

к) различные требования к инженерному обеспечению безопасных условий труда;

л) порядок действий, направленных на прогнозирование возможного травматизма и поиск средств для его предупреждения.

Изучать дисциплину "Безопасность жизнедеятельности" необходимо в последовательности, предложенной рабочей программой. Приобретенные после изучения каждой темы знания рекомендуется контролировать самостоятельно, отвечая на вопросы для самопроверки. Ответы желательно давать полные, с конкретными примерами, в необходимых случаях их сопровождают эскизами и

расчетами и оформляют письменно в конспекте. Если у студента возникают сомнения в правильности ответа или же ему непонятен вопрос, следует обратиться в деканат факультета или на кафедру "Безопасность жизнедеятельности" за письменной или устной консультацией.

За консультацией можно также обращаться по месту работы к инженеру по безопасности, у которого должны быть собраны все нормативные материалы по технике безопасности, производственной санитарии и пожарной профилактике.

Если студент ведет конспект и составляет ответы на вопросы для самопроверки, то тем самым он значительно облегчает себе последующую подготовку и сдачу экзамена. Экзаменационные билеты составляются из предложенных вопросов для самопроверки. Билеты содержат по 5 вопросов: 1) по общим проблемам курса "Безопасность жизнедеятельности"; 2) производственной санитарии; 3) технике безопасности; 4) пожарной профилактике; 5) электробезопасности. Кроме того, в экзаменационных билетах предлагается решить одну или две задачи, аналогичные задачам для контрольной работы.

После изучения всей программы следует выполнить контрольную работу и выслать ее на рецензию. Студента допускают к сдаче экзамена при условии положительной рецензии и подтверждения полученных знаний во время собеседования. Основная задача контрольной работы – оказание помощи в самостоятельной работе по изучению учебного материала. В рецензии на контрольную работу преподаватель указывает студенту, на что нужно обратить внимание.

Контрольная работа содержит 8 задач, при решении которых используется конкретные сведения по изучаемой дисциплине.

1.2.СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

1. Статистические данные о травматизме и профзаболеваниях. Руководящая роль инженерно-технических кадров в обеспечении безопасности. Вопросы безопасности персонала в планах развития производства. Роль и задачи профсоюзов в улучшении условий труда.

Содержание курса "Безопасность жизнедеятельности", связь его с профилирующими дисциплинами. Научно-методические принципы построения курса "Безопасность жизнедеятельности". Влияние здоровых и безопасных условий труда на повышение производительности труда. Достижения науки и техники в области безопасности. Основные пути решения проблемы безопасности труда на предприятиях и технический прогресс.

Система стандартов безопасности труда (ГОСТ ССБТ). Основная терминология по охране труда. Принцип построения ССБТ (ГОСТ 12.0.001.84).

2. Отражение вопросов безопасности в основном законодательном акте – Конституции Кыргызской Республики. Общегосударственные нормы и отраслевые правила и инструкции по безопасности.

Государственный надзор за соблюдением законов, правил и норм: Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госсаннадзор, Госпожнадзор, Госстандарт, Госэнергоатомнадзор, Госкомприрода и др. Техническая инспекция профсоюзов. Права и обязанности технических инспекторов профсоюзов. Службы охраны труда министерств и ведомств. Опасные и вредные производственные факторы, классификация.

Понятие о производственном несчастном случае. Производственный травматизм, профессиональные заболевания на производстве.

Расследование несчастных случаев на производстве, их учет и регистрация. Анализ причин несчастных случаев. Опасные зоны машин и электрооборудования. Принципы безопасности. Устранение причин несчастных случаев. Организация труда. Влияние психологических и физиологических факторов на условия труда. Требования эргономики и инженерной психологии. Свет и цвет оборудования. Цвета сигнальные. Оборудование производственное – требования безопасности.

3. Структура органов охраны труда. Отдел техники безопасности на предприятиях, его задачи и функции. Задачи и ответственность в области безопасности главного инженера, начальника цеха (участка), административно-технического персонала (руководителя служб).

Пропаганда безопасности, обучение персонала, лекции, кинофильмы, инструктаж работающих. Проверка знаний по безопасности и электробезопасности. Присвоение квалификационных групп персоналу по технике безопасности, совмещаемое с проверкой знаний Правил Технической Эксплуатации (ПТЭ).

Планирование и финансирование номенклатурных мероприятий по охране труда. Коллективный договор между администрацией и профсоюзными организациями. Общественный контроль по охране труда на предприятии: комиссии по охране труда при профсоюзных организациях, общественные инспекторы. Ответственность администрации, АХР и ИТР за нарушение законов, норм и правил по безопасности. Ответственность работающих за нарушение правил и инструкций по безопасности на предприятиях. Права и обязанности администрации и инженерно-технических работников.

4. Требования к генеральному плану. Выбор площадки. Расположение зданий и сооружений по условиям производственной санитарии. Санитарные разрывы и санитарно-защитные зоны. Выбор и размещение производственно бытовых помещений и санитарных устройств. Санитарные нормы проектирования и устройства производственных предприятий (СН-245-71).

5. Гигиенические условия труда. Метеорологические параметры. Микроклимат в производственных помещениях электростанций, подстанций, электроцехов и служб главных энергетиков. Токсические вещества в производственных помещениях. Острые и профессиональные отравления. Предельные допустимые концентрации пыли, газов и паров в производственных помещениях. Методика определения загазованности и запыленности.

Индивидуальные защитные средства. Борьба с избыточным теплом и влагой. Термоизоляция. Защитные экраны, водяные завесы, воздушные души. Снижение влажности воздуха. Воздушные завесы, калориферы, вентиляция в производственных помещениях, общеобменная и местная искусственная вентиляция, основы расчета системы вентиляции. Возможные аварии. Испытания систем вентиляции. Аппаратура для очистки приточного и вытяжного воздуха. Кондиционеры.

6. Влияние освещения на работоспособность и гигиену зрения, на безопасность труда и его производительность. Естественное, искусственное и совмещенное освещение. Общее и местное освещение. Виды естественного и искусственного освещения. Аварийное освещение. Нормирование освещения. Светильники, их классификация и характеристики. Эксплуатация осветительных установок, световые проемы в помещениях и их расчет. Источники шума и вибрации на электростанциях и подстанциях. Воздействие шума и вибрации на человека. Пороги восприятия шума организмом человека. Допустимые нормы шума и вибрации. Методика измерения шума и вибрации. Борьба с шумом и вибрацией при проектировании оборудования и технологических процессов. Защита от шума и вибрации. Виброизоляция. Индивидуальные средства защиты. Источники ультразвука. Воздействие ультразвука. Воздействие ультразвука на организм человека. Допустимые нормы ультразвука и измерения на рабочих местах.

7. Классификация электромагнитных излучений (ЭМИ) по диапазону частот: промышленной, низкой, средней, высокой (ВЧ), ультравысокой частоты (УВЧ), сверхвысокой частоты (СВЧ). Источники ЭМИ ВЧ, УВЧ, СВЧ.

Параметры единицы измерений излучений. Воздействие электромагнитных излучений на организм человека. Допустимые нормы облучения. Экранирование источников излучения. Защита от воздействия электромагнитных излучений. Экранирование рабочих мест и удаление источников излучения. Выбор материалов для экранов и поглотителей. Индивидуальная защита. Источники ионизирующих излучений. Виды излучений при распаде радиоактивных веществ. Поток, интенсивность, активность излучений. Доза излучений и поглощенная доза. Дефектоскопия. Виды рентгеновых излучений. Воздействие ионизирующих излучений на организм человека. Предельно допустимые дозы (ПДД) и предельно допустимые концентрации (ПДК). Аппараты рентгеновские. Требования безопасности. Нормы радиационной безопасности (НРБ-76). Защитные средства и спецодежда. Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами (ОСП-72-80). Меры безопасности при обслуживании электровакуумных высоковольтных приборов. Защита от световых излучений. Источники световых излучений. Видимые излучения. Невидимые излучения – инфракрасные и ультрафиолетовые. Воздействие видимых, инфракрасных и ультрафиолетовых излучений на организм человека. Мероприятия по защите от видимых, инфракрасных и ультрафиолетовых излучений.

Когерентные и импульсные световые излучения оптико-квантовых генераторов (лазеров). Воздействие когерентных и импульсных световых излучений на организм человека. Дозиметрический контроль лазерного излучения. ГОСТ 12.1.040-83. Лазерная безопасность.

8. Электробезопасность. Терминология. Общие требования безопасности. Действие электрического тока на организм человека. Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током. Величина, род и время действия тока. Электрическое сопротивление тела человека и его зависимость от различных факторов. Напряжение прикосновения. Нормирование. Виды поражения электрическим током. Электрические травмы и профзаболевания. Анализ условий поражения электрическим током в нормальном режиме. Поражение электрическим током при прикосновении к корпусам электрооборудования, оказавшимся под напряжением. Классификация эл. установок по напряжению до и выше 1000 В. Испытания и измерения. Требования безопасности согласно ПУЭ. Явления при стекании тока в землю. Распределение потенциала на поверхности земли. Напряжение шага.

Анализ распределений потенциала на поверхности земли для заземлителей различных форм и размеров. Коэффициент использования группового заземлителя. Сопротивление одиночных и групповых заземлителей в многослойной (двухслойной) земле. Электрическое сопротивление земли и ее зависимость от влажности, температуры, рода грунта, его уплотненности, времени года. Анализ напряжения прикосновения и шага для одиночных и групповых заземлителей. Напряжения прикосновения и шага с учетом падения напряжения в сопротивлении основания, на котором стоит человек.

9. Анализ опасности поражения в трехфазных электрических сетях. Трехфазные четырехпроводные сети с нейтралью, заземленной через активное и индуктивное сопротивление, четырехпроводные сети с глухозаземленной нейтралью, трехпроводные сети с изолированной нейтралью. Вывод формул для определения напряжения прикосновения и тока, протекающего через тело человека в аварийном и нормальном режимах. Анализ полученных зависимостей. Выбор схемы сети и режима нейтрали для сетей напряжением до и выше 1000 В по технологическим требованиям и требованиям безопасности. Защитное заземление, назначение, принцип действия, область применения. Типы заземляющих устройств. Выполнение заземляющих устройств: заземлители, заземляющие проводники, оборудование, подлежащее защитному заземлению, связь между заземляющими устройствами нескольких аналогичных установок и установок разных напряжений и назначений. Эксплуатация заземляющих устройств: возможные повреждения, виды и периодические проверки состояния, испытания. Методика расчета защитного заземления.

10. Зануление. Назначение, принцип действия, область применения. Назначение отдельных элементов зануления: нулевого защитного проводника, заземления нейтрали обмоток источника тока, повторного заземления. Выполнение системы зануления. Контроль исправности зануления, измерение

сопротивления петли "фаза-нуль". Методика расчета зануления: на отключающую способность, выбор сопротивления заземления нейтрали и сопротивления повторного заземления, выбор нулевого защитного проводника, на напряжение прикосновения. Анализ возможных нарушений схемы зануления.

11. Организация безопасной и безаварийной эксплуатации электроустановок. Оперативное обслуживание, ремонт, испытания оборудования электроустановок электростанций, подстанций и сетей. Оперативные переключения. Меры безопасности при обслуживании основного оборудования: генераторов, трансформаторов, распределительных устройств, воздушных и кабельных линий электропередачи.

Требования к персоналу, обслуживающему действующие электроустановки: медицинское освидетельствование, обучение, аттестация, квалификационные группы по электробезопасности, классификация помещений по опасности поражения электрическим током. Эксплуатация электроустановок: категории работ, условия производства работ, лица, ответственные за безопасность производства работ, выдача нарядов и распоряжений на производство работ. Организационные и технические мероприятия при производстве работ.

Безопасность при ремонте воздушных линий электропередач. Электрическое и электромагнитное влияние от наведенных ЭДС и потенциала. Меры безопасности. Электрооборудование взрывозащищенное, классификация, маркировка.

12. Устройство защитного отключения (УЗО). Общие сведения о назначении, области применения. Устройства, реагирующие на потенциал корпуса, на ток замыкания на землю, на напряжение нулевой последовательности, на ток нулевой последовательности, на оперативный ток и др. Защита от прикосновения к токоведущим частям. Защита от опасности поражения током при переходе напряжения на нетоковедущие части, на сторону низшего напряжения, при замыкании на землю. Применение малых напряжений, электрическое разделение сетей, контроль и профилактика повреждений изоляции. Компенсация емкостной составляющей тока замыкания на землю. Выравнивание потенциала. Применение двойной и усиленной изоляции.

Защитные средства, их применение в электроустановках. Индивидуальные защитные средства от поражения током, их применение в электроустановках напряжением до и выше 1000 В. Основные и дополнительные защитные средства. Плакаты по обеспечению безопасности. Оказание первой помощи при поражении электрическим током.

13. Основы пожарной профилактики. Горение и пожароопасные свойства веществ. Понятие о процессе горения. Виды горения. Вспышка. Воспламенение. Самовозгорание. Взрыв. Температура вспышки, воспламенения, самовоспламенения. Температурные пределы.

Взрыв смесей паров и газов с воздухом. Взрывы смесей пыли с воздухом. Температурные и концентрационные пределы взрыва.

Защита от взрыва сосудов, аппаратов и оборудования, работающих под давлением. Причины аварий и несчастных случаев в системах, работающих под давлением. Требования безопасности к конструкциям сосудов, аппаратов и оборудования, работающих под давлением. Специфика безопасности при эксплуатации установок, работающих под давлением на электростанциях.

Профилактика пожаров в зданиях. Понятие об огнестойкости и возгораемости строительных материалов и конструкций. Огнезащита строительных конструкций. Выбор огнестойкости зданий. Противопожарные преграды. Дымовые люки. Взрывные люки. Конструктивные и планировочные решения, обеспечивающие безопасную эвакуацию людей. Пожарная профилактика при проектировании генпланов. Пожарная профилактика новостроек.

Соответствие противопожарным требованиям приборов отопления, установок кондиционирования воздуха, электрического оборудования, наличие в помещениях вентиляционных систем, горючих, производственных отходов. Пожарная безопасность технологических процессов на предприятиях. Причины возникновения электрических зарядов на изоляционных поверхностях оборудования производственных участков.

14. Пожарная безопасность при работе с горючими и легковоспламеняющимися веществами. Особенности пожарной безопасности на электростанциях. Способы тушения пожаров. Огнетушительные средства. Пожарное водоснабжение. Приборы и устройства для тушения пожаров водой, пеной, газами, порошками. Пожарная сигнализация и связь.

Тушение пожаров на электрических объектах: в генераторах, трансформаторах, кабельных туннелях, в бункерах пыли и т.п. Тушение под напряжением.

Первичные средства тушения пожаров. Стационарные установки пожаротушения: спринклерные и дренчерные (водяные и пенные), объемного (газового) тушения. Средства пожарной сигнализации: типы извещателей-датчиков, системы пожарной сигнализации, принцип действия. Системы пожарной защиты машинных залов ЭВМ, хранилищ информации вычислительных центров и смежных помещений. Требования к средствам пожаротушения для устройств автоматики и электроники. Требования к электропитанию и организации ремонта. Организация пожарной охраны промышленного предприятия. Основные законодательные акты и документы. Ответственность руководителя предприятия и инженерно-технических работников за противопожарное состояние объекта, цехов, лабораторий, мастерских, складов.

Порядок организации и проведения противопожарного инструктажа и пожарного минимума. Пожарно-техническая комиссия. Инструкции о мерах пожарной безопасности на объектах, в цехах и отделениях.

15. Значение и роль знаний по дисциплине "Безопасность жизнедеятельности" для организации работ на производстве без аварийности,

несчастных случаев, травматизма, профессиональных заболеваний. Оценка значения разделов: законодательство, организация работ по охране труда, промсанитария, техника безопасности, пожарная профилактика в практической деятельности инженеров на производстве. Ухудшение условий труда вследствие загрязнения окружающей среды и ужесточения условий труда в промышленности, науке, технике, появление новых видов оборудования, технологических процессов и материалов. Косвенное влияние новых материалов, технологии, оборудования на возникновение еще неизвестных опасных и вредных производственных факторов. Необходимость их исследования и разработки мер защиты от них. Чрезвычайные ситуации, их классификация и защита от них.

1.3.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ КУРСА И ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Тема 1. Всемирное оздоровление и облегчение условий труда – одна из важнейших задач достижения народного благосостояния. На предприятиях должны быть внедрены современные средства техники безопасности и обеспечены санитарно-гигиенические средства, устраняющие причины производственного травматизма и профессиональных заболеваний. Эти вопросы нашли свое воплощение в Конституции Кыргызстана. Безопасность труда имеет не только инженерное, но и политическое значение. Все мероприятия по безопасности, предполагающие высокий уровень технологического оборудования и процессов, переданы под контроль правительства.

Литература /1, 3, 8, 10/.

Темы 2, 3. Для будущей инженерной деятельности студентам необходимо знать основные положения законодательства по охране труда и сведения об обязанностях и ответственности инженерно-технических работников при реализации мероприятий по охране труда.

Следует изучить структуру органов государственного надзора и общественного контроля в области охраны труда и иметь в виду, что только путем планирования работы и финансирования этих органов можно реализовать на практике инженерные решения и мероприятия по безопасности.

Литература /1, 2, 3, 9, 10/.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные законодательные акты по безопасности труда.
2. Какими статьями законов о труде гарантируется безопасность и безвредность труда?
3. Какую ответственность несут инженерно-технические работники за нарушение законов о безопасности труда на предприятиях?
4. Как организован надзор по охране труда?
5. Как проводится инструктаж рабочих по технике безопасности?

6. Объясните систему стандартов безопасности труда (ССБТ).
7. Какими правами и обязанностями располагают технические инспекторы советов профсоюзов?
8. Как планируются и финансируются мероприятия по охране труда?
9. Как проводится расследование и учет несчастных случаев на производстве?
10. Объясните значение коэффициентов частоты и тяжести травматизма.
11. Как определяются экономические последствия травматизма?
12. Как можно прогнозировать уровень травматизма?

Тема 4. Условия труда по ремонту и эксплуатации электроустановок на различных предприятиях не одинаковы. В службах главного энергетика из-за недостаточных площадей и материальной базы условия труда хуже, чем на основном производстве.

Задача планировки производственных помещений заключается главным образом в обеспечении удобного в технологическом, эстетическом и санитарно-гигиеническом отношении размещения оборудования на их площади.

Литература /1, 2, 3, 10/.

Вопросы для самопроверки

1. На какие вопросы техники безопасности требуется обращать внимание при выполнении ремонтов электрооборудования?
2. Безопасность при эксплуатации электрооборудования.
3. Требования безопасности при использовании средств малой механизации.
4. Перечислить, какие помещения относятся к санитарно-бытовым? Их расположение на предприятиях.
5. Требования к спецодежде и индивидуальным приспособлениям.
6. Организация медицинского обслуживания на предприятии.
7. Объясните, в чем заключается организация безопасного рабочего места?
8. Определите роль автоматизации производственных процессов с учетом оптимальных условий труда.
9. Что является главной задачей в вопросах внедрения технической эстетики на предприятиях?
10. Психофизиологическое воздействие цвета на организм человека.
11. Требования безопасности к архитектурно-художественному оформлению и планировке предприятий.
12. Какие требования к окраске подвижного состава предъявляет служба безопасности?

Тема 5. Оздоровлением воздушной среды (вентиляцией, кондиционированием воздуха, отоплением) занимаются инженеры по тепло и газоснабжению и вентиляции. Инженеры-электрики должны знать, при каких производственных процессах выделяются вредные вещества, каково их

количество и соответствующие меры для их удаления. Следует уяснить зависимость каждого параметра микроклимата от внешних условий, характера технологического процесса и интенсивности производственного труда, а также влияние этих параметров на самочувствие и трудоспособность работающих. Необходимо обратить внимание на такие явления, как терморегуляция в организме человека и тепловой баланс в зависимости от состояния воздушной среды в производственных условиях и интенсивности труда.

Теплоотдача организма во внешнюю среду зависит от параметров микроклимата, количества пота, выделяемого организмом, от тяжести выполняемой работы и физического состояния организма. Нормирование параметров микроклимата для данных производственных условий осуществляется в зависимости от избыточного тепловыделения, времени года и интенсивности труда.

Инженер-электрик должен иметь ясное представление о вредных веществах своего производства, которые могут вызывать нарушения жизнедеятельности в организме человека.

Литература /1, 2, 8, 10/.

Вопросы для самопроверки

1. Изложите понятия о метеорологических условиях в производственных помещениях.
2. Что называют оптимальным допустимым и предельным нормированием параметров микроклимата?
3. Каковы значения предельных температур при предельном нормировании, являющиеся обязательными для производственных условий?
4. Какими способами достигается требуемая температура воздуха в производственных помещениях?
5. Как классифицируют вредные вещества по степени воздействия на организм человека?
6. Изложите понятие и формулировку предельно-допустимой концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны?
7. Как определяют загазованность и запыленность воздуха рабочей зоны?
8. Какими способами осуществляют удаление избыточных влажности и тепла в производственных помещениях?
9. Какова роль общеобменной вентиляции в рабочей зоне?
10. Как осуществляют приточную и вытяжную вентиляцию, как рассчитывают?
11. В чем заключается расчет общеобменной вентиляции?
12. Объясните назначение и принцип действия кондиционеров воздуха?

Тема 6. Необходимо изучить влияние освещенности в производственных помещениях на условия труда, производительность и безопасность труда.

Следует уяснить метод и цель расчета естественного освещения на производстве.

Для искусственного освещения нужно изучить нормирование освещенности, классификацию и характеристики источников искусственного света, характеристики и расчет потребного количества светильников.

Литература /1, 2, 3, 10, 17/.

Необходимо ознакомиться со стандартами: ГОСТ 12.1.001-75 (Ультразвук. Общие требования безопасности); ГОСТ 12.1.003-76 (Шум. Общие требования безопасности); ГОСТ 20445-75 (Методы измерения шума на рабочих местах); ГОСТ 12.1.012-78 (Вибрация. Общие требования безопасности).

Литература /1, 2, 8, 10/.

Вопросы для самопроверки

1. Как влияет неудовлетворительное освещение на состояние здоровья человека?
2. В чем отличие спектра излучения ламп накаливания от спектра люминесцентных ламп?
3. Какие применяются светофильтры для защиты глаз при электро- и газосварке?
4. Какие применяют средства индивидуальной защиты органов зрения?
5. Как нормируется естественное и искусственное освещение?
6. По каким соображениям выбирают светильники для искусственного освещения?
7. Какие установлены требования к совмещенному освещению?
8. Как нормируется аварийное, дежурное и охранное освещение?
9. Как измеряют освещенность рабочих мест?
10. Какие требования предъявляются к переносным светильникам?
11. Что является источником возникновения вибрации?
12. Каково воздействие вибрации на организм человека?
13. Какие применяются мероприятия по снижению вибраций в источниках их возникновения?
14. Изложите принцип расчета виброизоляции.
15. Объясните действие средств индивидуальной защиты от вибрации.
16. Как измеряется вибрация?
17. Что является источником возникновения шума?
18. Каково воздействие шума на организм человека?
19. Как нормируется шум?
20. Изложите (со схемой) принцип защиты от шума путем звукопоглощения и звукоизоляции.

21. Объясните действие устройств индивидуальных средств защиты от шума.

22. Как осуществляется защита организма человека от воздействия ультразвука?

Тема 7. Электромагнитные излучения (ЭМП), имеющие ненормированную интенсивность, вызывают в организме человека необратимые функциональные изменения.

Необходимо изучить физические свойства электромагнитных полей и уяснив, что существуют две зоны (индукции и излучения) вокруг каждого источника переменного электромагнитного поля, изучить характер их вредного воздействия на организм человека. Защиту от воздействия электромагнитных полей промышленных частот и радиочастот (РЧ) осуществляют экранированием источников, а там, это где невозможно – экранированием рабочих мест или работающих или уменьшением мощности излучения источника. Применяют индивидуальные средства защиты – костюмы из металлизированной ткани, дополненные каской и заземляющей обувью. ЭМИ РЧ могут быть опасны в любой среде обитания.

Литература /1, 2, 3, 4, 8, 10, 18/.

Радиоактивные вещества используют на предприятиях в различных радиоактивных приборах и установках при контроле технологических процессов, дефектоскопии и др. Распад радиоактивных веществ сопровождается излучением альфа-, бета- и гамма-частиц и рентгеновское излучение.

Следует изучить физиологические свойства ионизирующих излучений и их проникновение в ткани. Это поможет определить их биологическое действие и выбрать средства защиты от них.

Литература /1, 10, 24/.

Лазерные излучения используются в предприятиях энергетики только в приборах оптического измерения. Это лазеры малой и средней мощности излучения. Они представляют опасность только для прямого и отраженного излучения для органов зрения человека. Но тем не менее вероятность поражения кожного покрова остается и опасность травм от лазерного излучения представляет опасность. Необходимо ознакомиться с ГОСТ 12.1.040-83 по литературе /1, 3, 10, 8/.

Вопросы для самопроверки

1. Как классифицируют электромагнитные излучения (ЭМИ) по диапазону частот?

2. Какую опасность представляют для человека ЭМИ промышленной частоты?

3. При каких напряжениях источника тока промышленной частоты нормируются ЭМИ и как?

4. Какова защита человека от промышленных ЭМИ при напряжениях 400 кВ и выше?

5. Какое технологическое оборудование может являться источником ЭМИ радиочастот (ЭМИ РЧ)?

6. Какими документами нормируются ЭМИ РЧ?

7. Какие заболевания могут вызвать у людей ЭМИ РЧ?

8. На какие группы по воздействию ЭМИ РЧ подразделяются все население?

9. Как нормируются ЭМИ РЧ для группы лиц, не связанных с необходимостью пребывания в зоне действия ЭМИ РЧ?

10. Какие специфические заболевания могут вызвать ЭМИ РЧ у лиц, связанных с необходимостью пребывания в зоне действия этих ЭМИ?

11. Как нормируются ЭМИ РЧ для лиц, связанных с необходимостью пребывания в зоне действия этих ЭМИ?

12. Какие вещества, обладающие радиоактивностью, применимы в условиях Вашего производства?

13. Каковы виды излучений имеются при распаде радиоактивных веществ и каковы физические свойства этих излучений?

14. Каковы параметры, характеризующие ионизирующие излучения и поглощение телом человека?

15. Какие заболевания могут вызвать ионизирующие излучения?

16. Какие приборы и электроустановки могут излучать рентгеновские излучения?

17. Что такое предельно допустимая доза (ПДД), предельная доза (ПД) и допустимая концентрация (ДК) ионизирующих излучений?

18. Что представляют ультрафиолетовые (УФ), инфракрасные (ИК) и лазерные излучения?

19. Каково воздействие УФ, ИК и лазерных излучений на организм человека?

20. Какая защита должна предусматриваться от УФ, ИК и лазерных излучений?

Темы 8, 9. Среди всех поражений людей на производстве и в быту поражение электрическим током имеет особенность в том, что 50 % и более поражений заканчиваются смертельным исходом. Ни один опасный фактор не имеет такого большого числа летальных исходов. Эта особенность вынуждает для специалистов электриков ввести более строгие меры до их подготовке и до проверке знаний. Для специалистов, работающих с электроустановками введены группы по знаниям (и умениям) Правил техники безопасности в электроустановках (группы с 1 по 5-ю) с обязательной проверкой знаний. Работы на действующих электроустановках проводятся с применением нарядной системы с возложением ответственности на лиц, выдающих наряд, ответственных руководителей и ответственных исполнителей и производителей работ. В этой

связи знание основ электробезопасности для студентов вышеприведенных специальностей является обязательным. Студентам следует изучить теоретическую информацию, представленную в учебных пособиях /1-2/, а также ознакомиться с справочной информацией /3-7/.

Вопросы для самопроверки

1. Каково действие электрического тока на организм человека?
2. Что называют электротравмами и профессиональными заболеваниями?
3. В чем заключается биологическое, электротермическое и термическое действие электрического тока?
4. В чем заключается внешнее воздействие электрической дуги на кожу и органы зрения человека?
5. Какой параметр электрического тока является основным и определяет тяжесть электротравмы?
6. Как зависит сопротивление тела человека от напряжения прикосновения и других факторов?
7. Что называют напряжением прикосновения и как оно нормируется в нормальном и аварийном режимах электроустановок?
8. Как влияет время действия тока на напряжение прикосновения в аварийном режиме?
9. Какие основные меры безопасности от поражения электрическим током в нормальном режиме электроустановок?
10. Как различаются степени электротравм?
11. Что называют фибрилляцией сердца и клинической смертью?
12. Как нормируется сопротивление электроизоляции в нормальном режиме?
13. Как оценить степень электротравмы в различных схемах прикосновения человека к частям электроустановок, находящихся нормально под напряжением?
14. Какие мероприятия по защите людей должны предусматриваться в аварийных режимах электроустановок?
15. Почему защитное заземление признано основным методом защиты людей от поражения электротоком?
16. Как распределяется потенциал на поверхности земли вокруг заземлителя при стекании через него тока в землю?
17. Что называют зоной растекания тока и зоной нулевого потенциала?
18. Как изменяется потенциал на поверхности земли в зоне растекания тока между отдельными заземлителями группового заземлителя?
19. Почему сопротивление группового заземлителя уменьшается, а потенциал на этих заземлителях повышается при стекании тока?
20. Что называют удельным электрическим сопротивлением грунта и как оно изменяется в зависимости от вида грунта и сезонных изменений?
21. Что называют напряжением шага и как оно нормируется?

22. Как влияет сопротивление основания, на котором стоит человека, на степень электротравмы при возникновении напряжений прикосновения и шага?

23. Защитное сопротивление электроустановок. Область применения. Нормирование величины сопротивления в зависимости от напряжения и режима нейтрали.

24. Как определить напряжение прикосновения между заземленным корпусом электрооборудования и землей при КЗ для защитного заземления?

Тема 10. Зануление является самым безопасным методом защиты людей от поражения электрическим током при пробое изоляции в электроустановках напряжением до 1000 В. Оно обладает способностью снимать напряжение с поврежденной части при пробое изоляции (называется отключающей способностью), снижением напряжения прикосновения между корпусом и землей за счет перераспределения тока КЗ между нулевым проводом и повторным заземлителем и сокращением времени действия тока от момента возникновения КЗ до отключения с помощью максимально-токовой защиты. Поэтому зануление принято в качестве основного защитного метода в электроустановках напряжением до 1000 В для промышленного и бытового использования с глухозаземленной нейтралью. Следует понять принцип действия зануления и условия в которых оно должно действовать.

Литература /1, 2/.

Вопросы для самопроверки

1. Почему зануление требует четырехпроводной схемы питания трехфазным переменным током?
2. Что применяют в качестве максимально-токовой защиты?
3. Как выбирают номинальный ток срабатывания плавких вставок предохранителей и автоматических выключателей?
4. Каково условие надежного срабатывания МТЗ при пробое изоляции на корпус?
5. Как выбирают сечение фазных и нулевого проводов для зануления?
6. Каково назначение повторного заземлителя в схеме зануления?
7. Как нормируют сопротивления основного и повторного заземлителей в занулении?
8. Как определить срабатывание отключающей способности зануления?
9. Как определить напряжение прикосновения при занулении?
10. Как выбрать время срабатывания МТЗ при занулении?

Тема 11. Безопасная эксплуатация электроустановок включает среди прочих мероприятий и выполнение организационных и технических мероприятий. Организационные мероприятия включают ответственность за необходимость проведения работ в электроустановках, оформления работ нарядом или распоряжением, оформление допуска к работе, оформление

перерывов, переходов и окончания работ и надзор во время работ за выполнением требований безопасности. Технические мероприятия состоят из операций по снятию напряжения, проверке его отсутствия, порядку наложения заземления на часть электроустановки, где должны быть проведены работы, порядок ограждения рабочего места, вывешивания предупреждающих, запрещающих, напоминающих и разрешающих плакатов и порядок допуска персонала к работе.

Следует усвоить порядок и очередность проведения этих мероприятий. Также следует уяснить меры безопасности при производстве переключений, ремонтов оборудования, категории работ по безопасности и требования к персоналу.

Литература /2, 6, 7/.

Вопросы для самопроверки

1. Для чего проводится медицинское освидетельствование электротехнического персонала?
2. Как и в какие сроки проводится обучение и аттестация квалифицированного электротехнического персонала?
3. Какие квалификационные группы по безопасности могут присваиваться электротехническому персоналу и при каких условиях?
4. Как проводятся оперативные переключения в действующих электроустановках?
5. Как классифицируются электропомещения и работы по степени опасности: без повышенной, с повышенной и особой опасностью?

Тема 12. Устройства защитного отключения (УЗО) реализуют надежный метод защиты людей от поражения электрическим током – снятие напряжения с поврежденной части электроустановки. Чаще этот метод применяется в случае пробоя электрической изоляции на корпус или на землю. УЗО применяются в электроустановках до и свыше 1000 В. В зависимости от параметра, характеризующего повреждение электроизоляции, УЗО подразделяются на устройства, реагирующие на возникновение потенциала на корпусе электрооборудования, на ток короткого замыкания, на напряжение и ток нулевой последовательности, на оперативный ток и на разность токов в фазном и нулевом проводах. Следует уяснить применение коллективных и индивидуальных защитных средств в электроустановках.

Литература /1, 2, 5, 6, 7/.

Вопросы для самопроверки

1. В каких случаях и электроустановках применимо защитное отключение?

2. Как действует УЗО при возникновении потенциала на корпусе?
3. Как работает УЗО при возникновении тока КЗ?
4. Когда и в каких режимах возникает напряжение нулевой последовательности в трехфазных электрических системах?
5. Как действует УЗО, реагирующее на оперативный ток?
6. Какое защитное действие проявляется при электрическом разделении источника и потребителя электрического тока?
7. Какое защитное действие проявляется при выравнивании потенциалов на поверхности земли?
8. Что относят к основным и дополнительным электрозащитным средствам при напряжении до 1000 В?
9. Что относят к основным и дополнительным электрозащитным средствам при напряжении выше 1000 В?
10. Как проводят непрямой массаж сердца и искусственное дыхание при поражении электрическим током?

Тема 13. В основе всех противопожарных мероприятий лежат физико-химическая природа горения вещества и теория цепных реакций. Необходимо уяснить физический смысл и практическое значение температур вспышки, воспламенения, самовозгорания, концентрационных и температурных пределов взрываемости.

Причины возникновения пожаров зависят от характера производственных процессов. Пожары возникают в основном там, где применяют нагрев, растворители и горюче-смазочные материалы. Необходимо проанализировать технологические процессы с целью определения их пожарной опасности и наиболее целесообразных методов пожарной профилактики.

Повышение огнестойкости строительных материалов и конструкций, зданий и сооружений является основным средством пожарной профилактики. Огнестойкость конструктивных элементов зданий выбирают в таких пределах, чтобы в случае своевременного тушения пожара материальный ущерб был минимальным и исключались бы несчастные случаи.

В зависимости от физико-химических свойств применяемых веществ можно заранее определить вероятность возникновения и распространения пожара и взрыва. Поэтому свойства веществ являются основным показателем для классификации производств по степени пожарной опасности на пять категорий – А, Б, В, Г и Д. На предприятиях и в ремонтных мастерских имеются производства нескольких из указанных категорий.

При проектировании зданий промышленных предприятий предусматривают возможность организованного вывода людей при авариях.

Обязательными условиями эвакуации во время пожара являются кратчайшее расстояние до выхода наружу, минимальное время выхода из здания, безопасность людей при движении.

Литература /1, 9, 10, 19/.

Вопросы для самопроверки

1. Изложите основные положения теории горения и взрыва.
2. Какая разница между самовоспламенением и самовозгоранием?
3. Чем отличается температура воспламенения от температуры вспышки?
4. К какой категории по пожарной опасности производства относят отдельные участки энергетического предприятия?
5. Какие материалы относятся к сгораемым?
6. Объясните, что такое предел огнестойкости строительных конструкций?
7. Как повысить огнестойкость дверей?
8. Какая пожарная профилактика проводится при сварочных работах?
9. Что относится к противопожарным преградам в зданиях?
10. Как должна учитываться пожарная профилактика при проектировании генплана?
11. Какие меры пожарной безопасности предусматривают при проектировании систем отопления и вентиляционных установок?
12. Какие выходы считают эвакуационными?
13. Как устроено противопожарное водоснабжение?
14. Как устроен прибор для тушения пожаров с помощью химических средств?
15. Как производится тушение горящего электрического оборудования, находящегося под напряжением?
16. Какие применяются средства пожарной сигнализации в связи?
17. Как производят тушение пожаров в результате воспламенения горючих жидкостей и газов?

Тема 14. Пожарной безопасности достигают комплексом организационно-технических мероприятий, направленных на предупреждение возникновения пожаров при работе и в производственных помещениях. Особой осторожности требуют огнеопасные и легковоспламеняющиеся материалы.

Эти мероприятия должны:

- устранять явные причины и предпосылки возникновения пожара;
- препятствовать возникновению огня;
- способствовать быстрой локализации пожара;
- обеспечивать успешную и быструю эвакуацию автомобилей из помещения и безопасную эвакуацию людей и материальных ценностей;
- создавать благоприятные условия для применения технических средств пожаротушения.

Пожар характеризуется определенными параметрами, главные из которых – температура и время. Для предотвращения возникновения и развития пожара предусматривают соответствующие устройства, приборы, аппараты предназначенные для тушения пожаров (пожарный водопровод, пожарный

резервуар, пеногенераторы, ручные огнетушители, спринклерные и дренчерные системы и др.). Следует изучить возможность их применения. Особое внимание следует обратить на особенности тушения горючих жидкостей, взрывоопасных веществ, электроустановок.

Литература /1, 9, 19/.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы особенности распространения пожара на предприятиях?
2. Как исчисляются косвенные и прямые убытки при пожаре?
3. Какое противопожарное оборудование должно быть на предприятии?
4. Какова величина противопожарных разрывов между производственными корпусами?
5. Как организуется работа добровольных пожарных дружин?
6. Какая предусмотрена ответственность за нарушения требований пожарной безопасности?
7. Кто разрабатывает противопожарные мероприятия и осуществляет контроль за их выполнением?
8. Какие категории работающих на предприятиях сдают пожарно-технический минимум?

1.4. ЗАДАЧИ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задачи для контрольной работы выполняются с исходными численными данными, выбранными по двум последним цифрам своего шифра. Контрольная работа, представленная не для своего варианта не рецензируется и возвращается исполнителю.

Задача 8 для студентов специальности 17.304 (электроснабжение) может быть заменена на задачу по расчету контурного защитного заземления для подстанций напряжением 10-35 кВ. Численные условия задачи для таких случаев следует согласовать с преподавателем кафедры «ТТ и БЖД».

Задача 1

Рассчитать общее люминесцентное освещение участка в соответствии с нормами по разрядам зрительной работы и безопасности труда. Исходные данные: высота помещения $H=6$ м, размеры участка "длина"- "ширина": $(10+A) \times (6+B)$ м, напряжение осветительной сети 220 В; коэффициенты отражения потолка $\alpha_c=70\%$, стен - $\alpha_n=50\%$; светильники с люминесцентными лампами ЛБ-40-4, имеющими световой поток $\Phi=2080$ лм. Тип участка выбирают по табл. 1. Для расчетов принять A – равной последней цифре шифра студента, B – предпоследней цифре. К задаче составить эскиз плана участка с указанием расположения светильников.

Таблица 1

А	Тип участка
0	Конструкторское бюро
1	Производственно-технический отдел
2	Кабинет главного инженера
3	Участок ремонта трансформаторов
4	Участок намотки электродвигателей
5	Гараж
6	Электрослесарный участок
7	Электротехническая лаборатория
8	Щит управления
9	Лаборатория релейной защиты и автоматики (РЗА)

Методические указания:

Методика решения и порядок расчетов приведен в учебниках /1, 10/. Разряд и подразряд зрительной работы выбирают по нормам из /4, 17/. Пример решения аналогичной задачи приведен в /17/.

Задача 2

Уровень звукового давления на расстоянии 1 м от передвижного дизель-генератора составляет $L_A = (200 + B + A)$ дБ. Определить уровень звукового давления у стен жилых домов, расположенных на расстоянии $L_B = (50 + 20 \times B)$ м от дизель-генератора. Как изменится уровень звукового давления у стен этих домов, если одновременно будут работать 2 и 3 агрегата?

Принять значение А, равное последней цифре шифра; В – предпоследней.

Методические указания:

Для решения используют учебники /1, 10, 4/. Примеры решения задачи приведены в /10/.

Задача 3

Произвести расчеты безопасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Задача состоит из двух частей:

1. Компрессор подает воздух под давлением $P_2 = 100(A + B)$ кПа при начальном давлении сжимаемого воздуха $P_1 = 98$ кПа и температуре $T_1 = 288$ °С. В компрессоре применяется компрессорное масло марки К 200 с температурой вспышки не ниже 216 °С. Процесс сжатия – политропный с показателем $n = (1,4 + 0,1 \times B)$.

Согласно правилам устройства и безопасной эксплуатации воздушных компрессоров и воздухопроводов разница между температурой вспышки масла и температурой сжатого воздуха должна быть не менее 75 °С. Определить температуру сжатого воздуха и сделать заключение о возможности эксплуатации компрессора без охлаждения.

2. Воздухосборник компрессора имеет объем $V_1=(1+0,3 \times A)$ м³ и рассчитан на давление $P_1=(400+100 \times B)$ кПа. Определить мощность взрыва этого воздухосборника, если время действия взрыва $\tau = (0,01+0,05 \times A)$ с. Значение А принять равным последней цифре шифра, В – предпоследней. Конечное давление – атмосферное.

Методические указания:

Используют литературу /1, 4, 10/. Конечная температура сжатого воздуха в компрессоре определяется по формуле:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\left(\frac{n-1}{n} \right)},$$

где T_1 , P_1 – абсолютная температура и давление в конце воздуха до сжатия; T_2 , P_2 – абсолютная температура и давление в конце сжатия; n – показатель политропы. Полученный результат сопоставить с температурой вспышки компрессорного масла и сделать заключение о необходимости охлаждения компрессора.

Мощность взрыва воздухосборника определяют по формуле:

$$N = \frac{L}{\tau}, \text{ кВт}$$

$$\text{где } L = V_1 P_1 \frac{\left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]}{10^3 (n-1)}, \text{ кДж.}$$

Задача 4

В отделении окрасочных составов малярного участка применяют в качестве растворителя ацетон. Вследствие нарушений требований безопасности произошла авария, в результате чего ацетон был разлит на полу, и вентиляция перестала работать.

Определить, к какой категории взрывопожарной опасности необходимо отнести это производство.

Исходные данные: а) количество разлитого ацетона $M=(10+2xA)$ кг; б) нижний концентрационный предел воспламенения ацетона НКПВ= 52 г/м; в) объем помещения $V_n=(500+300xB)$ м³, площадь $S=(100+50xA)$ м²; г) молекулярная масса ацетона $\mu=58,08$ кг/моль. Принять значение А, равное последней цифре шифра, Б-предпоследней.

Методические указания:

Объем взрывоопасной паровоздушной смеси, в котором разлившийся ацетон может образовать взрывоопасную концентрацию на нижнем пределе воспламенения, определяется по формуле:

$$V_{cm} = \frac{1,5M}{НКПВ},$$

где **М** – масса ацетона в граммах.

Свободный объем помещения, который займет взрывоопасная смесь при испарении всего ацетона:

$$V = \frac{100V_{cm}}{V_n}, \quad \%.$$

Если объем взрывоопасной и паровоздушной смеси составит более 5 % объема помещения, то необходимо определить время испарения (г) ацетона в количестве, достаточном для образования взрывоопасной смеси в 5 % объема помещения в часах:

$$\tau_n = \frac{0,15V_n (НКПВ)}{K_B P_H \sqrt{MS}},$$

где **K_в** – коэффициент, учитывающий влияние скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения (принять **K_в=1**); **P_н=230** мм рт.ст. - давление насыщенных паров ацетона при температуре 25 °С.

Руководствуясь справочником 4, 9, СНиП II-М.2-98 (Производственные задания промышленных зданий) необходимо определить категорию производства по взрыво- и пожароопасности.

Задача 5

Определить предельное время срабатывания максимальной токовой защиты (МТЗ) при занулении промышленных электроустановок напряжением 0,4 кВ, если человек, находясь на поверхности земли, касается металлического корпуса электроустановки, в которой произошел пробой изоляции на корпус в одной из фаз.

Величина неотпускающего тока и сопротивление тела человека известны и равны соответственно:

$$I_u = 10+2xB, \text{ мА};$$

$$Z_4 = 800 + 100 \times A \text{ Ом},$$

где А и Б – предпоследняя и последняя цифра шифра.

Допустимая электротравма при КЗ не выше 3-й.

Методические указания:

Задачу решать с использованием ГОСТ 12.1.038-82.

Задача 6

Оцените возможность использования железобетонных конструкций здания промышленного предприятия в качестве заземляющего устройства.

При решении задачи следует принять:

S – величину площади, ограниченной периметрами здания: $S = 130 + 20 \times A$, м²; удельное электрическое сопротивление верхнего слоя земли: $\rho_1 = 100 + 100 \times B$, Ом м; толщину верхнего слоя земли $h_1 = 1 + 0,3 \times A$, м; удельное электрическое сопротивление подстилающего нижнего слоя земли $\rho_2 = 50 + 50 \times A$, Ом м; величину расчетного тока замыкания на землю $I_{кз} = 1 + 0,5 \times A$, А; U – напряжение электроустановки (см. ниже):

Значение Б	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Величина U, кВ	0,4	6	6,3	10	0,4	35	0,4	6	10	35

Значения переменным А и Б соответствуют последней и предпоследней цифрам шифра.

Методические указания:

При расчетах заземляющих устройств электроустановок следует оценить возможность применения железобетонных фундаментов зданий в соответствии с ГОСТ 12.1.030-81 "Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. Оценка возможности использования железобетонных фундаментов промышленных зданий в качестве заземлителей".

Применение железобетонных конструкций зданий в качестве заземляющих устройств в электроустановках напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью, расположенных внутри или примыкающих к промышленному зданию, в электроустановках напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью, расположенных внутри промышленного здания или примыкающих к зданию с железобетонными фундаментами, следует использовать эти железобетонные фундаменты в качестве заземлителей без сооружения дополнительных искусственных заземляющих устройств.

Сопротивление железобетонного фундамента как естественного заземлителя рассчитывается по формуле:

$$R_{\phi} = 0,5 \frac{\rho_2}{\sqrt{S}},$$

где S – площадь, ограниченная периметром здания, м^2 , ρ_3 – удельное эквивалентное сопротивление земли.

Расчет удельного эквивалентного сопротивления земли производят по формуле:

$$\rho_3 = \rho_1 \left(1 - \ell^{\frac{-\alpha h}{\sqrt{S}}} \right) + \rho_2 \left(1 - \ell^{\frac{-\beta \sqrt{S}}{h}} \right),$$

где ℓ – основание натуральных логарифмов $\ell = 2,71$, ρ_1 – удельное электрическое сопротивление верхнего слоя земли, Ом м; ρ_2 – удельное электрическое сопротивление подстилающего (нижнего) слоя земли, Ом м; h – мощность (толщина) верхнего слоя земли в м; S – площадь ограниченная периметром здания, м^2 ; α и β – безразмерные коэффициенты, значения которых определяются из таблицы:

Соотношение удельных сопротивлений грунта	α	β
$\rho_1 > \rho_2$	3,6	0,1
$\rho_1 < \rho_2$	110	0,003

Задача 7

Произвести расчет зануления для электрической сети 380/220 В. Провода, соединяющие электродвигатель с распределительным пунктом (РП) – алюминиевые. Выбрать сечение проводов от РП к электродвигателю. Исходные данные для расчетов приведены в таблице 5. Выбор мощностей трансформатора и двигателя производят по последней цифре шифра студента.

Сопротивление проводов от пункта до РП и длину линии проводов к электродвигателю выбирают по предпоследней цифре шифра.

Таблица 5

Наименование	В а р и а н т ы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Мощность трансформатора, кВА	160	320	400	560	630	750	1000	400	280	750
Сопротивление проводов от трансформаторной подстанции до РП, Ом	0,01	0,021	0,032	0,015	0,05	0,008	0,009	0,025	0,01	0,007

Мощность двигателя, кВА	25	75	10	15	100	80	35	50	75	100
Длина линии, м	50	100	200	150	40	700	80	175	400	500

Методические указания:

Пример решения задачи приведен в /2/.

Задача 8

Рассчитать заземлитель открытого распределительного устройства (ОРУ) напряжением 110/35/6 кВ в двухслойной земле методом наведенных потенциалов по допустимому сопротивлению. На ОРУ установлены 2 трансформатора напряжением 110/35/6 кВ с эффективно заземленной нейтралью со стороны 110 кВ. Для питания собственных нужд имеется отдельный трансформатор на напряжение 6/0,4 кВ с глухозаземленной нейтралью со стороны низшего напряжения. Распределительные устройства 110 и 35 кВ открытого типа, 6 кВ – закрытого типа. В качестве естественного заземлителя следует использовать систему трос-опора отходящих от ОРУ ВЛ ЛЭП 110 кВ на металлических опорах с заданной длиной пролета. Каждая одноцепная ВЛ имеет один молниезащитный трос с заданным сечением. Число опор каждой ВЛ на ЛЭП больше 20. Расчетный ток замыкания на землю на стороне 110 кВ составляет 5 кА, на стороне 35 кВ – 40 А, на стороне 6 кВ – 30 А.

Данные для решения задачи:

Территория ОРУ площадью $S=850 \cdot A + 50 \cdot B$ м², вид заземлителей – горизонтальные полосы из прутка стали диаметром 12 мм., вертикальные стержневые из такого же прутка длиной по 5 м., глубина заложения электродов заземлителей в землю – 0,7 м., расчетное удельное сопротивление грунта: верхний слой $\rho_1=20 \cdot A + 10 \cdot B$, Ом м., нижний слой $\rho_2=5 \cdot A + 2 \cdot B$, Ом м., толщина (мощность) верхнего слоя грунта $h_1=1+(0,1 \cdot A + 0,1 \cdot B)$, м., сечение молниезащитного троса на опорах ЛЭП $S_{тр}=50(A+B)$, мм², длина троса в одном пролете $\ell_{тр}=200 + 5 \cdot (A+B)$, м., число отходящих ЛЭП $n_{вл}=...B$ Сопротивление заземления на каждой опоре принять по 12 Ом.

Принять: **A** – равной последней цифре шифра студента, **B** – предпоследней цифре.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПО РАСЧЕТУ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРО УСТАНОВОК НАПРЯЖЕНИЕМ 110 кВ И ВЫШЕ

Расчет защитного заземления выполняется для открытых распределительных устройств (ОРУ) электрических станций и подстанций (П/С) с электроустановками напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью. Трехфазные электроустановки такого типа используются на напряжения 110 кВ и выше с передачей электроэнергии по воздушным линиям электропередач (ВЛ), выполненным по 4-х проводной схеме.

Для расчета задаются:

1. Размеры ОРУ - длина ($D_{л}$), м. и ширина ($Ш$), м.
2. Число подходящих ВЛ ($N_{вл}$) для выдачи электрической мощности в энергосистему, имеющих естественные заземлители системы «трос-опора».
3. Для каждой из ВЛ - число стальных тросов ($N_{тр}$), их сечение ($S_{тр}$), мм², длина пролетов между опорами ($L_{тр}$), м, число опор на каждой ВЛ ($N_{оп}$) и сопротивления заземлителей на опорах ($R_{оп}$), Ом.
4. Грунт на территории ОРУ принимается двухслойным. Мощность (глубина) верхнего слоя ($h_г$), м. Удельные сопротивления слоев: верхнего ρ_1 , Ом.м., нижнего ρ_2 , Ом.м.
5. Искусственный заземлитель на территории ОРУ – сетка из горизонтальных полос, выполненных из стального прутка $\varnothing$ (12-20) мм. и вертикальных стержневых электродов, размещаемых по периметру сетки. Периметр охватывает территорию ОРУ. Глубина заложения сетки и вертикальных стержневых электродов от поверхности земли – ($t_в$), м. Горизонтальные полосы состоят из продольных, размещенных вдоль осей электрооборудования, и поперечных полос. Расстояние между продольными полосами задается $L_{пр}$, м. Длина вертикальных стержневых электродов задается ($l_в$), м.

Методика расчета

1. Определяется сопротивление заземляющего троса на ВЛ по формуле:

$$R_{тр} = 0,15 \cdot L_{тр} / S_{тр}, \text{ Ом.}$$
2. Определяется сопротивление системы «трос-опора»:

$$R_{тр-оп} = (R_{тр} R_{оп} / N_{тр})^{0,5}, \text{ Ом.}$$
3. Определяется сопротивление естественного заземлителя (системы трос-опора)

$$R_e = R_{тр-оп} / N_{вл}, \text{ Ом.}$$
4. Принимается значение нормированного сопротивления заземлителя

$$R_{з.н} = 0,5 \text{ Ом.}$$
5. Определяется требуемое сопротивление искусственного заземлителя

$$R_{ис} = R_{з.н} \cdot R_e / (R_e - R_{з.н}), \text{ Ом}$$
6. Размещаются горизонтальные электроды по площади ОРУ. Продольные – прокладываются вдоль осей электрооборудования между его фундаментами в удобных местах и равномерно по ширине $Ш$. Поперечные прокладываются также в удобных местах, но расстояния между ними увеличиваются от периферии к

центру (для выравнивания потенциалов) и должны выбираться из следующего ряда - 4, 5, 6, 7,5, 9, 11, 13,5, 16 и 20 м.

7. Определяется число продольных полос $N_{пр} = ((Ш/L_{пр})+1)$. При дробном $N_{пр}$ результат округляется до ближайшего большего целого.

8. Поперечные полосы прокладываются по длине ОРУ на вышеуказанных расстояниях. Число полос вначале определяется ориентировочно по сумме подбора $Дл = 2 \cdot \Sigma$, где $\Sigma = (4+5+6+7,5+9+11+13,5+16+20...)$. Если $Дл > 2\Sigma$, то в скобку при суммировании добавляется либо число 20, либо меньшее число до получения равенства. Если $Дл < 2\Sigma$, то из скобки удаляются последовательно числа 20, 16, 13,5 и т.д. до получения равенства. Если равенство не получается при удалении соответствующих чисел, то добавляется последнее число справа, которое может быть меньше удаляемого. Число поперечных полос определяется по формуле $N_{поп} = 2 \cdot (N_{чис} + 1) + N_{доп}$, где $N_{чис}$ - число чисел в предыдущей скобке при подборе равенства, $N_{доп} = 1$ и учитывается только в случае, если последнее число в скобках Σ справа соответствует указанному ряду (т.е. по осевой линии посередине имеется поперечная полоса).

9. Составляется схема размещения сетки из полос на плане ОРУ. Как пример ниже схема для плана ОРУ при размерах : $Дл=90$ м., $Ш=80$ м и расстоянии между продольными полосами $L_{пр} = 80/9 = 8,89$ м.

10. Общая длина горизонтальных полос равна $L_г = L_{пр} \times Дл + L_{поп} \times Ш$ м.

11. Вертикальные электроды размещены только по периферии ОРУ в узлах соединения горизонтальных полос. Всего электродов $n_в = L_{поп} \times 2 + (L_{пр} - 2) \times 2$ шт.

12. Общая длина всех вертикальных электродов $L_в = n_в \times l_в$ м.

13. Суммарная длина электродов $L_э = L_г + L_в$ м.

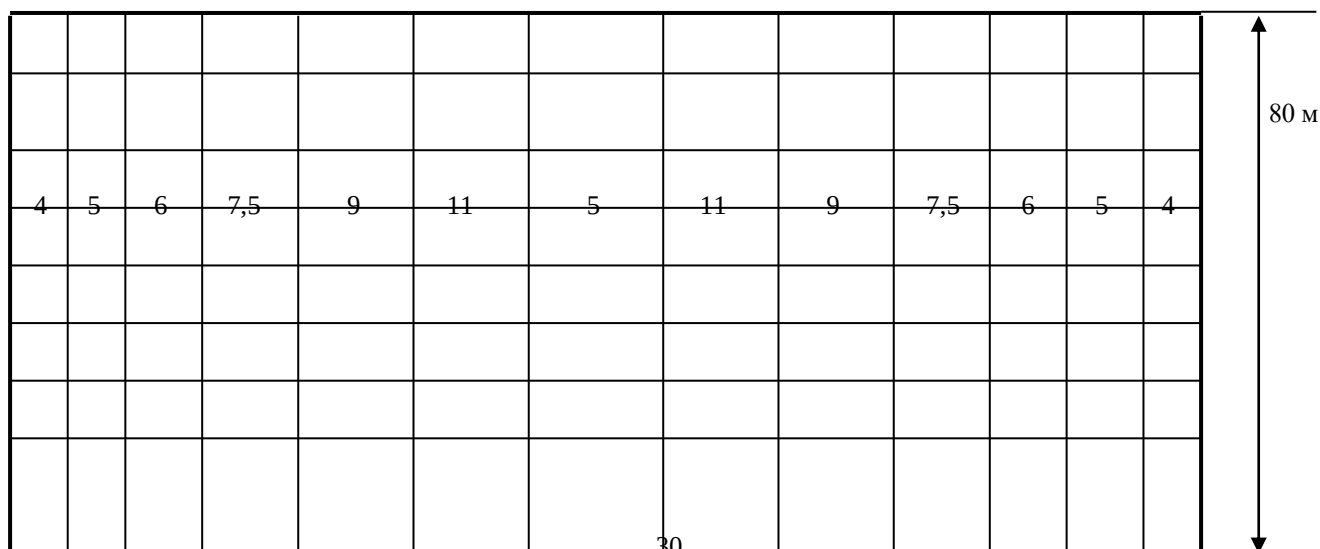
14. Расчетная модель заземлителя - квадратная сетка площадью $S = Дл \times Ш$ м².

15. Длина стороны квадрата $c = \sqrt{S}$ м.

16. Количество ячеек по стороне модели $m = (L_г/2 \cdot c) - 1$. При нецелом m выбирается целое большее число.

17. Длина стороны ячейки в модели $в = c/m$, м.

18. Уточняется длина горизонтальных электродов $L_{гп} = 2(m+1)c$ м.



90 м

19. Расстояние между вертикальными электродами $a=4c/n_b$ м.
20. Относительная глубина погружения вертикальных электродов в землю
 $T_{отн} = (l_b + t_b)/c$.
21. Относительная длина верхней части вертикальных электродов в верхнем слое грунта $L_{отн} = (h_r - t_b)/l_b$
22. Отношение удельных сопротивлений слоев грунта $k_p = \rho_1/\rho_2$.
23. Показатель степени $q = 0,43(L_{отн} + 0,272 \cdot \ln(a\sqrt{2}/l_b))$ – при $1 \leq k_p \leq 10$.
 $q = 0,32(1 + 0,26 \cdot \ln(h_r/l_b))$ – при $0,1 \leq k_p \leq 1$
24. Эквивалентное удельное сопротивление $\rho_{эkv} = \rho_2 \cdot k_p^q$ Ом.м.
25. Определяем коэффициент $A = 0,444 - 0,84 \cdot T_{отн}$ при $0 \leq T_{отн} \leq 0,1$.
 $A = 0,385 - 0,25 \cdot T_{отн}$ при $0,1 \leq T_{отн} \leq 0,5$.
26. Сопротивление искусственного заземлителя
 $R_{расч} = A \cdot \rho_{эkv} / c + \rho_{эkv} / (L_{гр} + L_b)$ Ом.
27. Если полученное сопротивление $R_{расч}$ равно или меньше требуемого $R_{ис}$ (см. п.5), то расчет выполнен верно. Если полученное сопротивление $R_{расч}$ больше требуемого $R_{ис}$ (см. п.5), то результат расчета не удовлетворяет требованиям ПУЭ. Необходимо задать другие параметры и повторить расчет.
28. Если расчет выполнен верно, то определяется действительное сопротивление защитного заземления
 $R_3 = R_{расч} \cdot R_e / (R_e + R_{расч})$ Ом.
29. Определяется максимальный ток на заземлителе при однофазном КЗ, когда потенциал на нем может стать равным 10 кВ
 $I_{кз} = 10 / R_3$ кА.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПО РАСЧЕТУ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРО УСТАНОВОК НАПРЯЖЕНИЕМ 6, 10, 35 кВ

На п/с устанавливаются трехфазные электроустановки с изолированной от земли нейтралью и отсутствием аппаратов, компенсирующих емкостной ток сети.

Вводятся исходные данные:

1. Площадь п/с - длина D , м. и ширина $Ш$, м.
2. Подходящие ВЛ-35 : количество N_{35} , шт., длина L_{35} , км.,
3. Кабельные вводы на ВЛ-35 : количество KKL_{35} , шт., длина KKL_{35} , км.,
4. Отходящие ВЛ-10 : количество N_{10} , шт., длина L_{10} , км.,
5. Кабельные вводы на ВЛ-10 : количество KKL_{10} , шт., длина KKL_{10} , км.,
6. Мощность трансформатора с/н $N_{сн}$, кВА

7. Напряжение трансформатора с/н (выбрать)- 10/0,23 или 10/0,4 или 10/0,67

8. Режим нейтрали Тр.с/н – изолированная - ИНТРСН, глухозаземленная – ГЗНТРСН

9. Удельное сопротивление однородного грунта ρ , Ом.м.

10. Сопротивление растеканию тока естественных заземлителей – ж/б фундаментов электрооборудования и порталов R_{Φ} = Ом.

11. Диаметр стального прутка заземлителей d , м и глубина заложения их в землю t , м.

12. Длина вертикальных стержневых заземлителей L_B , м.

Решение:

1. Значения токов $K3$ на стороне 35 и 10 кВ

$$I_{K3,35} = 35 \cdot ((L_{35} \cdot N_{35}) + 35 \cdot (KЛ_{35} \cdot KКЛ_{35})) / 350, \quad \text{А.}$$

$$I_{K3,10} = 10 \cdot ((L_{10} \cdot N_{10}) + 35 \cdot (KЛ_{10} \cdot KКЛ_{10})) / 350, \quad \text{А.}$$

2. Наибольшее допустимое расчетное сопротивление системы заземления, используемого для электроустановок напряжением выше 1 кВ

на стороне 35 кВ $R_{3,35} = 250 / I_{K3,35}$, Ом, но не более 10 Ом.

на стороне 10 кВ $R_{3,10} = 250 / I_{K3,10}$, Ом, но не более 10 Ом.

3. Наибольшее допустимое расчетное сопротивление системы заземления, используемого совместно для электроустановок напряжением выше и ниже 1 кВ

на стороне 35 кВ $R_{3,35} = 125 / I_{K3,35}$, Ом, но не более 10 Ом.

на стороне 10 кВ $R_{3,10} = 125 / I_{K3,10}$, Ом, но не более 10 Ом.

4. Наибольшее допустимое сопротивление системы заземления, используемой для электроустановок напряжением ниже 1 кВ

Для Тр.с/н с изолирован. нейтралью ИНТРСН $R_{3,CH} = 10$ Ом при $N_{CH} < 100$ кВА

$R_{3,CH} = 4$ Ом при $N_{CH} \geq 100$ кВА

Для Тр.с/н с заземл. нейтралью ГЗНТРСН $R_{3,CH} = 8$ Ом при $U_{CH} = 0,23$ кВ

$R_{3,CH} = 4$ Ом при $U_{CH} = 0,4$ кВ

$R_{3,CH} = 2$ Ом при $U_{CH} = 0,67$ кВ

5. При использовании системы заземления подстанции для всех электроустановок наибольшее допустимое сопротивление выбирается как наименьшее из $R_{3,35}$, $R_{3,10}$, $R_{3,CH}$ и равное $R_{3,РАСЧ}$ = Ом.

6. При наличии естественных заземлителей $R_{\Phi} > 0$ и $R_{\Phi} \leq R_{3,РАСЧ}$ искусственный заземлитель не требуется, сопротивление естественного заземлителя удовлетворяет требованиям безопасности. При $R_{\Phi} > 0$ и $R_{\Phi} > R_{3,РАСЧ}$ сопротивление искусственного заземлителя равно $R_{ИС} = R_{3,РАСЧ} \cdot R_{\Phi} / (R_{\Phi} - R_{3,РАСЧ})$, Ом.

7. При отсутствии естественных заземлителей $R_{\Phi} \gg 0$ сопротивление искусственного заземлителя равно $R_{ИС} = R_{3,РАСЧ}$, Ом

8. Длина протяженного заземлителя в контуре защитного заземления, проложенного на расстоянии 1 м от внешних границ территории п/с.

$$L = 2 \cdot (D + 2) + 2 \cdot (Ш + 2) \text{ м.}$$

9. Сопротивление растеканию тока от протяженного горизонтального заземлителя в контуре

$$R_{\Gamma} = \rho \cdot \ln(L^2/d \cdot t) / 2\pi L, \text{ Ом. Здесь } \ln - \text{натуральный логарифм}$$

10. Если $R_{\Gamma} \leq R_{\text{ИС}}$, то установка дополнительных вертикальных стержневых заземлителей не требуется. Расчет завершен.

11. Если $R_{\Gamma} > R_{\text{ИС}}$, то требуется установка дополнительных вертикальных стержневых заземлителей, включенных электрически параллельно горизонтальному заземлителю и тем самым снижающих суммарное сопротивление искусственного заземлителя.

12. Сопротивление растеканию тока одиночного вертикального стержневого заземлителя

$$R_B = \rho \cdot [\ln(2 \cdot L_B/d) + 0,5 \cdot \ln((4 \cdot (L_B/2 + t) + L_B) / (4 \cdot (L_B/2 + t) - L_B))] / 2,3, 14. L_B, \text{ Ом.}$$

13. Ориентировочное количество вертикальных стержневых заземлителей при коэффициенте использования $\eta_{\text{ИС}} = 1$, $N_B = R_B / R_{\text{ИС}} - R_B / R_{\Gamma}$. Величина N_B округляется до ближайшего большего целого значения.

14. Ориентировочное расстояние между вертикальными стержневыми заземлителями, размещенными равномерно по длине горизонтального протяженного заземлителя

$$\Delta L_B = L / N_B, \text{ м. } k = \Delta L_B / L_B.$$

15. Действительная величина коэффициента использования вертикальных стержневых заземлителей, размещенных по контуру заземления

$$\eta_B = 0,539 + 0,142 \cdot k - 0,014 \cdot k^2 - 0,013 \cdot N_B + 0,005 \cdot k \cdot N_B - 0,001 \cdot k^2 \cdot N_B + 0,0001 \cdot N_B^2 - 0,00005 \cdot k \cdot N_B^2 + 0,00001 \cdot k^2 \cdot N_B^2. \text{ Контроль } - 0,36 \leq \eta_B \leq 0,85$$

16. Действительная величина коэффициента использования горизонтальных заземлителей, соединяющих вертикальные стержневые заземлители между собой при их размещении по контуру

$$\eta_{\Gamma} = 0,45 - 0,058 \cdot k + 0,046 \cdot k^2 - 0,009 \cdot N_B + 0,0027 \cdot k \cdot N_B - 0,001 \cdot k^2 \cdot N_B + 0,0007 \cdot N_B^2 - 0,00003 \cdot k \cdot N_B^2 - 0,00001 \cdot k^2 \cdot N_B^2. \text{ Контроль } 0,19 \leq \eta_{\Gamma} \leq 0,7$$

17. Действительное количество вертикальных стержневых заземлителей

$$N_{B,Д} = (R_B / (R_{\text{ИС}} \cdot \eta_B)) - (R_B \cdot \eta_{\Gamma}) / (R_{\Gamma} \cdot \eta_B). \text{ Величина } N_{B,Д} \text{ округляется до ближайшего большего целого значения.}$$

18. Действительное расстояние между вертикальными стержневыми заземлителями, размещенными равномерно по длине горизонтального протяженного заземлителя

$$\Delta L_{B,Д} = L / N_{B,Д}, \text{ м.}$$

19. Действительное отношение расстояния между вертикальными стержневыми заземлителями к их длине $k_{Д} = \Delta L_{B,Д} / L_B$.

20. Количество вертикальных стержневых заземлителей, размещенных по длине D подстанции

$$N_{Д} = (D / \Delta L_{B,Д} + 1). \text{ Величина } N_{Д} \text{ округляется до ближайшего большего целого значения.}$$

21. Количество вертикальных стержневых заземлителей, размещенных по ширине Ш подстанции

$N_{\text{Ш}} = (\text{Ш} / \Delta L_{\text{В,Д}} + 1)$. Величина $N_{\text{Ш}}$ округляется до ближайшего большего целого значения.

22. Общее количество вертикальных стержневых заземлителей, размещенных по контуру подстанции

$$N = 2 \cdot N_{\text{Д}} + 2 \cdot (N_{\text{Ш}} - 2) \geq N_{\text{В,Д}}.$$

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПО РАСЧЕТУ ЗАНУЛЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

Вводятся исходные данные.

Задаются исходные параметры :

1. напряжение питания $U_{\text{ф}}/U_{\text{л}}$ - 127/220, 220/380, 380/660 В,
2. мощность электродвигателя на валу (эффективная) $N_{\text{эд}}$ кВт,
3. тип максимально-токовой защиты (МТЗ): Пл- плавкие вставки предохранителей, АВ- автоматический выключатель с максимально-токовой отсечкой,
4. тип электропроводки (Эпр) к электродвигателю: ВЛ- воздушная линия, КЛ- кабельная линия, ПТр- отдельные провода в трубах, ПМ- отдельные провода на металлоконструкциях.,
5. тип металла (Мет) проводов : М- медные провода, А- алюминиевые провода,
6. длина электропроводки от источника тока L м.,
7. величина КПД электродвигателя $\eta_{\text{эд}}$ %,
8. величина $\cos \varphi$,
9. характер запуска электродвигателя- нормальный -Н, легкий -Л, тяжелый -Т,
10. мощность питающего трансформатора $N_{\text{тр}}$ кВА,
11. сопротивления основного и повторного заземлителей R_0 и $R_{\text{пз}}$ Ом (нормативные значения этих сопротивлений – при напряжении 127/220 В $R_0 \leq 8$ Ом и $R_{\text{пз}} \leq 60$ Ом, 220/380 - $R_0 \leq 4$ Ом и $R_{\text{пз}} \leq 30$ Ом, 380/660 – $R_0 \leq 2$ Ом и $R_{\text{пз}} \leq 15$ Ом) ,
12. время срабатывания плавкой вставки предохранителя или отключения расцепителя автоматического выключателя $\tau_{\text{откл}}$ секунд.
13. Назначение электроустановки – производственная -П или бытовая-Б.
14. Выбор проводов (Пр)– 4 одного сечения или 3 фазных провода плюс 1- нулевой провод

Решение

1. Составляется электрическая схема зануления трехфазного электродвигателя напряжением до 1 кВ. Принимается четырехпроводная схема с нулевым защитным проводом.
2. Рассчитывается номинальный ток электродвигателя
$$I_{эд} = 1000 \cdot N_{эд} / (3 \cdot U_{ф} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{эд}) \quad \text{А.}$$
3. Расчет пускового тока электродвигателя $I_{п} = 5 \cdot I_{эд} \quad \text{А.}$
4. Расчет тока плавкой вставки $I_{пл} = I_{п} / k$, А., где $k = 2,5$ - для нормального, $k = 3,5$ - для легкого и $k = 1,8$ - для тяжелого.
5. Выбор номинального тока плавкой вставки $I_{ном.пл}$ из следующего ряда - при $I_{пл} \leq 10$ А - выбирается большее значение с округлением до целого, при $I_{пл} \geq 10$ А - выбирается большее значение с округлением до целой 5 или 10 (т.е. из ряда 10, 15, 20, 25, 30, и т.д.)
6. Выбор номинального тока автоматического выключателя $I_{ав}$ по величине $I_{эд}$ (с возможным перегрузом в 10-20 %) из следующего ряда 1, 1,6, 2,5, 4, 6,3, 10 А и увеличенные в 10^n . Выбирается ближайшее большее значение. Для автоматического выключателя выписывается значение номинального тока срабатывания расцепителя с электромагнитным приводом $I_{ав \cdot расц.}$. Для выключателей типа АП-50 (советского и российского производства) этот ток превышает ток $I_{ав}$ в 9-11 (в среднем в 10) раз. Для выключателей типа АВ различных исполнений этот ток превышает ток $I_{ав}$ в 5-10 раз, но с меньшим превышением тока промышленность автоматы не выпускает. Автоматы с биметаллическим (тепловым) приводом имеют меньшее превышение тока. Но для зануления такие автоматы не пригодны из-за большого времени от момента КЗ до момента срабатывания.
7. Выбор ориентировочной плотности тока в фазных проводах: $j = I_{эд} / s = 3 \text{ А/мм}^2$ – для медных проводов, 2 А/мм^2 – для алюминиевых проводов.
8. Расчет ориентировочного сечения фазных проводов $s_{ф} = I_{эд} / j \text{ мм}^2$.
9. Выбор стандартного сечения фазных проводов $S_{ф}$ из следующего ряда: 1, 1,5, 2, 2,5, 4, 6, 8, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 130, 150, 170 мм². Выбирается сечение по рассчитанному $s_{ф}$ с округлением до ближайшего большего значения из этого ряда. Для алюминиевых проводов и алюминиевых жил в кабелях минимальное сечение 2,5 мм² - по технологии монтажа и использования.
10. Выбор стандартного сечения нулевого провода $S_{н}$ по следующему правилу – сечение нулевого провода выбирается или равным сечению фазных проводов или меньше сечения фазных проводов на одну ступень из вышеприведенного ряда.
11. Выбор марки проводов или кабелей: для медного кабеля первая буква М не ставится, выбирается марка ВВ 4х $S_{ф}$ – если 4 жилы одинаковы и имеют сечение фазного провода, или ВВ 3х $S_{ф}$ + 1х $S_{н}$ – если 3 фазных провода имеют сечение $S_{ф}$, а нулевая жила имеет сечение $S_{н}$. Для кабеля с алюминиевыми жилами в буквенном обозначении первой буквой стоит А.

Например: АВВ 4х4, ААВ 3х6+1х4, АВВГ 3х10+1х8, и т.д. В марке кабеля вторая буква обозначает тип электрической изоляции жил (В-поливинилхлоридная, Р- резиновая, Б-бумажная пропитанная), третья буква – тип электрической изоляции оболочки всего кабеля (В- поливинилхлоридная, А- алюминиевая, С-свинцовая). Для кабеля с броней из двух стальных лент последняя буква – Б. Для проводов рекомендуются марки ПВ S_ф (медный) и АПВ S_ф – алюминевый.

12. Расчет активного сопротивления фазных и нулевого проводов $R_{\phi} = \rho \cdot L / S_{\phi}$, и $R_n = \rho \cdot L / S_n$ Ом, где L –длина электропроводки в м., ρ -удельное сопротивление металла проводящей жилы ($\rho = 0,018$ Ом.мм²/м - для меди и $\rho = 0,028$ Ом.мм²/м – для алюминия).
13. Расчет индуктивного сопротивления фазных и нулевого проводов $X_{\phi, n} = 0,0156 \cdot L / 1000$ Ом
14. Расчет сопротивления взаимной индукции петли «фаза-нуль» $X_n = 0,1 \cdot L / 1000$
15. Расчет полного сопротивления петли «фаза-нуль» $Z_{\phi-n} = [(R_{\phi} + R_n)^2 + (X_{\phi} + X_n + X_n)^2]^{0,5}$, Ом
16. Выбор сопротивления трансформатора $Z_{тр}$ по следующим данным: при напряжении на первичной обмотке 6-10 кВ и на вторичной обмотке 0,23/0,4 кВ и схеме включения “треугольник-звезда” величины сопротивления $Z_{тр}$ зависят от электрической мощности $N_{тр}$ и равны для $N_{тр} = 25$ кВА - $Z_{тр} = 0,906$ Ом, для 40 кВА – 0,562 Ом, для 63 кВА- 0,36 Ом, 100 кВА-0,226 Ом, 160 кВА- 0,141 Ом, 250 кВА- 0,09 Ом, 400 кВА- 0,056 Ом, 630 кВА- 0,042 Ом, 1000 кВА- 0,027 Ом, 1600 кВА- 0,017 Ом.
17. Расчет тока КЗ (короткого замыкания) на корпус $I_{кз} = U_{\phi} / (Z_{\phi} / 3 + Z_{\phi-n})$, А
18. Проверка условия надежности отключающей способности – для плавких вставок предохранителей $I_{кз}$ должен быть равен или больше $3I_{ном.пл}$, т.е. (3-3,3) $I_{ном.пл}$, - для автоматических выключателей с электромагнитным расцепителем $I_{кз}$ должно быть равно или больше (1,25-1,4) $I_{ав.расц.}$ в зависимости от выключателя (прямая или обратная).

Если ток КЗ меньше названных условий, то принимаются большие значения сечений фазных и нулевого проводов S_{ϕ} и S_n на одну ступень (или несколько) из ряда сечений в пункте 9 и расчет повторяется от пункта 12 и до пункта 18. Если же условия пункта 18 выполняются, то расчет отключающей способности закончен.

19. Расчет падения напряжения на нулевом проводе $U_n = I_{кз} \cdot (R_n^2 + X_n^2)^{0,5}$, В.
20. Ток, стекающий через повторный заземлитель ПЗ $I_{пз} = U_n / (R_o + R_{пз})$, А
21. Напряжение прикосновения “ корпус - земля “ $U_{пр} = I_{пз} \cdot R_{пз}$, В
22. Выбор допускаемого напряжения прикосновения в зависимости от времени срабатывания $\tau_{откл}$ из следующего ряда – для производственных электроустановок $U_{пр.ном} = 0,01$ с – 650 В, 0,1 с- 500 В, 0,2 с – 250 В, 0,3 с- 165 В, 0,4 с- 125 В, 0,5 с- 100 В, 0,6 с- 85 В, 0,7 с- 70 В, 0,8 с- 65 В, 0,9 с – 55 В, 1 с- 50 В, более 1 с- 36 В. Для бытовых электроустановок $U_{пр.ном} = 0,01$ с-220 В, 0,1 с-

200 В, 0,2 с- 100 В, 0,3 с- 70 В, 0,4 с- 55 В, 0,5 с- 50 В, 0,6 с-40 В, 0,7 с- 35 В, 0,8 с- 30 В, 0,9 с- 27 В, 1 с- 25 В, более 1 с- 12 В.

23. Проверка электробезопасности по напряжению прикосновения $U_{пр} < U_{пр.норм}$, если это условие не соблюдается, то выбирается меньшее значение сопротивления $R_{пз}$ и расчет повторяется от пункта 21 до пункта 23.

24. Анализ схемы зануления при обрыве зануляющего проводника. Примем сопротивления естественной связи с землей для корпуса электроустановки $R_e = 1000 \text{ Ом}$. КЗ на корпус.

25. Ток КЗ при этих условиях $I_{кз1} = U_{ф} / (R_{тр} / 3 + R_{ф} + R_e + R_o (R_n + R_{пз}) / (R_o + R_n + R_{пз}))$, А. Если $I_{кз1} < I_{ном.пл}$ для плавких вставок и $I_{кз1} < 10 \cdot I_{ав.расц.}$ для автоматических выключателей, то отключающая способность не существует. Если $I_{кз1} > I_{ном.пл}$ для плавких вставок и $I_{кз1} > 10 \cdot I_{ав.расц.}$ для автоматических выключателей, то вероятность срабатывания отключающей способности равна $100 \cdot I_{кз1} / 3 \cdot I_{ном.пл} \%$, для плавких вставок и $100 \cdot I_{кз1} / 12.5 \cdot I_{ав.расц.} \%$ - для автоматических выключателей.

26. Анализ схемы зануления при обрыве нулевого защитного провода. Ток КЗ в этих условиях $I_{кз2} = U_{ф} / (R_{тр} / 3 + R_{ф} + R_{пз} + R_o)$, А. Если $I_{кз2} < I_{ном.пл}$ для плавких вставок и $I_{кз2} < 10 \cdot I_{ав.расц.}$ для автоматических выключателей, то отключающая способность не сработает. Если $I_{кз2} > I_{ном.пл}$ для плавких вставок и $I_{кз2} > 10 \cdot I_{ав.расц.}$ для автоматических выключателей, то вероятность срабатывания отключающей способности равна $100 \cdot I_{кз2} / 3 \cdot I_{ном.пл} \%$ для плавких вставок и $100 \cdot I_{кз2} / 12.5 \cdot I_{ав.расц.}$ для автоматических выключателей.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 18 «ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА»

Цель работы

Целью работы является экспериментальное определение значений электрофизических параметров для исследователя на безопасных напряжениях переменного тока и расчетное определение параметров опасности электрического тока на опасных напряжениях, могущих вызвать поражение человека. Студент, выполняющий эту работу на экспериментальном стенде, должен определить для своего тела:

1) экспериментально - электрическое сопротивление методом амперметра-вольтметра в зависимости от приложенного напряжения при малых значениях тока промышленной частоты (50 Гц),

2) экспериментально - электрическое сопротивление методом амперметра-вольтметра на частотах 0,1, 1, 10 кГц также при малых значениях тока,

3) расчетом - зависимость электрического сопротивления тела и величины протекающего через него тока промышленной частоты при напряжениях до 380 В,

4) расчетом - зависимость электрического сопротивления тела и величины тока, протекающего через него, на частотах 0,1, 1, 10 кГц,

По итогам работы проанализировать полученные результаты и сделать выводы о значениях напряжений прикосновения, при которых могут быть поражения электрическим током с получением электротравм различных степеней.

Краткие теоретические сведения

Из всех видов опасностей и вредностей (опасных и вредных факторов) электрический ток является наиболее опасным потому, что при поражениях дает наибольшее количество случаев летального (смертельного) исхода [1].

Из анализа несчастных случаев на производстве со смертельным исходом следует, что 20-40 % (а в энергетике до 60 %) происходит в результате поражения электрическим током. При этом 80 % смертельных поражений электротоком происходит в электроустановках напряжением до 1000 В (т.е. в широко распространенных трехфазных и однофазных электросетях и электрооборудовании с напряжениями 220/127, 380/220 и 660/380 В).

Действие электрического тока на живой организм человека при поражениях приводит к профзаболеваниям и электрическим травмам. Первые проявляются в виде электроожогов, электроразрядов, электрометаллизации и электроофтальмии. В литературе выпущенной до 1990 г. они назывались «локальные электротравмы».

Электроожоги являются результатом теплового действия тока, электрической дуги или искр, а также воздействия расплавленного или раскаленного металла на поверхность кожи. Электрические знаки возникают при контакте участка тела с токоведущими частями и представляют собой огрубления кожи желтоватого цвета с белой каймой и припухлостью. Электрометаллизация – это пропитывание кожи жидкими частицами или парами металла при его разбрызгивании и испарении в электрической дуге. Электроофтальмия – это поражение глаз ультрафиолетовым излучением от электрической дуги.

Общее, или рефлекторное, поражение организма человека электрическим током называется электротравмой (в литературе до 1990 г. применялся термин - электроудар) и представляет наибольшую опасность. Электротравма выражается в функциональных нарушениях работы центральной и периферической нервной и сердечно-сосудистой систем человека и может привести к остановке дыхания, к фибрилляции и даже параличу сердца. Различают 5 степеней электротравм: 1-я – ощущение проходящего тока без боли, 2-я – ощущение проходящего тока с болью, 3-я – потеря сознания от боли с сохранением дыхания и работы сердца, 4-я – потеря сознания и нарушение дыхания и сердечной деятельности, 5-я – фибрилляция (клиническая смерть).

Характер и последствия поражения электрическим током зависят от следующих факторов: а) величины, частоты и пути прохождения тока; б) продолжительности его воздействия; в) электрического сопротивления тела; г) степени неожиданности включения тока; д) температуры и влажности внешней

среды и кожи; е) особенностей кардиоцикла, заболеваний сердечно-сосудистой и нервной систем; ж) индивидуальных особенностей человека.

Поражение человека электрическим током является следствием его прикосновения к двум точкам внешней электрической цепи, между которыми действует напряжение, называемое «напряжением прикосновения». После прикосновения человек образует дополнительную электрическую цепь, участками которой являются: тело человека, его обувь или одежда, электрозащитные элементы оборудования или инструмента, оказавшиеся в одной цепи с телом. Каждый из них влияет на величину суммарного полного сопротивления цепи. Последнее определяет величину тока, протекающего через нее (и тело) при приложенном напряжении прикосновения. Большое электросопротивление обуви, одежды, элементов оборудования или инструмента способствует значительному снижению тока, проходящего через человека.

Электрическое сопротивление тела равно сумме сопротивлений кожи в точках приложения напряжения и сопротивления внутренней живой ткани. Кожа состоит из наружного слоя (эпидермиса) толщиной 0,05-0,5 мм и внутреннего (дермы). Эпидермис – это ороговевшие клетки. В сухом незагрязненном состоянии он является хорошим диэлектриком и имеет сопротивление от 0,1 до 1 Мом. Сопротивление дермы на 2-3 порядка меньше.

Сопротивление кожи неодинаково у разных людей, имеет значительную емкостную составляющую и различно в разных частях тела. Наименьшим сопротивлением обладает кожа лица (особенно лба), шеи, рук, тыльной стороны кистей, подмышечных впадин. При напряжениях свыше 15-20 В в коже происходит внутримолекулярный пробой, что резко снижает ее полное сопротивление. Вследствие потоотделения, высокой влажности или электропроводных загрязнений сопротивление кожи снижается.

Живая ткань, как участок электрической цепи, содержит пассивные (сопротивление и емкость) и активные (генераторы биопотенциалов) элементы. На процесс протекания тока оказывают влияние электропроводность, диэлектрическая проницаемость, поляризация, а также величины биопотенциалов клеток ткани. Реакция организма на проходящий ток зависит от его величины. Проходящий ток подавляет (при электротравмах) или усиливает (при электролечении) электрическую активность живой ткани. Ток распространяется в живой ткани по траекториям с наибольшей проводимостью. Такими являются каналы нервных стволов, кровеносная система и мышцы. Электрическое сопротивление нервов и крови соответственно на четыре и два порядка меньше, чем у мышечной ткани. При протекании тока во время электротравм происходит дегенеративная деформация нервных тканей, особенно расположенных в стенках кровеносных сосудов, что может привести к фибрилляции и параличу сердца. При этом эритроциты в крови, которые осуществляют перенос (с помощью гемоглобина) кислорода из легких, а углекислоты – в легкие, изменяют свою электрическую активность и деятельность по газообмену, косвенно способствуя остановке дыхания. Уменьшение кровоснабжения и содержания кислорода в

крови более всего отражается на подаче свежей крови к клеткам головного мозга, которые без свежей крови сохраняют жизнеспособность в течение 2-7 минут, затем гибнут и способствуют переходу организма в состояние «клинической смерти».

Род и величина тока являются главными факторами при поражении. Постоянный и высокочастотный токи менее опасны. Переменный ток промышленной частоты (50 Гц) наиболее опасен. Его примерные величины при протекании через тело человека могут вызвать следующие степени электротравм: 0,3-3 мА – 1-ю, 3-15 мА – 2-ю, 15-35 мА – 3-ю, 35-50 мА – 4-ю, более 50-100 мА – 5-ю.

Электропроводность живой ткани определяется процессами биоэнергетики в молекулах и клетках. При действии тока молекулы возбуждаются и активно образуют ионы. Эти процессы могут также затормаживаться или инициироваться нервной системой при ее возбуждении. За счет действия ионов электрической сопротивление живой ткани является активным и составляет от 500 до 2000 Ом.

Электрическое сопротивление тела человека нелинейно зависит от напряжения. Для переменного тока частотой 50 Гц и напряжений от 0,3 В и выше на наиболее безопасной траектории тока «ладонь – запястье левой руки» величина сопротивления может быть описана следующим уравнением:

$$(1) \quad Z=300 + 1000 \cdot (A/U_{\text{ПР}}) - 0,025 \cdot U_{\text{ПР}},$$

где Z , $U_{\text{ПР}}$ - соответственно, полное сопротивление (Ом) и напряжение прикосновения (В); A - электрофизический параметр, численно различный для разных людей, определяемый экспериментально. Он может изменяться в зависимости от физиологического и психического состояний человека.

Зависимость, описываемая уравнением (1), представляет неравнобочную гиперболу. При напряжениях менее 42 В («малое напряжение») сопротивление Z может достигать от нескольких десятков до сотен килоОм. С увеличением напряжения $U_{\text{ПР}}$ сопротивление Z падает.

Для более опасных траекторий тока («рука-рука» и «нога-нога») величина сопротивления при напряжениях от 5 В и выше описывается уравнением (П.А.Долина [1])

$$(2) \quad Z=300 + 1000 \cdot (A_D / (U_{\text{ПР}}+10)),$$

где A_D – электрофизический параметр Долина, имеющий наиболее вероятное значение 77000.

По этим формулам сопротивление Z при напряжениях менее «малого» может достигать 1,6-6,0 кОм., затем оно снижается и составляет примерно 950 Ом при 110 В, 600 Ом при 220 В, 500 Ом при 380 В, 400 Ом при 1000 В. При больших

напряжениях оно приближается к наименьшему пределу 300 Ом – это сопротивление подкожных тканей тела.

По рекомендациям МЭК (международной электротехнической комиссии) сопротивление Z на частоте 50 Гц в траектории тока “рука-ноги” принимается равным:

$U_{\text{пр}}, \text{В}$	25	50	250	Выше 250
$Z, \text{Ом}$	2500	2000	1000	650

В нашей стране для переменного тока частотой 50 Гц приняты в качестве расчетных $Z=1000 \text{ Ом}$ при $U_{\text{пр}}=50 \text{ В}$ и выше и $Z=6000 \text{ Ом}$ при $U_{\text{пр}}=36 \text{ В}$.

По характеру воздействия на человека токов различной величины различают токи - осязательный, неотпускающий и фибрилляционный. Наименьшие их значения называют пороговыми. Наиболее вероятные значения этих токов установлены для путей прохождения - рука-рука или рука-ноги. Пороговый осязательный ток величиной 0,6-1,6 мА – для переменного частотой 50 Гц и 5-7 мА – для постоянного вызывает ощущение слабого зуда, легкого покалывания или нагрева. Ток величиной 3-5 мА (50 Гц) и 8-10 мА (постоянный) ощущается всей кистью руки. Увеличение тока вызывает резкие боли и непроизвольные сокращения мышц. Пороговый неотпускающий ток обуславливает непреодолимые судорожные сокращения мышц рук. Наиболее вероятные средние его значения составляют: для мужчин – 16 мА (50 Гц) и 80 мА (постоянный), для женщин - соответственно 11 и 50 мА, для детей – 8 и 40 мА. Ток 25-50 мА (50 Гц) воздействует на мышцы туловища и грудной клетки, затрудняя дыхание и вызывая сужение кровеносных сосудов. При длительном воздействии такого тока может наступить смерть от удушья или остановки сердца.

Пороговый фибрилляционный ток (более 50 мА при 50 Гц) при времени действия 1-3 с вызывает фибрилляцию (дословно - трепыхание) главной мышцы сердца (миокарда) и даже остановку сердца. Величина этого тока увеличивается с ростом массы тела человека и падает с увеличением времени воздействия.

Безопасный ток определен в ГОСТ ССБТ 12.1.038-82 [2] при продолжительности его воздействия не более 10 минут в сутки при нормальном режиме работы электроустановок (с сохранением работоспособности электрической изоляции). Предельно допустимые уровни напряжения и тока составляют соответственно: 2 В и 0,3 мА (50 Гц) и 8 В и 1 мА (постоянный ток), что соответствует сопротивлениям тела 6666 и 8000 Ом.

Опасность электротравмы для человека зависит также и от других факторов [3]. В том числе от траектории тока в теле. Наиболее опасны такие, при которых величина тока, проходящего через сердце, легкие и мозг, является максимальной. При этом доля тока, проходящего через область сердца, является главной – она может вызвать фибрилляцию. При доле тока, проходящего через область сердца, более 3 % от величины всего тока, проходящего через тело, в 80 % поражений возможны электротравмы 3, 4 и 5 степени. Это траектории «рука-рука», «рука-ноги» (17-45 %) и «голова-рука» или «голова-ноги» (5 %). Последние наиболее опасные.

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка (рис. 1) содержит низкочастотный генератор переменного тока 1, на котором устанавливается требуемое напряжение эксперимента (от 0,1 до 3 В) с возможной установкой частоты от 20 Гц до 200 кГц. При этом частоты 20-200 Гц устанавливаются на оцифрованном лимбе генератора, а повышенные частоты устанавливаются с помощью переключателя $\times 1$, $\times 10$, $\times 100$ и $\times 1000$. Напряжение на выходе генератора 1 устанавливается переключателем и плавным регулятором в каждом диапазоне. Переменным напряжением питается измерительный контур 2. Напряжение от генератора 1 подается на первую обмотку измерительного трансформатора 3. Вольтметр переменного тока 4, имеющий шкалу 3000 мВ, подключен ко второй идентичной обмотке разделительного трансформатора 3. На измерительный контур 2 напряжение подается от отдельной обмотки трансформатора 3, имеющей коэффициент трансформации по отношению к первой и второй обмоткам равный 3,3.

Для определения величины протекающего тока в измерительном контуре 2 последовательно с обмоткой «В» и металлическими электродами 7 и 8, к которым подключается тело человека путем прикосновения, установлена безреактивная катушка образцового сопротивления 5, номинальной величиной 10 кОм (10000 Ом). Падение напряжения на этом сопротивлении измеряется вольтметром переменного тока 6, имеющим шкалы 10, 30, 100, 300, 1000 и 3000 мВ с переключателем.

Для измерений сопротивления тела испытуемый человек кладет обнаженную левую руку на металлический электрод 7 и ладонью сжимает электрод. 8. Ток, протекающий через руку, определяется по формуле (3) закона Ома:

$$I = \nabla U_6 / 10000, \text{ мА} \quad (3)$$

где ∇U_6 - напряжение, отсчитанное с вольтметра 6, мВ.

Напряжение прикосновения, приложенное к телу, рассчитывается по формуле:

$$U_{\text{ПР}} = (3,3 \cdot U_4 - \nabla U_6) / 1000, \text{ В} \quad (4)$$

где U_4 - напряжение, отсчитанное с вольтметра 4, мВ.

Сопротивление тела рассчитывается в соответствии с законом Ома по формуле:

$$Z = U_{\text{ПР}} / I, \text{ кОм} \quad (5)$$

По значениям величин $U_{\text{ПР}}$ и Z определяется электрофизический параметр A для уравнения (1) по формуле:

$$A = U_{\text{ПР}} (Z - 300 + 0,025 \cdot U_{\text{ПР}}) / 1000, \text{ Ом.В} \quad (6)$$

В формуле (6) сопротивление Z следует подставлять в Ом. Для расчетов с малой точностью вторым и третьим слагаемыми в скобках формулы (6) можно пренебречь и она преобразуется в формулу (7), где величина Z подставляется в кОм

$$A = U_{\text{ПР}} \cdot Z, \text{ Ом.В} \quad (7)$$

При выполнении измерений по схеме «рука-рука» определяется электрофизический параметр A_D из уравнения (2) по формуле с подстановкой Z в Омах

$$A_D = ((U_{\text{ПР}} + 10) \cdot (Z - 300)) / 1000, \text{ Ом.В} \quad (8)$$

Измерительный контур 3 гальванически изолирован от зануленных приборов. Выход генератора 1 и входы вольтметров 4 и 6 являются трансформаторными и имеют двойную изоляцию от питающих цепей напряжением 220 В.

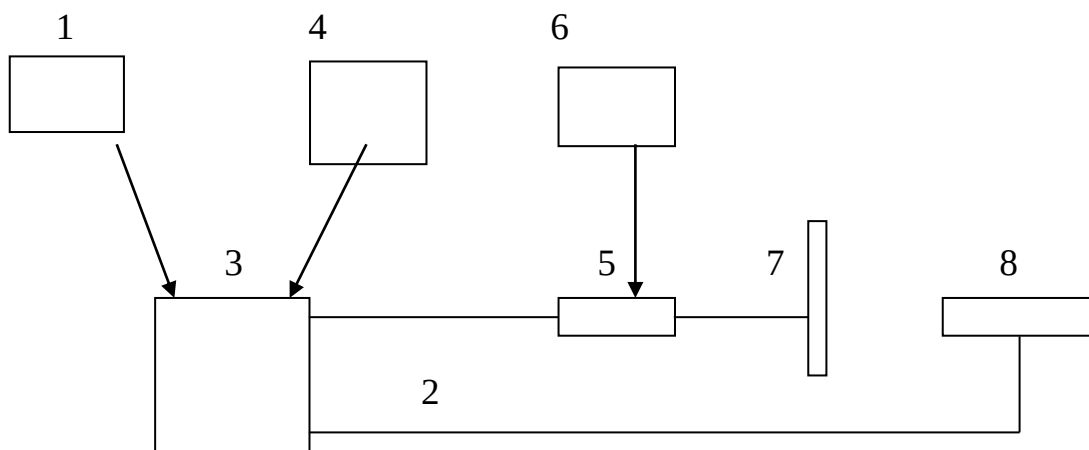


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 – звуковой генератор типа ГЗ-102;
- 2 – измерительный контур для исследования сопротивления тела;
- 3 – разделительный трансформатор с двумя идентичными обмотками и одной обмоткой с коэффициентом трансформации 3,3;
- 4, 6 – вольтметры переменного тока типа ВЗ-7 с симметричным трансформаторным входом;
- 5 – безреактивная катушка образцового сопротивления 10 кОм;
- 7 - электрод-рукоятка для прижатия рукой исследователя;

8 – электрод-подставка для размещения руки исследователя;

Требования безопасности при проведении эксперимента

Перед включением экспериментальной установки в электросеть должно быть проверено отсутствие электрической связи измерительного контура с корпусами приборов.

Проведение эксперимента

Экспериментальную установку подготавливает к работе преподаватель, ведущий занятия. Для этого проверяются нулевые показания стрелочных измерительных приборов, затем включаются генератор 1 и вольтметры 4 и 6 для прогрева и проверяется работоспособность экспериментальной установки.

Каждый студент после допуска преподавателя самостоятельно измеряет на экспериментальной установке сопротивление своего тела. Для этого вначале на генераторе устанавливаются частота 50 Гц и выходное напряжение 3 В по переключателю. Запястье левой руки обнажают от одежды и укладывают на электрод 7. Сухой кистью левой руки сжимают электрод 8. Следует учитывать, что от силы сжатия зависит величина измеряемого сопротивления.

Эксперимент можно проводить также измерением тока по схеме «рука-рука». Для этого электроды 7 и 8 сжимают в ладонях левой и правой рук. При измерениях таким методом величину сопротивления тела Z рассчитывают дополнительно по формуле (2) и на частоте 50 Гц сравнивают значения, полученные по формулам (1) и (2). Такую схему измерений задает преподаватель и она рекомен-

дуется для студентов электроэнергетических специальностей Энергетического факультета. Схемы измерений указываются в протоколе наблюдений.

На частоте 50 Гц проводят измерения только левой рукой при напряжениях на вольтметре 4 примерно 250, 500 и 1000 мВ. Затем по заданию преподавателя проводятся измерения по схеме «рука-рука» при таких же напряжениях. В протокол наблюдений (таблица 1) вносятся величины U_4 и ∇U_6 в мВ.

Затем проводят по одному аналогичному измерению на частотах 100 Гц, 1 и 10 кГц при одинаковом напряжении на вольтметре 4 равном 500 мВ. Частоту и напряжение устанавливают на генераторе 1. Результаты измерений (U_4 и ∇U_6 в мВ) заносят в протокол наблюдений (табл. 1). Студент заготавливает протокол наблюдений до проведения эксперимента. Допуск к работе оформляется преподавателем росписью на протоколе наблюдений.

Таблица 1

Протокол наблюдений

Частота, Гц	Напряжение			Ток, мА	Сопротивление, кОм	A, Ом, В
	U_4 , мВ	ΔU_6 , мВ	U_{np} , В			
50						
50						
50						

100						
1000						
10000						

Обработка результатов

В таблице 1 по экспериментальным данным для каждого измерения рассчитываются значения токов, проходящих через тело человека по формуле (3), напряжений прикосновения по формуле (4), сопротивления тела по формуле (5) и электрофизического параметра A по формулам (6) или (7). Если выполнялись измерения по схеме «рука-рука» то рассчитывается параметр A_D по формуле (8) и проставляется в графу для A . Для измерений на частотах 100, 1000 и 10000 Гц величину A рассчитывать не следует, поскольку формулы (1) и (2) справедливы только для частоты 50 Гц.

Для измерений на частоте 50 Гц определяются среднеарифметические значения электрофизического параметра A (и A_D для измерений по схеме «рука-рука») и подставляются в формулы (1) и (2). Эти формулы в конкретном виде выписываются для указания в отчете и применении в дальнейшей обработке. Для этого рассчитываются значения сопротивления тела человека и тока, проходящего через него при напряжениях прикосновения 12, 36, 42, 127, 220 и 380 В. Сопротивления рассчитывают по формуле (1) (и (2)). Токи рассчитывают по формуле закона Ома. Результаты расчета сводят в табл. 2, где для частоты 50 Гц проставляется одна строка, а при дополнительных измерениях по схеме «рука-рука» – 2.

Таблица 2

Частота Гц	Напряжения прикосновения, В											
	12		36		42		127		220		380	
	Z, кОм	i, мА	Z, кОм	i, мА	Z, кОм	i, мА	Z, кОм	i, мА	Z, кОм	i, мА	Z, кОм	i, мА

По 6-ти точкам из рассчитанной таблицы 2 строятся графики зависимостей сопротивления тела человека Z и тока через него i в зависимости от напряжения. По этим графикам могут быть конкретно определены величины тока через тело исследуемого человека при любых напряжениях в пределах от 12 и до 380 В на промышленной частоте 50 Гц.

Для оценки влияния частоты переменного тока по 4-м точкам из таблицы 1 строятся графики зависимостей сопротивления тела человека Z и тока через него i в зависимости от частоты (или десятичного логарифма частоты). Для этого используются результаты измерений на частотах 50, 100, 1000 и 10000 Гц.

Оформление отчета

Отчет о выполненной работе должен содержать: 1) принципиальную схему экспериментальной установки и краткое описание ее работы; 2) порядок выполнения измерений и протокол наблюдений (табл. 1); 3) результаты обработки экспериментальных данных на частоте 50 Гц (табл. 2); 4) формулы (1) и (2) в конкретном виде и графики зависимостей на частоте 50 Гц $Z = f(U_{np})$, $i = f(U_{np})$; 5) графики зависимостей $Z = \varphi(\lg f)$, $i = \varphi(\lg f)$; 6) выводы по лабораторной работе.

На графиках зависимостей сопротивлений тела и тока на частоте 50 Гц необходимо отметить значения напряжений, соответствующие пороговым значениям ощутимого, неотпускающего и фибрилляционного токов.

Контрольные вопросы

1. Какова наиболее вероятная причина поражения электрическим током со смертельным исходом в электроустановках на производстве?
2. Какие профзаболевания может вызвать электрический ток?
3. Что называют электротравмами и как они классифицируются?
4. При каких значениях переменного тока частотой 50 Гц могут произойти электротравмы различных степеней?
5. Что называют напряжением прикосновения и как его нормируют в нормальном режиме работы электроустановок?
6. Как зависит электрическое сопротивление тела человека от напряжения прикосновения на переменном токе и от его частоты?
7. Как зависит ток, проходящий через тело человека, от напряжения прикосновения и частоты?
8. Как можно оценить возможную степень электротравмы по зависимости сопротивления и тока от напряжения прикосновения?
9. Что называется фибрилляцией сердца и в чем ее опасность?
10. Почему при поражении электрическим током нарушается дыхание?

Библиографический список

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. ГОСТ ССБТ 12.1.038-82. Критерии безопасности электрического тока. М., Стандартгиз, 1986.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 6-е изд. М., Энергоатомиздат, 2002.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 22 «ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с нормированием сопротивления электрической изоляции

электроустановок напряжением до и свыше 1 кВ, нормально находящихся под напряжением;

ознакомиться с методами контроля сопротивления электрической изоляции в электроустановках напряжением до 1 кВ;

ознакомиться со схемой мегаомметра, измерить сопротивление электрической изоляции электропроводов и кабелей, установленных на стенде и сделать заключение об их пригодности к эксплуатации.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Основным требованием электробезопасности является наличие электрической изоляции всех частей электроустановок, нормально находящихся под напряжением и доступных для прикосновения человека. Для предотвращения электротравм необходимо, чтобы разность потенциалов в точках контакта тела человека с поверхностью электрической изоляции вызывала ток через тело человека менее, чем пороговый неощутимый ток. Величина последнего составляет для переменного тока промышленной частоты 0,3 мА, для постоянного тока 1 мА. При малых напряжениях \менее 42 В\ сопротивление тела человека оценивается величиной 6 кОм. Исходя из этого напряжение прикосновения нормируют \1\ величиной 2 В для переменного тока и 8 В для постоянного. Напряжением прикосновения называют разность потенциалов в двух точках цепи тока, к которым одновременно прикасается человек.

Такое напряжение прикосновения может быть обеспечено, если падение напряжения на сопротивлении изоляции, включенном по току последовательно с телом человека, будет равно разности рабочего напряжения электроустановки и нормированного напряжения прикосновения. Это возможно при величине сопротивления изоляции не менее 360 кОм. Поэтому сопротивление изоляции нормируют \2\ величиной 0,5 мОм.

Поскольку сопротивление изоляции уменьшает напряжение прикосновения и ограничивает ток через тело человека, то оно является важным косвенным параметром состояния электроустановок по безопасности. В правилах устройства электроустановок \2\ вводится запрет использования тех электроустановок, где измеренное сопротивление изоляции менее нормы \0,5 мОм\ . Такие электроустановки должны быть недееспособными. Согласно \2\ действующей электроустановкой называют такую, которая находится под напряжением или напряжение может быть подано в любой момент без предупреждения.

В электроустановках напряжением до 1 кВ сопротивление изоляции измеряют мегаомметрами. Поскольку сопротивление изоляции зависит от напряжения и уменьшается с его ростом \3\, то для обеспечения безопасности сопротивление изоляции необходимо измерять при напряжении не ниже, чем двукратное рабочее. В электроустановках напряжением выше 1 кВ электрическую изоляцию испытывают на возможность пробоя повышенным напряжением. Сопротивление изоляции при этом оценивают по току утечки, измеренному при испытаниях.

В электроустановках напряжением ниже 1 кВ сопротивление изоляции необходимо измерять после монтажа, ремонта, длительного простоя и периодически в зависимости от условий эксплуатации, но не реже 1-2 раза в год. Изменение сопротивления изоляции характеризует условия эксплуатации электроустановки и дает основания для планового ремонта или замены.

При эксплуатации электроустановок и электрооборудования состояние электрической изоляции ухудшается. Изменяется структура диэлектриков, ухудшаются механические характеристики \прочность, пластичность, хрупкость, расслоение\, возрастает удельная объемная и поверхностная проводимость и тангенс диэлектрических потерь. Эти изменения оцениваются понятием «старение» электрической изоляции \3\.

Основные причины последнего следующие:

а) повышенная температура изоляции от нагревания проходящим током и токами коротких замыканий;

б) механические повреждения при некачественном монтаже или ремонте, наличие деформации при силовых воздействиях металлических токоведущих частей, наличие вибрации;

в) нагрев изоляции от посторонних источников тепла или от солнечного излучения;

г) наличие агрессивных паров или газов, воздействующих химически на диэлектрики;

д) повышенная влажность воздуха \относительная влажность более 70 %\ или особая сырость \снег, дождь, опрыскивание водой, водяные пленки и капли на изоляции\, приводящие к деструкции диэлектриков;

е) чрезмерная сухость воздуха \относительная влажность менее 30 %\, вызывающая расслаивание диэлектриков.

Уменьшение сопротивления электрической изоляции с течением времени в электроустановках увеличивает вероятность пожаров за счет возможного воспламенения диэлектриков при нагреве, вызванном повышенными токами утечки. Последние также приводят к повышенным потерям электроэнергии в электросетях и системах.

При снижении сопротивления изоляции возрастает вероятность электрического пробоя и последующих коротких замыканий. Это приводит к возрастанию опасности поражения электрическим током и к перерывам в электроснабжении.

Мегаомметры, применяемые для измерения сопротивления изоляции выпускаются на номинальные напряжения 100, 250, 500, 1000 и 2500 В. Рабочее напряжение мегаомметра указывается на шкале прибора. Выбор напряжения мегаомметра обусловлен требованием измерения сопротивления при напряжении не ниже, чем двукратное рабочее напряжение электроустановки. Выбирать напряжение мегаомметра больше названного не рекомендуется из-за возможности пробоя изоляции. Пределы измерения мегаомметров с вышеназванными рабочими напряжениями соответственно равны 100, 250, 500, 1000 и 2500 МОм.

Мегаомметр состоит из генератора постоянного тока с редуктором и ручкой ручного привода, измерительного стрелочного прибора, включенного последовательно с генератором, конденсаторного фильтра для сглаживания пульсаций тока и добавочных резисторов. К выходным клеммам, обозначенным надписями «земля» и «линия», испытываемая часть электроустановки, подключается двумя измерительными проводами. Если сопротивление изоляции измеряется между токоведущей частью и землей, то клемма «земля» обязательно присоединяется к заземленным металлическим поверхностям. Если сопротивление изоляции измеряется между токоведущими частями электроустановки, то подключение измерительного провода клеммы «земля» к этим частям не играет роли. Мегаомметр имеет переключатель пределов измерения, соответствующий двум шкалам: высокому значению сопротивления изоляции в мегаоммах и низкому значению, измеряемому в килоомах. Эти шкалы и соответствующие им положения переключателя обозначены символами «МОм» и «кОм». Шкала высокого сопротивления имеет нулевую отметку справа, что соответствует максимальному току через измерительную рамку стрелочного прибора и максимальному отклонению стрелки вправо. При малом токе, протекающем через высокое сопротивление изоляции, отклонение стрелки измерительного прибора мало и соответствует большому значению сопротивления изоляции в МОм. При нулевом значении измерительного тока и крайнем левом положении стрелки прибора точка шкалы обозначается символом ∞ .

При измерениях ручку привода генератора на мегаомметре освобождают от фиксации. После подключения измерительных проводов ее вращают равномерно со скоростью около 120 об/мин (2 об/с) в течение 1 минуты. Если в течение этого времени показания стрелочного прибора стабильные, то проводят отсчет значения сопротивления. Если в течение первой минуты вращения рукоятки мегаомметра стрелка измерительного прибора резко отбрасывается к нулю шкалы, то это соответствует локальному пробоя изоляции при подаче двукратного измерительного напряжения. Часто такие ситуации встречаются при повышенной влажности воздуха (относительная влажность более 70 %), когда возможна локальная конденсация водяного пара из воздуха и образование водяных пленок на поверхности изоляции. Резкие броски стрелки мегаомметра соответствуют локальным пробоям по поверхности этих пленок. Такие электроустановки требуют очистки и высушивания. Аналогичная ситуация возникает при наличии в воздухе электропроводящей пыли (металлической, угольной), которая может оседать на поверхности изоляции и создавать электропроводящие слои.

Если при измерениях сопротивления изоляции показания мегаомметра стабильные и равны не менее 0,5 МОм, то изоляция считается выдержавшей испытания и удовлетворительной. Однако окончательным критерием для суждения о состоянии изоляции служит сравнение величины измеренного сопротивления с первоначальным значением, полученным перед вводом электроустановки в эксплуатацию. Сопротивление считается недостаточным, если

меньше первоначальной величины на 30 % и более. Такая электроустановка подлежит ремонту. Если уменьшение сопротивления изоляции в течение времени менее 30 %, то состояние изоляции считается хорошим. Понятие «отличная изоляция» применяется тогда, когда разновременные измеренные значения сопротивления отличаются между собой в пределах погрешности мегаомметра, но не более + 5 %.

При измерениях сопротивления изоляции мегаомметром должны быть соблюдены условия безопасности людей и надежности получаемых данных. Условия безопасности заключаются в выходе людей из всех зон и помещений, где находятся части испытуемой электроустановки, ограждении зоны измерений и вывешивании предупредительных и запрещающих плакатов. Такие мероприятия устраняют возможность случайного прикосновения людей к электроустановке, которая при испытаниях подвергается воздействию двукратного рабочего напряжения. При испытаниях малогабаритных электроустановок и при отсутствии в зоне измерений несовершеннолетних лиц (с возрастом менее 18 лет) достаточными мерами безопасности является проведение текущего инструктажа с предупреждением присутствующих лиц об опасности.

Для получения надежных результатов измерений электроустановка должна быть подготовлена к проведению испытаний. С этой целью отключаются все токоприемники и электронные устройства, подключенные к данному электрическому присоединению. Последние могут быть пробиты повышенным испытательным напряжением. В осветительных сетях вывинчиваются все лампы. Обязательно отключаются высокоомные токопотребители, которые могут исказить результаты измерений. Перед проведением измерений с данного электрического присоединения снимается питающее напряжение со всех сторон. Особенно следует проверить отключение трансформаторов, через которые с низкой стороны могут подаваться напряжения на испытуемое электрическое присоединение.

При наличии напряжения на испытуемом электрическом присоединении мегаомметр дает сильно искаженные показания. За счет внешнего напряжения в цепи генератора и измерительного прибора мегаомметра возникает ток, отклоняющий стрелку прибора вправо, т.е. к нулю на шкале высокого сопротивления в МОм. Поэтому при отсутствии вращения рукоятки мегаомметра стрелка показывает «нуль», а при вращении рукоятки – сильно уменьшенные значения сопротивления.

Сопротивление изоляции в различных видах электроустановок нормируется согласно \2, 4, 5, 6\.. Согласно Правилам устройства электроустановок \2\ сопротивление изоляции электрических сетей напряжением до 1 кВ на участках между двумя смежными предохранителями или за последними предохранителями, измеренное между любым проводом и заземленными металлическими частями, а также между двумя любыми проводами, должно быть не менее 0,5 МОм. Для электрооборудования повышенной и особой опасности сопротивление изоляции должно быть выше и составлять не менее:

- для цепей релейной защиты постоянного тока и любых измерительных устройств на постоянном токе – 10 МОм;
- для цепей релейной защиты переменного тока и измерительных устройств на переменном токе – 6 МОм;
- для цепей управления электроприводом – 1 МОм;
- для вторичных обмоток измерительных трансформаторов – 2 МОм.

Для бытовой радиоэлектронной аппаратуры согласно \4\ в основном должно применяться безопасное напряжение (менее 42 В на переменном и 110 В на постоянном токе). Для такой аппаратуры сопротивление изоляции при относительной влажности воздуха до 95 % и температуры его до 30 °С должно быть не менее 2 МОм при напряжении 500 В постоянного тока. Следует выдерживать переменное напряжение не менее 500 В_{эфф} в течение 1 минуты. Для аппаратуры, использующей опасные напряжения (более 42 В переменного тока и 110 В постоянного), изоляция должна выдерживать в течение 1 минуты двойное рабочее напряжение плюс 1500 В_{эфф} (но не менее 2000 В_{эфф}) на переменном токе частотой 50 Гц.

Для электротехнических изделий и производственного оборудования на токоведущих частях должна применяться \5, 6\ рабочая, дополнительная, двойная и усиленная изоляция и безопасное напряжение. Сопротивление изоляции устанавливается величиной не менее 2 МОм.

По способу защиты людей от поражения электрическим током для электротехнических изделий установлено 5 классов защиты: 0; 01; 1; II и III. К классу 0 относятся изделия, имеющие по крайней мере рабочую изоляцию и не имеющие элементов для заземления, если эти изделия не отнесены к классам II и III.

К классу 01 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, элемент для заземления, заземляющую жилу в проводе для подключения к источнику питания 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 электрических цепей с напряжением более 42 В переменного тока или 110 В постоянного тока, имеющие рабочую изоляцию, а также не имеющие элементов для заземления. Если для питания в таких изделиях используется трансформатор или преобразователь, то его входные и выходные обмотки не должны иметь гальванической связи, а между ними должна быть двойная или усиленная изоляция.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключить мегаомметр к проводам, кабелям и электроприборам, установленным на стенде по схемам, приведенным там же.

2. Провести измерения сопротивления изоляции для указанных преподавателем проводов и кабелей.

3. Для электроприборов, установленных на стенде, провести измерения мегаомметрами на рабочие напряжения 500 и 1000 В.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты измерений свести в следующую форму:

№	Марка провода кабеля или электроприбора	Величина сопротивления изоляции, МОм	Нормированное сопротивление изоляции, МОм	Заключение о результатах измерений
1.				
2.				
3.				

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет о выполненной работе должен содержать:

- название и цель работы;
- краткие теоретические сведения о роли сопротивления изоляции;
- методику измерения сопротивления изоляции;
- форму результатов измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда: Электробезопасность: Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. М.: 1982.

2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Энергоиздат, 1986.

3. Справочник по электротехническим материалам. Т.1,2. Под ред. Ю.В.Корицкого и др. Изд. 2-е. М.: Энергия, 1974. 616 с.

4. ГОСТ 12.2.006-85. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Требования безопасности. Методы испытаний. М.: 1985.

5. ГОСТ 12.2.007.0-85. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. М.: 1985.

6. ГОСТ 12.2.003-84. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. М.: 1984.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Программа, задание на контрольную работу и методическое руководство к изучению курса «Безопасность жизнедеятельности»	3
2. Методические указания к решению задач по расчету защитного заземления для электроустановок напряжением 110 кВ и выше	28
3. Методические указания к решению задач по расчету защитного заземления для электроустановок напряжением 6, 10, 35 кВ	31
4. Методические указания к решению задач по расчету зануления для электроустановок напряжением до 1 кВ	33
5. Методические указания к лабораторной работе № 18 «Исследование опасности электрического тока»	36
6. Методические указания к лабораторной работе № 22 «Измерение сопротивления изоляции»	46