

*Утверждено учебным управлением МЭИ (ТУ)
в качестве учебного пособия для студентов*

Подготовлено на кафедре инженерной экологии и охраны труда

Рецензенты: канд. техн. наук, доцент Е.В. Долбилина, кафедра «Экология и безопасность жизнедеятельности» МТУСИ;
докт. биол. наук, профессор В.С. Малышев

Монахов А.Ф.

М77

Безопасность жизнедеятельности. Лабораторный практикум: учеб. пособие / А.Ф. Монахов, А.К. Макаров, И.В. Королев; под ред. В.Т. Медведева. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009. — 184 с.

ISBN 978-5-383-00344-2

Сборник содержит лабораторные работы по курсу «Безопасность жизнедеятельности». В описании к каждой работе указывается цель ее проведения, теоретическая часть, применяемое лабораторное оборудование и приборы, изложены методика проведения работы и требования к оформлению отчета, даны контрольные вопросы и типовые задачи для индивидуальной подготовки студентов к защите.

Каждая лабораторная работа рассчитана на один час домашней подготовки.

Для студентов, обучающихся по всем специальностям МЭИ.

147-40

 Учебное издание
**Монахов Александр Федорович, Макаров Анатолий Кузьмич,
Королев Илья Викторович**

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕНДЕЯТЕЛЬНОСТИ
Лабораторный практикум

для студентов, обучающихся по всем направлениям подготовки в МЭИ

Редактор издательства О.М. Горина

Темпилан издания МЭИ 2008, учебн.

Подписано в печать 03.03.09

Формат 60×84/16

Печать офсетная

Физ. печ. л. 11,5

Тираж 1000 экз.

Изд. № 154

Заказ № 99т

ЗАО «Издательский дом МЭИ», 111250, Москва, Красноказарменная ул., 14
Отпечатано в типографии ФКП «НИИ «Геодезия», 141392, Московская обл.,
г. Красноармейск, просп. Испытателей, д. 14

ISBN 978-5-383-00344-2

© Московский энергетический институт
технический университет, 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лабораторный практикум по курсу «Безопасность жизнедеятельности» традиционно включает лабораторные работы по двум разделам: «Электробезопасность» и «Производственная санитария». Большое внимание в практикуме уделяется вопросам защиты человека от поражения электрическим током с учетом характеристик электрической сети и систем заземления, а также оценке эффективности таких мер защиты, как защитное зануление, защитное заземление, устройства защитного отключения и др.

При изучении производственной санитарии рассматриваются такие направления нормализации характеристик рабочего места, как производственное освещение, гигиенические требования к микроклимату, защита от теплового и электромагнитного излучения, контроль запыленности. Обязательным для студентов является изучение приемов оказания первой помощи.

Поскольку для выполнения и защиты лабораторной работы дается всего два академических часа, то в описании предусмотрены относительно объемная теоретическая часть, описание приборов и методики измерений, а также контрольные вопросы и примеры, необходимые для домашней подготовки. Объем лабораторного практикума позволяет формировать лабораторные циклы с учетом направления обучения и специализации студентов, а также с учетом количества часов, предусмотренных учебным планом.

Лабораторный практикум, существующий в электронном виде, постоянно обновляется в соответствии с новыми нормативными документами: ГОСТами, СанПиНами, СНиПами, Правилами по охране труда и др. Идет также постоянная модернизация лабораторных стендов. Часть лабораторных работ переведена с аналоговой формы моделирования на цифровую, что позволило повысить надежность лабораторных стендов.

Первые лабораторные работы были созданы на кафедре охраны труда в 60—70-х годах прошлого века по читаемому в то время студентам всего института курсу «Охрана труда». В разработке основных теоретических направлений лабораторного практикума и соответственно первых лабораторных стендов участвовали профессора: А.А. Труханов, Б.А. Князевский, П.А. Долин, доценты: А.И. Кузнецов, Н.В. Ши-

пунов, Л.О. Петри, А.И. Ревякин, С.Н. Кузнецов, Т.П. Марусова, Л.В. Бокшицкий, ст. преподаватели: Р.Д. Байкова, Н.Н. Карташева, В.Г. Филиппова, Г.М. Шатрова, Л.А. Шольц и др.

В дальнейшем большой вклад в развитие лабораторной базы, модернизацию и создание новых лабораторных стендов внесли доценты: А.В. Иванов, А.В. Караплюнец, В.В. Кузнецов, А.К. Макаров, А.Ф. Монахов, С.Г. Новиков, В.В. Скибенко; ст. преподаватель В.В. Корочков, зав. лаб. А.П. Курилович.

Параллельно с модернизацией лабораторной базы постоянно ведется и методическая работа по совершенствованию описаний лабораторных работ, созданию электронных версий с учетом специфики факультетов, разработке лабораторных работ для дистанционного обучения. В этой повседневной работе принимают участие практически все преподаватели кафедры. Следует отметить плодотворную работу в этом направлении доцентов: Л.Н. Копыловой, Т.Н. Масловой, Г.И. Павловой, О.В. Чебышевой, ст. преподавателей О.Е. Кондратьевой, И.В. Королева, ассистентов Д.А. Бурдюкова, Ю.В. Гавриловой, А.В. Исаченко.

Большую помощь в разработке теоретических разделов лабораторных работ постоянно оказывают профессора В.Т. Медведев, Е.С. Колечицкий, В.С. Малышев.

Хочется выразить благодарность всем сотрудникам кафедры, участвующим в постоянном обновлении лабораторного практикума по курсу «Безопасность жизнедеятельности», а также доцентам А.Ф. Монахову, А.К. Макарову и ст. преподавателю И.В. Королеву, переработавших описание лабораторных работ в соответствии с действующими нормативно-техническими документами и спецификой модернизированных лабораторных стендов, а также подготовивших рукопись к печати.

Кафедра инженерной экологии и охраны труда готова учесть все замечания и пожелания преподавателей других кафедр МЭИ и, безусловно, студентов, изучающих этот курс, по совершенствованию данного практикума.

С предложениями можно обращаться на кафедру по телефону: 362-72-46.

Зав. кафедрой
инженерной экологии и охраны труда,
Заслуженный деятель науки РФ,
д.т.н., профессор

В.Т. Медведев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Цель работы

Используя физическую модель, определить зависимость сопротивления тела человека от характеристик электрической цепи (напряжение, род и частота тока), а также рассчитать параметры эквивалентной схемы.

Содержание работы

1. Определение значения пороговых ощутимых токов: переменного с частотой 50 Гц, постоянного и выпрямленных — однополупериодного и двухполупериодного.
2. Определение зависимости сопротивления тела человека от частоты приложенного напряжения.
3. Определение зависимости сопротивления тела человека от значения приложенного напряжения.
4. Определение значения параметров эквивалентной схемы, сопротивления тела человека по результатам экспериментов.

Действие электрического тока на организм человека

Степень отрицательного воздействия электрического тока на организм человека зависит от значения тока, протекающего через него, длительности его воздействия, пути прохождения в теле человека и некоторых других факторов.

Сопротивление тела человека и значение приложенного к нему напряжения также влияют на исход поражения, но лишь постольку, поскольку они определяют значения тока, проходящего через тело человека.

Человек начинает ощущать воздействие проходящего через него тока при значениях 0,6—1,5 мА при переменном токе с частотой 50 Гц и 5—7 мА при постоянном токе (табл. 1.1). Эти значения являются границами или порогами, с которых начинаются области ощутимых токов, и носят название *пороговых ощутимых токов*. Выпрямленные токи одно- и двухполупериодные по порогам ощутимого тока занимают промежуточное значение между переменным и постоянным токами.

Таблица 1.1

Реакция человека на протекание электрического тока

Ток, мА	Характер воздействия тока	
	переменный 50—60 Гц	постоянный
0,6—1,5	Начало ощущения, легкое дрожание пальцев рук	Не ощущается
2—3	Сильное дрожание пальцев рук	Не ощущается
5—7	Начало судорог в руках	Зуд, ощущение нагрева
8—10	Руки трудно, но еще можно оторвать от электродов. Сильные боли.	Усиление нагрева.
20—25	Паралич рук. Дыхание затруднено.	Еще большее усиление нагрева. Незначительное сокращение мышц рук.
50—80	Паралич дыхания. Начало трепетания желудочков сердца.	Сильное ощущение нагрева. Сокращение мышц рук. Судороги, затруднение дыхания.
90—100	Фибрилляция сердца. При длительности 3 с и более — паралич сердца.	Паралич дыхания.

Ток, вызывающий при прохождении через тело человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник, называется *неотпускающим током*, а наименьшее его значение *пороговым неотпускающим током*. Значения пороговых неотпускающих токов у различных людей различны. Они различны также у мужчин и женщин.

Средние их значения составляют: для мужчин 16 мА при 50 Гц и 80 мА при постоянном токе, для женщин соответственно — 11 и 50 мА.

Ток, вызывающий при прохождении через организм фибрилляцию сердца, называется *фибрилляционным током*, а наименьшее его значение *пороговым фибрилляционным током*. Фибрилляция сердца заключается в беспорядочном сокращении и расслаблении мышечных волокон сердца. Сердце затрачивает значительную энергию и не производит полезной работы, кровообращение прекращается. Пороговый фибрилляционный ток зависит от многих факторов, в том числе от массы тела человека и колеблется в пределах 50—400 мА (при 50 Гц). Среднее его значение принято считать равным 100 мА при 50 Гц и 300 мА при постоянном токе.

Поскольку человек при меньшей продолжительности воздействия может выдержать больший ток, то ГОСТом 12.1.038—82 (с изменениями от 01.07.88) установлены предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через человека в зависимости от времени воздействия. Значения пороговых токов явля-

ются исходными данными для разработки критериев электробезопасности, в первую очередь — допустимых значений напряжений прикосновения и токов, проходящих через тело человека. Значения напряжений прикосновения и токов частотой 50 Гц при аварийном режиме производственных электроустановок до 1000 В с любым режимом нейтрали и выше 1000 В с изолированной нейтралью приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов через человека в зависимости от продолжительности воздействия (ГОСТ 12.1.038—82)

Продолжительность воздействия тока, с	Нормируемая величина		Продолжительность воздействия тока, с	Нормируемая величина	
	напряжение прикосновения, В	ток, мА		напряжение прикосновения, В	ток, мА
0,01—0,08	550	650	0,6	95	105
0,1	340	400	0,7	85	90
0,2	160	190	0,8	75	75
0,3	135	160	0,9	70	65
0,4	120	140	1	60	50
0,5	105	125	Более 1	20	6

При прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, человек включается в электрическую цепь и может рассматриваться как элемент этой цепи. Сопротивление тела человека — величина нелинейная, колеблющаяся в широких пределах и зависящая от ряда факторов: состояния кожи (сухая, влажная, чистая и т.п.); площади и плотности контактов; значения силы тока, протекающего через человека; значения приложенного напряжения; рода и частоты тока и продолжительности его воздействия. Значение сопротивления тела человека требуется знать при разработке защитных мер от поражения электрическим током, анализе условий электробезопасности, а также расследовании несчастных случаев.

Разные ткани по разному проводят ток: одни лучше, другие хуже. Наибольшее сопротивление электрическому току оказывает кожа. Другие ткани, в том числе мышечная и жировая, спинной и головной мозг, а также кровь имеют по сравнению с кожей весьма малое сопротивление.

Сопротивление тела человека, т.е. сопротивление между двумя электродами, наложенными на поверхность тела, у разных людей раз-

лично. Неодинаковым оказывается сопротивление тела у одного и того же человека в разное время и при разных условиях измерения. При сухой, чистой и неповрежденной коже сопротивление тела, измеренное при напряжении 15—20 В переменного тока 50 Гц, колеблется в пределах от 1 до 10 кОм, а иногда и в более широких пределах. Если на участках кожи, где прикладываются электроды, соскоблить роговой слой, сопротивление тела упадет и станет равным 1—5 кОм, а при удалении всего наружного слоя (эпидермиса) — 500—700 Ом. Если же под электродами полностью удалить кожу, то будет измерено сопротивление подкожных тканей тела, которое у всех людей практически одинаково и составляет лишь 300—500 Ом.

Удельное сопротивление эпидермиса находится в пределах — 10^4 — 10^5 Ом·м, а диэлектрическая проницаемость — 80—100.

Кожа состоит из двух основных слоев: наружного — эпидермиса, обладающего большим сопротивлением, и внутреннего — дермы, имеющего относительно малое сопротивление, близкое по значению к сопротивлению внутренних подкожных тканей тела. Сопротивление тела человека, т.е. сопротивление между двумя электродами, наложенными на поверхность тела (рис. 1.1, а), условно можно считать состоящим из трех последовательно включенных сопротивлений Z_h , R_b , Z_n , где Z_h обусловлено активным сопротивлением R_h и емкостью C_h (рис. 1.1, б). Два одинаковых сопротивления Z_h наружного слоя кожи — эпидермиса называются наружным сопротивлением тела человека, а сопротивление R_b внутренних тканей тела — внутренним сопротивлением и состоит из сопротивления внутреннего слоя кожи — дермы и сопротивления подкожных тканей тела.

Сопротивление каждого наружного слоя кожи содержит два параллельно включенных сопротивления: активное R_h , кОм и емкостного, которое обусловлено тем, что в месте прикосновения токоведущей части (электрода) к телу человека образуется структура, эквивалентная конденсатору с некоторой емкостью C_h , мкФ (рис. 1.1, б).

Обкладками этого конденсатора являются электрод и хорошо проводящие ток ткани тела человека, лежащие под наружным слоем кожи, а диэлектриком, разделяющим обкладки, является слой эпидермиса.

Полное сопротивление тела человека в комплексной форме Z_h , кОм, в соответствии с эквивалентной схемой, показанной на рис. 1.1, б, выражается следующей зависимостью:

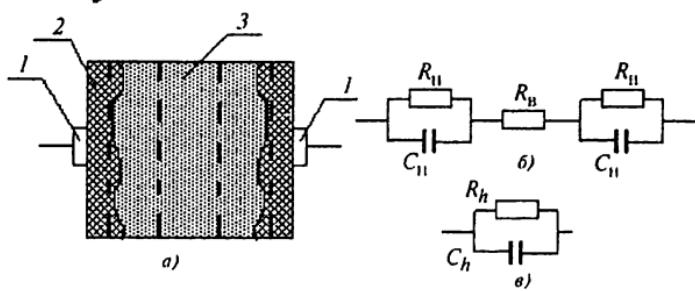


Рис. 1.1. Определение сопротивления тела человека:

а — схема измерения сопротивления; *б* — эквивалентная схема сопротивления тела человека; *в* — упрощенная схема; 1 — электроды; 2 — наружный слой кожи (эпидермис); 3 — внутренние ткани тела (включая нижний слой кожи — дерму); R_H — активное сопротивление наружного слоя; C_H — емкость образовавшегося конденсатора; R_B — сопротивление внутренних тканей; R_h — активное сопротивление тела; C_h — емкость тела человека

$$Z_h = 2R_H + R_B = \frac{2}{\frac{1}{R_H} + j\omega C_H} + R_B, \quad (1.1)$$

а в действительной форме

$$Z_h = \sqrt{\frac{4R_H(R_H + R_B)}{1 + \omega^2 R_H^2 C_H^2} + R_B^2}. \quad (1.2)$$

Здесь Z_h — полное сопротивление наружного слоя кожи в комплексной форме, кОм; $\omega = 2\pi f$ — угловая частота, 1/с; f — частота тока, кГц.

Из выражений (1.1) и (1.2) видно, что с уменьшением частоты сопротивление тела человека возрастает и при $f = 0$, т.е. при постоянном токе, сопротивление тела человека имеет наибольшее значение и оказывается равным сумме активных сопротивлений обоих слоев эпидермиса и внутренних тканей тела:

$$Z_h = 2R_H + R_B = R_{h0}, \quad (1.3)$$

где R_{h0} — сопротивление тела человека постоянному току, кОм.

С ростом частоты Z_h уменьшается (за счет уменьшения емкостного сопротивления) и при $f = 2,5 - 5$ кГц ненамного отличается от внутреннего сопротивления R_B , а при 10 кГц можно считать, что наружный слой кожи практически утрачивает сопротивление электрическому току, и, следовательно,

$$Z_h = R_{\text{в.}} \quad (1.4)$$

Эквивалентную схему, представленную на рис. 1.1, б, можно упростить, представив сопротивление тела человека как параллельное соединение сопротивления $R_h = 2R_{\text{н}} + R_{\text{в}}$ и емкости $C_h = 0,5C_{\text{н}}$, которые назовем соответственно активным сопротивлением и емкостью тела человека (рис. 1.1, в). В этом случае полное сопротивление тела человека, кОм, в действительной форме определяется по выражению

$$Z_h = \frac{R_h}{\sqrt{1 + \omega^2 R_h^2 C_h^2}}, \quad (1.5)$$

из которого можно определить значение $C_{\text{н}}$, мкФ,

$$C_{\text{н}} \approx 2C_h = \frac{\sqrt{R_h^2 - Z_h^2}}{\pi f R_h Z_h}. \quad (1.6)$$

Повышение напряжения, приложенного к телу человека, сопровождается уменьшением полного сопротивления тела человека Z_h , которое в пределе приближается к наименьшему значению сопротивления внутренних тканей тела $R_{\text{в.}}$. Уменьшение Z_h происходит в основном за счет уменьшения сопротивления кожи, что в свою очередь объясняется влиянием ряда факторов, в том числе ростом тока, проходящего через кожу, пробоем наружного слоя кожи и др.

Применяемое оборудование

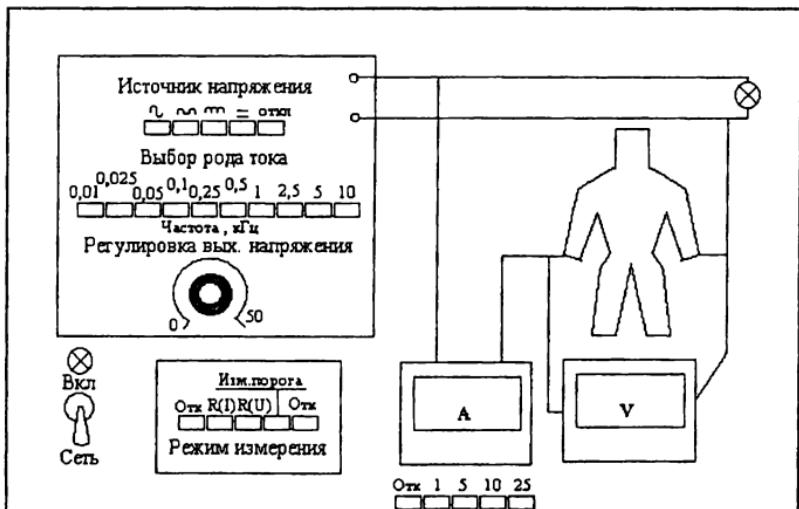


Рис. 1.2. Схема лицевой панели стенда

Работа выполняется на стенде, лицевая панель которого изображена на рис. 1.2. Включение стенда осуществляется выключателем «Сеть». Перед включением ручка потенциометра «Регулировка выходного напряжения» должна находиться в крайнем левом положении. О готовности стенда к работе свидетельствует загорание сигнальной лампы после включения стендса. В соответствии с заданием режим работы стендса устанавливается нажатием соответствующей кнопки на переключателе «Режим измерения». Род и частота переменного тока устанавливаются нажатием соответствующих кнопок в блоках «Выбор рода тока» и «Частота», а напряжение, приложенное к телу человека, и ток, проходящий через человека по пути рука-рука, измеряются соответственно вольтметром и миллиамперметром, размещенными на лицевой панели стендса. В зависимости от значения протекающего тока предел измерения миллиамперметра может быть изменен с помощью переключателя «Предел измерения прибора, мА».

По окончании работы стенд отключается выключателем «Сеть».

Указания по технике безопасности

1. Запрещается включать стенд без предварительной проверки собранной схемы преподавателем или лаборантом.
2. Запрещается собирать и разбирать заданную схему при включенном электропитании.
3. При обнаружении неисправностей в работе стендса следует немедленно прекратить работу, отключить стенд от сети и сообщить об этом преподавателю.

Порядок выполнения работы

1. Определение пороговых ощущимых токов.

После включения стендса установите переключатели: «Режим измерения» в положение «Измерение порога», «Выбор рода тока» в положение «~» и «Частота» в положение «0,05 кГц».

Плавным поворотом ручки потенциометра «Регулировка выходного напряжения» увеличьте напряжение, приложенное к телу человека, и тем самым увеличьте ток, протекающий через человека по пути рука—рука. В момент загорания транспаранта «Порог ощущения» зафиксируйте значение I_h по миллиамперметру. Установив кнопочный переключатель «Выбор рода тока» в соответствующее положение, аналогичным образом определите значения постоянного и выпрям-

ленного пороговых ощутимых токов. При этом переключатель «Частота» должен быть установлен в положении «0,05 кГц», так как выпрямительный блок работает на этой частоте.

Измеренные значения пороговых ощутимых токов занесите в табл. 1.3.

2. Определение зависимости сопротивления тела человека от частоты приложенного напряжения $Z_h(f)$.

Установите переключатели: «Режим измерения» в положение « R_h » «Выбор рода тока» в положение «~». Изменяя частоту тока от 0,01 до 10 кГц с помощью переключателя «Частота», запишите показания вольтметра (напряжение U_h , приложенное к телу человека) при каждом значении частоты. При этом, воздействуя на ручку потенциометра «Регулировка выходного напряжения», поддерживайте в течение всего опыта постоянное значение тока, протекающего через тело человека I_h , равное 4 мА.

Измеренные значения U_h и вычисленной величины $Z_h = U_h / I_h$ для каждой точки замера заносятся в табл. 1.4.

3. Определение зависимости сопротивления тела человека от значения приложенного напряжения при частоте 50 Гц, т.е. зависимости $Z_h(U_h)$.

Установить переключатель «Режим измерения» в положение « $R_h(U)$ », а переключатель «Частота» — в положение «0,05 кГц». Измеряя напряжение с помощью потенциометра «Регулировка выходного напряжения» от 1 до 50 В, записывать показания миллиамперметра, т.е. значения тока I_h , протекающего через тело человека. Вычислить значения $Z_h = U_h/I_h$ для каждой точки замера и внести их в табл. 1.5.

4. Определение параметров эквивалентной схемы сопротивления тела человека R_b , R_h , C_h производить в следующем порядке:

а) сопротивление внутренних тканей R_b определите по выражению (1.4), для чего из табл. 1.3 взять значение Z_h , соответствующее частоте тока $f = 10 \text{ кГц}$;

б) активное сопротивление наружного слоя кожи R_h определите экспериментально. Для этого включите стенд, переключатель «Выбор рода тока» установите в положение «=», переключатель «Частота» — в положение «0,05 кГц», переключатель «Режим измерения» — в положение «Измерение порога» и при $I_h = 2 \text{ мА}$ запишите значение U_h . Вычислите R_{h0} , зная значение R_b , по выражению (1.3) вычислите R_h ;

в) ёмкость C_h определите для двух значений частоты 50 и 500 Гц или для других, указанных преподавателем значений, по выражению

(1.6). В выражение (1.6) подставьте значения Z_h , взятые из табл. 1.3, а значение R_h принять равным R_{h0} .

Полученные результаты сводятся в табл. 1.6.

Содержание отчета

1. Принципиальная схема включения человека в цепь электрического тока.
2. Измеренные значения пороговых ощутимых токов (см. табл. 1.3).

Таблица 1.3

Пороговые ощутимые токи

Род тока, проходящего через человека	\approx	$=$	$\cap \cap$	$\cap \cap \cap$
Измеренные значения порогового ощутимого тока, мА				

3. Измеренные и вычисленные значения U_h и Z_h , необходимые для определения зависимости сопротивления тела человека от частоты тока, протекающего через него, сведенные в табл. 1.4, и график $Z_h(f)$, построенный в полулогарифмическом масштабе.

Таблица 1.4

Определение зависимости сопротивления тела человека от частоты

Частота тока, кГц	0,01	0,025	0,05	0,1	0,25	0,5	1	5	10
$\lg f$	1	1,4	1,7	2	2,4	2,7	3	3,4	4
Напряжение U_h , В при $I_h = 4$ мА									
Сопротивление тела человека Z_h , кОм									

4. Измеренные и вычисленные значения U_h , I_h , Z_h , необходимые для определения зависимости сопротивления тела человека от значения приложенного напряжения, сведенные в табл. 1.5 и график $Z_h(U_h)$.

Таблица 1.5

Определение зависимости сопротивления тела человека от напряжения

U_h , В	2	5	10	15	20	23	26	30	32	35	45
I_h , мА											
Z_h , кОм											

5. Эквивалентная схема сопротивления тела человека, основные расчетные выражения и результаты расчета параметров этой схемы для двух значений частоты тока (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Определение параметров эквивалентной схемы сопротивления тела человека

R_B , кОм	R_H , кОм	R_{h0} , кОм	$f = 50 \text{ Гц}$		$f = 500 \text{ Гц}$	
			Z_h , кОм	C_H , мкФ	Z_h , кОм	C_H , мкФ

6. Выводы о влиянии рода, частоты тока и значения напряжения, приложенного к телу человека на его сопротивление.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы определяют степень отрицательного воздействия электрического тока на организм человека?
2. Назовите значения пороговых ощутимых и пороговых неотпускающих токов: переменного ($f=50\text{Гц}$) и постоянного.
3. Какой ток называют фибрилляционным и каково его пороговое значение?
4. Какие факторы влияют на значение электрического сопротивления тела человека?
5. Составьте эквивалентную схему сопротивления тела человека и поясните физическую сущность элементов, входящих в эту схему.
6. Как можно представить эквивалентную схему сопротивления тела человека постоянному току?
7. Как изменяется сопротивление тела человека с изменением частоты приложенного напряжения? Назовите причину этого изменения.
8. Как изменяется сопротивление тела человека при изменении значения приложенного напряжения? Почему эта зависимость имеет нелинейный характер?
9. Как определяются параметры элементов эквивалентной схемы электрического сопротивления тела человека?

Библиографический список

Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Знак, 2000. С. 5—48.

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

Цель работы

Оценка опасности прямого прикосновения человека к проводникам трехфазных сетей напряжением до 1000 В.

Изучение влияния параметров сети (режима нейтрали, сопротивления изоляции и ёмкости фазных проводников относительно земли) на величину тока, проходящего через человека.

Содержание работы

1. Оценка опасности прямого прикосновения человека к проводникам трехфазных сетей с изолированной и заземленной нейтралями при различных сопротивлениях изоляции и ёмкостях, проводников относительно земли. Проведение сравнения опасности для двух режимов работы сетей: нормальном и аварийном, т.е. при замыкании на землю одного фазного проводника и отказе защитного автоматического отключения питания.

2. Определение при нормальном режиме работы сети тока, проходящего через человека при прикосновении к фазному проводнику в зависимости:

а) от сопротивлений изоляции фазных проводников сети относительно земли при постоянной ёмкости этих проводников относительно земли;

б) ёмкостей фазных проводников сети относительно земли при постоянном сопротивлении изоляции.

Анализ опасности поражения током в электрических сетях

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) прямое прикосновение — это электрический контакт людей с токоведущими частями, находящимися под напряжением.

Тяжесть поражения человека электрическим током определяется напряжением прикосновения, т.е. напряжением между двумя проводящими частями или между проводящей частью и землей при одновременном прикосновении к ним человека (ПУЭ, п.1.7.24).

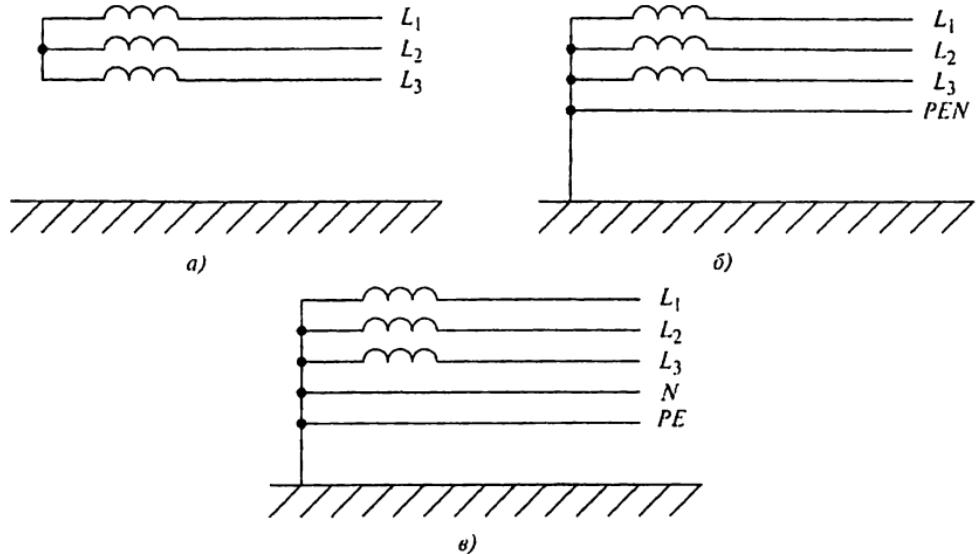


Рис. 2.1. Трехфазные сети:
а — трехпроводная с изолированной нейтралью; б — четырехпроводная с глухозаземленной нейтралью; в — пятипроводная с глухозаземленной нейтралью

Опасность прикосновения, оцениваемая током I_h , проходящим через тело человека, или напряжением прикосновения U_h , зависит от ряда факторов: схемы включения человека в электрическую цепь, напряжения сети, а также сопротивлений изоляции и емкостей фазных проводников относительно земли. В данной работе исследуется включение человека между фазным проводником и землей.

Трехфазные сети напряжением до 1000 В выполняются с изолированной или глухозаземленной нейтралями (рис. 2.1). В сети с глухозаземленной нейтралью — нейтраль источника питания (трансформатора или генератора) присоединяется непосредственно к заземляющему устройству.

Трехфазные сети с глухозаземленной нейтралью выполняются в совокупности с нулевыми проводниками и могут быть четырех- и пятипроводными.

Для обозначения проводников, например, в электроустановках зданий используются следующие обозначения:

L_1, L_2, L_3 — фазные проводники;

N — нулевой рабочий проводник;

PE — нулевой защитный проводник;

PEN — нулевой проводник, выполняющий функции рабочего и защитного проводников.

Современная классификация электроустановок, используемые термины и обозначения приведены в приложении.

В данной работе рассматривается прямое прикосновение человека к фазным проводникам сетей с изолированной и глухозаземленной нейтралью при условии, что защитные меры от поражения электрическим током отсутствуют.

Опасность прикосновения человека к фазному проводнику сети определяется значением проходящего через него тока I_h .

В сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы (рис. 2.2) и при равенстве между собой сопротивлений изоляции и емкостей фазных проводников относительно земли ток через человека, касающегося фазного проводника, определяется выражением:

$$I_h = \frac{U_\Phi}{R_h + Z/3}, \quad (2.1)$$

где I_h — ток через человека в комплексной форме, А; U_Φ — фазное напряжение, В; R_h — сопротивление тела человека, Ом; Z — комплексное сопротивление фазного проводника относительно земли, Ом.

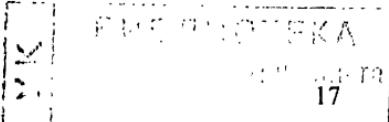
В некоторых случаях при определении тока, проходящего через человека, необходимо кроме сопротивления тела человека R_h учитывать сопротивление основания $R_{осн}$, на котором он стоит. Для чего в расчетные формулы вместо R_h следует подставлять сумму сопротивлений $R_h + R_{осн}$.

Комплекс полного сопротивления Z как величину обратную проводимости Y можно записать в виде

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{\frac{1}{r} + j\omega C}, \quad (2.2)$$

где r — сопротивление изоляции проводников, Ом; C — емкость проводников относительно земли, Ф; $\omega = 2\pi f$ — угловая частота, с⁻¹; f — частота переменного тока, Гц.

При равенстве сопротивлений изоляции и весьма малых значениях емкостей проводников относительно земли, т. е. при $r_1 = r_2 = r_3 = r$ и $C_1 = C_2 = C_3 = 0$, что может иметь место в воздушных линиях небольшой протяженности, ток, проходящий через человека, будет определяться по формуле:



БИБЛИОТЕКА

17

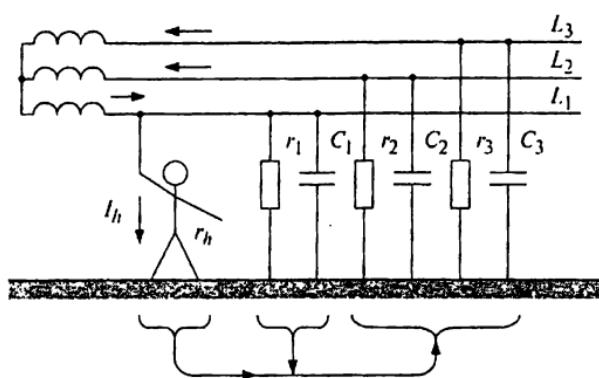


Рис. 2.2. Прикосновение человека к фазному проводнику сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме:

$r_1 - r_3$ — сопротивления изоляции фазных проводников; $C_1 - C_3$ — ёмкости фазных проводников относительно земли

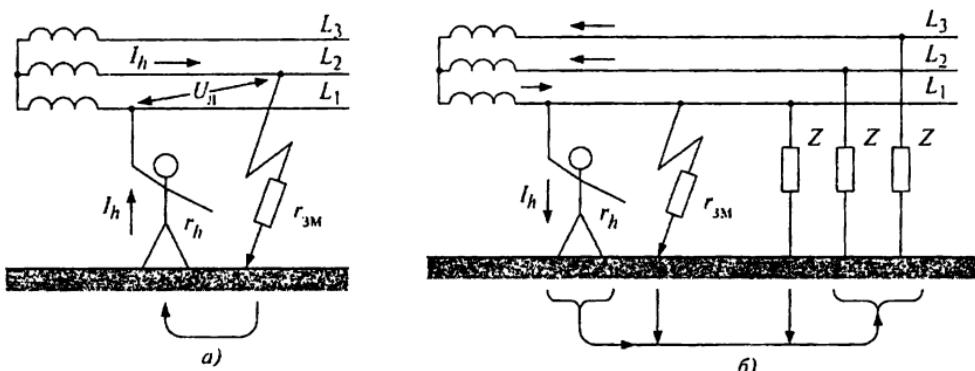


Рис. 2.3. Прикосновение человека к фазному проводнику сети с изолированной нейтралью при аварийном режиме:

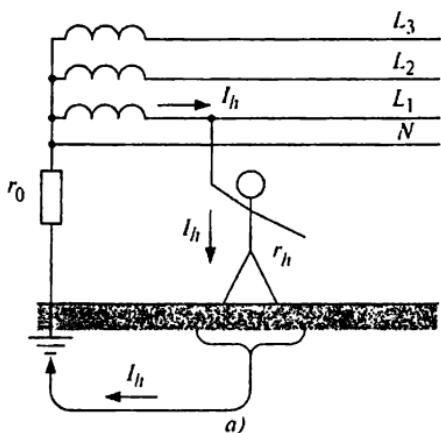
а, б — прикосновение к исправному и замкнувшемуся проводнику

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r/3}. \quad (2.3)$$

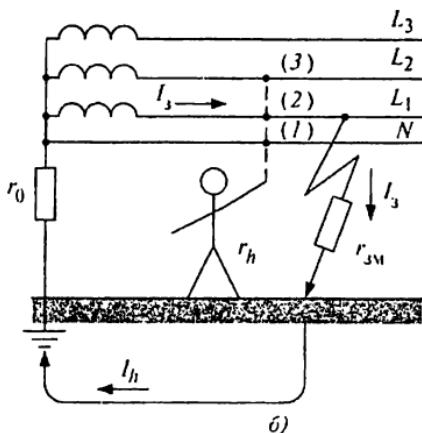
При равенстве ёмкостей и весьма больших сопротивлениях изоляции фазных проводников относительно земли, т.е. при $r_1 = r_2 = r_3 = r$, $C_1 = C_2 = C_3 = C$ и $r >> x_C$, что может иметь место в кабельных линиях, ток через человека согласно (2.1) и (2.2) определяется из выражения:

$$I_h = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + \left(\frac{x_C}{3}\right)^2}}, \quad (2.4)$$

где $x_C = \frac{1}{\omega C}$ — ёмкостное сопротивление, Ом.



a)



б)

Рис. 2.4. Прикосновение человека к фазному проводнику четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью:

а — нормальный режим; *б* — аварийный режим: прикосновение к нулевому (*1*), замкнувшемуся на землю (*2*) и исправленному (*3*) проводникам

В сети с глухозаземленной нейтралью при нормальном режиме работы (рис. 2.4, а) ток, проходящий через человека, можно определить по формуле:

$$I_h = \frac{U_\Phi}{R_h + r_0}, \quad (2.5)$$

где r_0 — сопротивление заземлителя нейтрали, Ом.

Согласно требованиям Правил устройства электроустановок (ПУЭ) для сети 380/220 В наибольшее значение r_0 составляет 4 Ом, сопротивление же тела человека R_h не опускается ниже нескольких сотен Ом. Таким образом, поскольку $R_h \ll r_0$, то значением r_0 в формуле (2.5) можно пренебречь. Из выражений (2.1) и (2.5) следует, что прикосновение к фазному проводнику сети с глухозаземленной нейтралью в нормальном режиме работы опаснее, чем прикосновение к проводнику сети с изолированной нейтралью, так как человек в этом случае попадает практически под фазное напряжение независимо от значений сопротивления изоляции и емкости проводников относительно земли.

В сети с изолированной нейтралью при аварийном режиме работы, т.е. когда произошло замыкание на землю одного из фазных проводников при условии, что сопротивление в месте замыкания намного меньше сопротивления изоляции, выражение для тока через человека,

коснувшегося незамкнутого на землю проводника (рис. 2.3, а), имеет вид:

$$I_h = \frac{U_{\text{л}}}{R_h + r_{3\text{м}}} , \quad (2.6)$$

где $U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\phi}$ — линейное напряжение, В; $r_{3\text{м}}$ — сопротивление растеканию тока в месте замыкания проводника на землю, Ом.

Сопротивление изоляции сети согласно ПУЭ должно быть не менее 500 кОм. Поэтому $r_{3\text{м}} \ll R_h$.

Если считать, что $r_{3\text{м}} \ll R_h$, например $r_{3\text{м}} < 100$ Ом и $R_h = 1$ кОм, то получим:

$$I_h \approx \frac{\sqrt{3}U_{\phi}}{R_h} , \quad (2.7)$$

т.е. человек окажется под линейным напряжением сети.

Если человек касается замкнутого на землю проводника (рис. 2.3, б), то ток через него намного меньше и определяется напряжением:

$$U_{3\text{м}} = I_3 r_{3\text{м}} ; \quad (2.8)$$

$$I_h = \frac{U_{3\text{м}}}{R_h} .$$

Ток I_3 находим без учета сопротивления человека из выражения аналогичного (2.3):

$$I_3 = \frac{U_{\phi}}{r_{3\text{м}} + r/3} .$$

В сети с глухозаземленной нейтралью при аварийном режиме ток через человека определяется напряжением фазных и нулевых проводников (рис. 2.4, б).

Определим ток I_3 , считая что $r_{3\text{м}} \ll R_h$.

$$I_3 = \frac{U_{\phi}}{r_{3\text{м}} + r_0} . \quad (2.9)$$

Тогда напряжение нейтрали и нулевого рабочего проводника запишем в виде

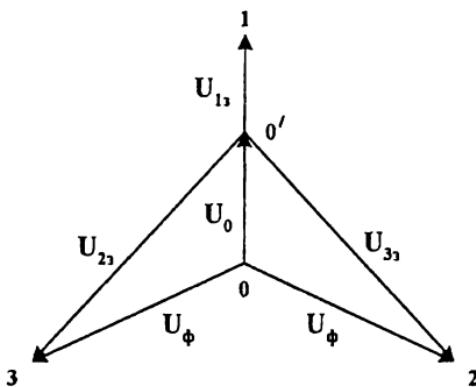


Рис. 2.5. Векторная диаграмма для сети с глухозаземленной нейтралью при замыкании фазного проводника L_1 на землю

Напряжение на исправных фазных проводниках определим из векторной диаграммы, представленной на рис. 2.5. Из треугольника 00'2 найдем:

$$U_0 = I_3 r_0. \quad (2.10)$$

Напряжение замкнувшегося на землю фазного проводника L_1

$$U_{13} = I_3 r_{3M}. \quad (2.11)$$

$U_{23} = U_{33} = \sqrt{U_\phi^2 + U_0^2 - 2U_0 U_\phi \cos 120^\circ}$, поскольку $\cos 120^\circ = -1/2$, то

$$U_{23} = U_{33} = \sqrt{U_\phi^2 + U_0^2 + U_0 U_\phi}. \quad (2.12)$$

Рассмотрим два крайних случая, используя формулу (2.12):

- 1) $r_3 = 0$, тогда $U_0 = U_\phi$ и $U_{23} = U_{33} = \sqrt{3} U_\phi$;
- 2) $r_0 = 0$, тогда $U_0 = 0$ и $U_{23} = U_{33} = U_\phi$.

Таким образом, при любых соотношениях между r_0 и r_3 напряжения на исправных фазах будет определяться неравенством:

$$U_\phi < (U_{23} = U_{33}) < \sqrt{3} U_\phi.$$

Зная напряжения на проводниках сети с глухозаземленной нейтралью, можно определить ток через человека. Например, при прикосновении к исправным фазным проводникам.

$$I_h = U_{23}/R_h = U_{33}/R_h.$$

Указания по технике безопасности

- Перед выполнением данной работы необходимо ознакомиться с инструкцией по безопасности, вывешенной на стенде.
- Во время работы запрещается производить переключения в электрических схемах под напряжением, оставлять без надзора включенный стенд.
- При обнаружении в стенде какой-либо неисправности необходимо прекратить работу, отключить стенд и сообщить о случившемся преподавателю или лаборанту.

Применяемое оборудование

Схема лицевой панели стенда показана на рис. 2.6. Стенд позволяет моделировать любую из рассмотренных сетей трехфазного тока.

Вместо реально существующих распределенных сопротивлений изоляции и емкости проводов относительно земли на стенде предусмотрены сосредоточенные сопротивления (R_1, R_2, R_3) и емкости (C_1, C_2, C_3), меняя значения которых, можно получить сеть с нужными параметрами.

В схеме стенд имитирует подключение человека к каждому фазному проводнику сети и к нулевому проводнику. Сопротивление человека может устанавливаться равным 1, 5, 10 кОм.

Встроенный цифровой вольтметр U служит для контроля напряжений фазных проводов относительно земли.

Для измерения тока, протекающего через человека I_h , служит миллиамперметр мА, включенный между основанием, на котором стоит человек, и землей.

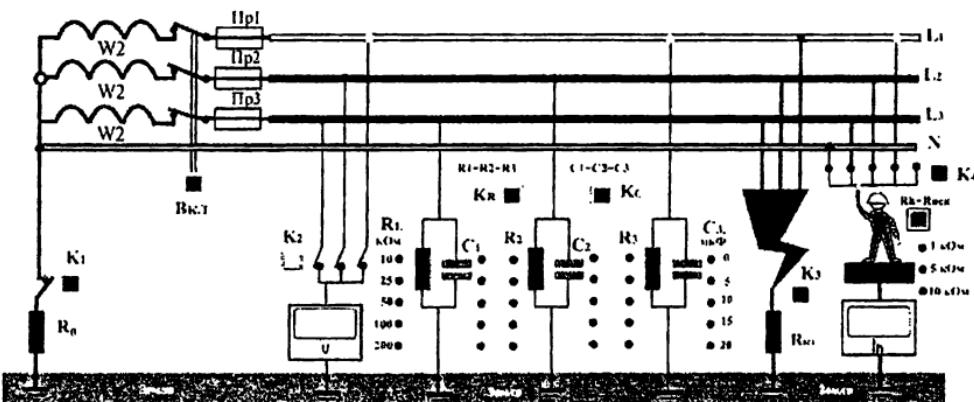


Рис. 2.6. Схема лицевой панели стендса

Порядок проведения работы

- Подготовьте таблицы для записи результатов измерений.
- Приведите стенд в исходное состояние, все клавиши должны быть отжаты.
- Включите питание стенда кнопкой «Вкл», убедитесь с помощью вольтметра (кнопка K₂) в наличии напряжений фаз $U_1 = U_2 = U_3 = 220 \text{ В}$.

1. Для определения тока I_h , протекающего через человека при прикосновении к фазному проводнику в сети с изолированной нейтралью как в нормальном, так и в аварийном режимах работы, произвести измерения в следующем порядке:

- выставьте сопротивление изоляции в соответствии с заданием приведенным в табл. 2.1;
- нажатием соответствующей клавиши блока $R_h + R_{\text{осн}}$ установите сопротивление, имитирующее сопротивления тела человека и основания.

Таблица 2.1

Варианты заданий для проведения лабораторной работы по пп. 1 и 2

Параметр	Номер бригады					
	1	2	3	4	5	6
$R_1=R_2=R_3, \text{ кОм}$	10	25	50	100	200	10
$R_h+R_{\text{осн}}, \text{ кОм}$	1	5	10	1	5	10

1.1. В сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы:

а) изолируйте нейтраль (кнопка K₁);

б) имитируя прикосновение человека к фазным проводникам последовательным нажатием кнопки K₄ (над блоком $R_h + R_{\text{осн}}$) измерьте I_h . Показания миллиамперметра занесите в табл. 2.2, п.1.

1.2. При исследовании сети с изолированной нейтралью в аварийном режиме работы проделать все переключения и измерения аналогично предыдущему пункту, только при измерении токов I_h нажать кнопку K₃, имитируя тем самым замыкание фазного проводника на землю. Сопротивление в месте контакта проводника с землей имитируется резистором 100 Ом, которое установлено в схеме стендса.

Результаты измерений занести в табл. 2.2, п.2.

Результаты измерений

№	Электрическая сеть	Режим работы	Сопротивление изоляции фазных проводников, кОм			Сопротивление замыкания, Ом	Ток через человека при поочередном прикосновении к проводникам, мА				
			r_1	r_2	r_3		r_{3M}	I_{h1}	I_{h2}	I_{h3}	I_N
1	С изолированной нейтралью	Нормальный				100					
2	С изолированной нейтралью	Аварийный				100					
3	С глухозаземленной нейтралью ($r_0 = 4 \text{ Ом}$)	Нормальный				100					
4	С глухозаземленной нейтралью ($r_0 = 4 \text{ Ом}$)	Аварийный				100					

2. Для определения тока I_h , протекающего через человека при прикосновении к фазному проводнику в сетях с заземленной нейтралью как в нормальном режиме работы, так и в аварийном, произвести измерения в следующем порядке:

2.1. В сети с глухозаземленной нейтралью при нормальном режиме работы:

а) заземлите нейтраль — включите K_1 , выставите сопротивления изоляции согласно заданию;

б) имитируя прикосновение человека к фазным проводникам (последовательным) нажатием кнопки K_4 (над блоком $R_h + R_{\text{осн}}$) изменить I_h .

Результаты измерений занесите в табл. 2.2, п.3.

2.2. При исследовании сети с заземленной нейтралью при аварийном режиме работы проделать все переключения и измерения аналогично предыдущему пункту, только в момент измерения токов I_h нажать кнопку K_3 , имитируя тем самым замыкание фазного проводника на землю. Сопротивление в месте контакта проводника с землей имитируется резистором 100 Ом, которое установлено в схеме стенда.

Результаты измерений занесите в табл. 2.2, п.4.

3. Оценка опасности поражения током для сети с изолированной нейтралью при одинаковых составляющих полного сопротивления изоляции фазных проводов, т.е. $R_1 = R_2 = R_3, C_1 = C_2 = C_3$.

3.1. Для сети с изолированной нейтралью при постоянном значении C измерьте зависимость $I_h(r)$.

Постоянное значение емкости C выбирается из табл. 2.3 в соответствии с номером вашей бригады.

Таблица 2.3

Варианты заданий для проведения лабораторной работы по пп. 3.1 и 4.1

Параметр	Номер бригады					
	1	2	3	4	5	6
$C_1 = C_2 = C_3, \text{ мкФ}$	0	5	10	15	20	0

Касание фазы человеком имитируйте подключением сопротивления R_h к произвольно выбранному фазному проводнику.

Изменяя сопротивления изоляции фазных проводников относительно земли $R_1 = R_2 = R_3$ в соответствии с табл. 2.4, определите зависимость $I_h(r)$. В табл. 2.4 укажите значения $C_1 = C_2 = C_3$, при которых проводились измерения.

Таблица 2.4

Зависимость тока через человека от сопротивления изоляции проводников трехфазной сети с изолированной нейтралью

$R_1 = R_2 = R_3, \text{ кОм}$	10	25	50	100	200	$C_1 = C_2 = C_3, \text{ мкФ}$
$I_h, \text{ мА}$						

3.2. Для сети с изолированной нейтралью при постоянном значении R измерьте зависимость $I_h(C)$.

Установите постоянные значения сопротивления изоляции фазных проводников $R_1 = R_2 = R_3$ в соответствии табл. 2.5.

Таблица 2.5

Варианты заданий для проведения лабораторной работы по пп. 3.2 и 4.2

Параметр	Номер бригады					
	1	2	3	4	5	6
$R_1 = R_2 = R_3, \text{ кОм}$	10	25	50	100	200	10

Изменяя значения емкостей фазных проводников относительно земли $C = C_1 = C_2 = C_3$ в соответствии с табл. 2.6, определите зависимость $I_h(C)$.

4. Оценка опасности поражения током для сети с глухозаземленной нейтралью при одинаковых составляющих полного сопротивления изоляции всех фазных проводников, т.е. $R_1 = R_2 = R_3 = R$, $C_1 = C_2 = C_3 = C$.

Таблица 2.6

Зависимость тока через человека от емкости проводников относительно земли трехфазной сети с изолированной нейтралью

$C_1=C_2=C_3, \text{мкФ}$	0	5	10	15	20	$R_1=R_2=R_3, \text{кОм}$
I_h, mA						

4.1. Для получения зависимости $I_h (R)$ для сети с глухозаземленной нейтралью необходимо заземлить нейтраль (кнопка К1).

Сопротивление заземлителя нейтрали составляет 4 Ом.

Изменяя сопротивления изоляции проводников $R_1=R_2=R_3$ согласно табл. 2.3 при постоянной емкости проводов относительно земли $C_1=C_2=C_3$, измерьте ток I_h , проходящий через человека. Результаты замеров занесите в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Зависимость тока через человека от сопротивления изоляции проводников трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью

$R_1=R_2=R_3, \text{кОм}$	10	25	50	100	200	$C_1=C_2=C_3, \text{мкФ}$
I_h, mA						

4.2. Для сети с глухозаземленной нейтралью измерьте зависимость $I_h (C)$.

Установите постоянные сопротивления изоляции фазных проводников $R_1=R_2=R_3$ в соответствии с заданием (табл. 2.5).

Изменяя значения емкостей фазных проводников относительно земли $C_1=C_2=C_3$ в соответствии с табл. 2.8, определите зависимость $I_h (C)$.

Таблица 2.8

Зависимость тока через человека от емкости проводников относительно земли трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью

$C_1=C_2=C_3, \text{мкФ}$	0	5	10	15	20	$R_1=R_2=R_3, \text{кОм}$
I_h, mA						

Содержание отчета

- Принципиальная схема исследуемых сетей, но не схема лицевой панели стенда.
- Результаты измерений по пп. 1—4, представленные в виде таблиц.

3. Зависимости $I_h(R)$ и $I_h(C)$ п.3, 4 должны быть проиллюстрированы графиками.

4. Выводы о влиянии параметров сети (режима нейтрали, сопротивления изоляции и емкости фазных проводников относительно земли) на опасность поражения человека электрическим током как в нормальном, так и в аварийном режимах.

5. Письменный ответ по одному из нижеприведенных вопросов или задаче (задание выдается преподавателем каждому студенту).

Контрольные вопросы и задачи

1. В каком случае (в трехфазной сети с изолированной нейтралью или с глухозаземленной нейтралью) и почему опаснее прикосновение человека к фазному проводнику, замкнувшемуся на землю?

2. В какой из двух исследуемых в работе сетей прикосновение к фазному проводнику опаснее при нормальном режиме работы сети и почему?

3. В какой из двух исследуемых в работе сетей прикосновение к исправному фазному проводнику опаснее при аварийном режиме работы сети и почему?

4. Почему в трехфазной сети с изолированной нейтралью при увеличении емкости проводников относительно земли возрастает ток, проходящий через человека?

5. К какому фазному проводнику трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью прикосновение опаснее и почему, если проводники имеют разные сопротивления изоляции?

6. Человек прикоснулся к фазному проводнику трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью $U_\phi = 220$ В, $R_h = 1000$ Ом. Определите I_h для двух случаев:

а) при $C_1 = C_2 = C_3 = 0$ и для сопротивлений изоляции фазных проводников $r = r_1 = r_2 = r_3 = 3, 15, 30, 60$ кОм;

б) при $r = r_1 = r_2 = r_3 = \infty$ и для значений емкостей фазных проводников $C_1 = C_2 = C_3 = C = 0,03; 0,2; 1,0; 1,5$ мкФ.

7. Человек прикоснулся к фазному проводнику трехфазной четырехпроводной сети $U_\phi = 220$ В с заземленной нейтралью. Определите I_h при следующих параметрах сети $r_0 = 4$ Ом, $r = r_1 = r_2 = r_3 = 30$ кОм; $C_1 = C_2 = C_3 = 0,2$ мкФ. Сопротивление человека $R_h = 1000$ Ом.

8. Человек прикоснулся к фазному проводнику трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью в момент, когда другой фазный провод был замкнут на землю. Определите I_h при следующих параметрах сети: $U_\phi = 220$ В; $r = r_1 = r_2 = r_3 = 20$ кОм; $C_1 = C_2 = C_3 = 0,1$ мкФ, при этом сопротивление $r_{3M} = 300, 100, 30, 10$ Ом.

Библиографический список

Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Знак, 2000. С. 164—175.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Цель работы

Оценка эффективности защитного заземления в трехфазной сети с изолированной нейтралью и в трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

Содержание работы

1. Оценка эффективности защитного заземления в трехфазной сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В (система IT).
2. Оценка эффективности защитного заземления в сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В при двойном замыкании на корпуса электроустановок, имеющих раздельные заземляющие устройства.
3. Оценка эффективности защитного заземления в трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В (система ТТ).

Описание электрических сетей и систем заземления приведено в приложении на с. 175.

Защитное заземление

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с заземляющим устройством открытых проводящих частей электроустановок (например, корпусов электрооборудования), которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциала и т.п.) в целях электробезопасности.

Замыкание на корпус — случайный электрический контакт между токоведущими частями и открытыми проводящими частями электроустановки, происходящий в результате повреждения изоляции.

Назначение защитного заземления — устранение опасности поражения электрическим током в случае прикосновения к корпусу и другим открытым проводящим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением.

Область применения защитного заземления — трехфазные трехпроводные сети до 1000 В с изолированной нейтралью и выше 1000 В с любым режимом нейтрали.

Принцип действия защитного заземления — снижение напряжения между корпусом электроустановки, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения. Защитное заземление выполняется подсоединением корпуса электроустановки к заземляющему устройству, состоящему из искусственного или естественного заземлителей, выполненных из металла или других токопроводящих материалов и имеющих электрический контакт с грунтом.

Поясним это на примере сети до 1000 В с изолированной нейтралью. Если корпус электроустановки не заземлен и он оказался в контакте с фазным проводником, то прикосновение человека к такому корпусу равносильно прикосновению к фазному проводнику (рис. 3.1). В этом случае ток, проходящий через человека, будет определяться по формуле (в комплексной форме):

$$I_h = \frac{U_\Phi}{R_h + \frac{z}{3}}, \quad (3.1)$$

где U_Φ — фазное напряжение сети, В; R_h — сопротивление тела человека, Ом; z — комплекс полного сопротивления проводника относительно земли, Ом;

$$z = \frac{1}{\frac{1}{r} + j\omega C}. \quad (3.2)$$

Здесь r и C — сопротивление изоляции и емкость проводников относительно земли; ω — угловая частота, с^{-1} .

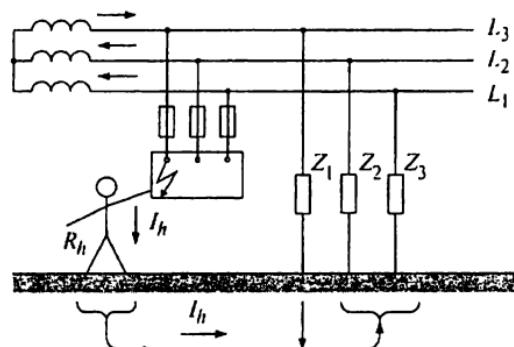


Рис. 3.1. Прикосновение человека к изолированному от земли корпусу при замыкании на него фазного проводника

При малых значениях C уравнение (3.1) принимает вид

$$I_h = \frac{U_\Phi}{R_h + \frac{r}{3}}, \quad (3.3)$$

где I_h — ток в действительной форме, проходящий через человека, А.

Напряжение, под которым окажется человек, прикоснувшийся к корпусу (напряжение прикосновения), определяется формулой:

$$U_{\text{пр}} = I_h R_h.$$

Если же корпус электроустановки заземлен, то при замыкании на него фазного проводника (рис. 3.2) через заземление пойдет ток I_3 , значение которого зависит от сопротивления изоляции r и сопротивления заземления корпуса r_3 и определяется выражением, подобным (3.3):

$$I_3 = \frac{U_\Phi}{r_3 + \frac{r}{3}}. \quad (3.4)$$

Напряжение корпуса относительно земли в этом случае определяется по формуле

$$U_{\text{корп}} = U_3 = I_3 r_3, \quad (3.5)$$

а напряжение прикосновения

$$U_{\text{пр}} = U_3 \alpha_1 \alpha_2,$$

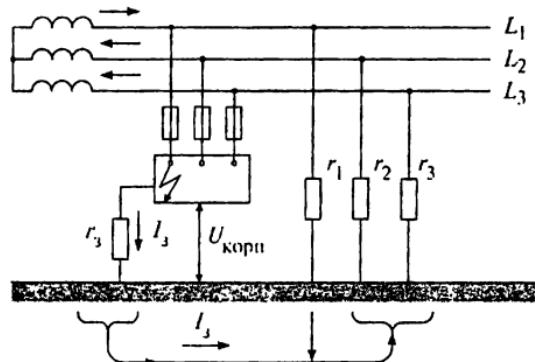


Рис. 3.2. Принципиальная схема защитного заземления в сети с изолированной нейтралью (система IT)

где α_1 — коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий форму потенциальной кривой и расстояние до заземлителя; α_2 — коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий падение напряжения на сопротивлении основания, на котором стоит человек.

Ток, проходящий через человека, касающегося корпуса при самых неблагоприятных условиях ($\alpha_1 = \alpha_2 = 1$), рассчитывается по формуле:

$$I_h = \frac{U_3}{R_h}. \quad (3.6)$$

Сопротивление заземляющего устройства выбирается таким, чтобы напряжение прикосновения не превышало допустимых значений. Для электроустановок напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью наибольшие допустимые значения r_3 составляют 10 Ом при суммарной мощности генераторов или трансформаторов, питающих данную сеть не более 100 кВ·А; а в остальных случаях r_3 не должно превышать 4 Ом.

При двойном замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В, т.е. замыкании двух фаз на два корпуса, имеющие раздельные заземлители (рис. 3.3), эти и другие корпуса, присоединенные к указанным заземлителям, окажутся под напряжением относительно земли, равным: в установке 1 — $U_{31} = I_3 r_{31}$, в установке 2 — $U_{32} = I_3 r_{32}$.

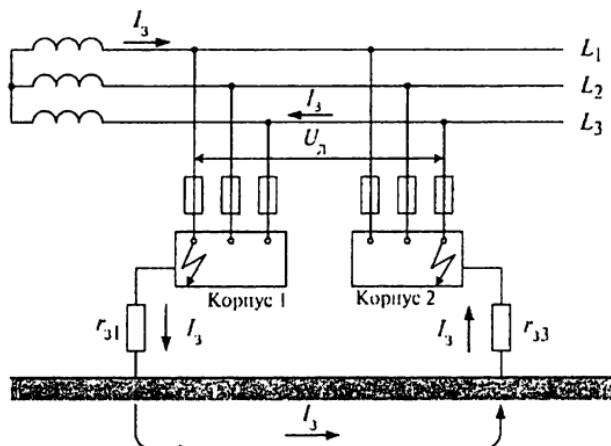


Рис. 3.3. Двухфазное замыкание на корпуса электроустановок, имеющие раздельные заземлители

Сопротивление изоляции и емкости фазных проводников относительно земли в данном случае практически не влияют на значение тока замыкания на землю, цепь которого устанавливается через сопротивления заземлений r_{31} и r_{32} . При этом $U_{31} + U_{32} = U_L$ (U_L — линейное напряжение сети). При равенстве r_{31} и r_{32} , $U_{31} = U_{32} = 0,5U_L$. Наличие таких напряжений на заземленных элементах установок является опасным для человека, тем более, что замыкание в сетях до 1000 В может существовать длительно.

Если же заземлители или корпуса электроустановок 1 и 2 соединить проводником достаточного сечения либо эти заземлители выполнить как одно целое, то двойное замыкание на заземленные корпуса превратится в короткое замыкание между фазными проводниками, что вызовет быстрое отключение установок максимально токовой защитой (предохранители, автоматические выключатели), т.е. в этом случае будет обеспечена кратковременность опасного режима.

В сети с глухозаземленной нейтралью (рис. 3.4) при замыкании фазного проводника на корпус по цепи, образованной через землю, будет проходить ток:

$$I_3 = \frac{U_\Phi}{r_0 + r_3},$$

где r_0 — сопротивление заземления нейтрали, Ом.

При этом фазное напряжение распределится между r_3 и r_0 , т.е. $U_3 = I_3 r_3$; $U_0 = I_3 r_0$; $U_3 + U_0 = U_\Phi$.

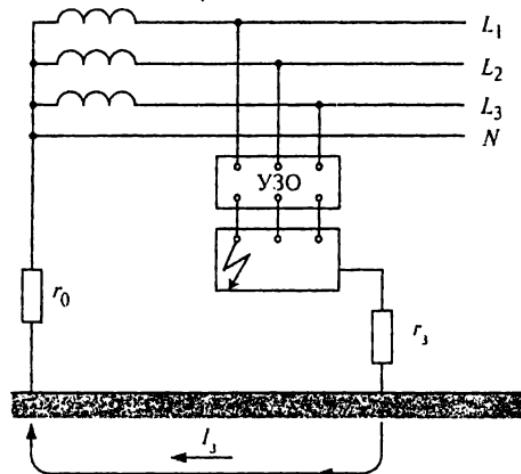


Рис. 3.4. Защитное заземление в сети с глухозаземленной нейтралью (система ТТ)

Таким образом, напряжение корпуса относительно земли зависит от соотношения сопротивлений r_0 и r_3 . При равенстве r_0 и r_3 , напряжение на заземленном корпусе определяется по формуле

$$U_3 = U_0 = 0,5 \cdot U_\Phi.$$

Это напряжение является опасным для человека, поэтому в сети напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью и системой TN защитное заземление не применяется. Вместо этого применяется защитное зануление.

В сетях с глухозаземленной нейтралью и корпусами, имеющими отдельное заземление (система TT), обязательным согласно ПУЭ является применение устройств защитного отключения (УЗО) на дифференциальном токе (см. приложение, с. 178).

Применяемое оборудование

Лицевая панель стенда представлена на рис. 3.5. Стенд включается кнопкой «Вкл». Распределенные вдоль фазных проводников сопротивления изоляции относительно земли имитируются на стенде резисторами R_1 , R_2 и R_3 , значение которых варьируется от 5 до 120 кОм последовательным нажатием на кнопку П5.

Вольтметр U_L измеряет напряжение относительно земли каждого фазного проводника (подключение вольтметра к фазному проводнику осуществляется последовательным нажатием на кнопку П3), вольтметр U_0 — напряжение нейтрали источника тока относительно земли, вольтметр U_{k1} — напряжение корпуса первой электроустановки относительно земли, вольтметр U_{k2} — напряжение корпуса второй электроустановки относительно земли.

Замыкание фазного проводника на корпус первой электроустановки осуществляется кнопкой П1. Корпус первой электроустановки подсоединяется к заземлителю кнопкой В2. С помощью кнопки П4 можно изменять значение сопротивления заземления

Замыкание фазного проводника на корпус второй электроустановки осуществляется кнопкой П2. Корпус второй электроустановки подсоединеняется к заземлителю кнопкой В3. Величина сопротивления заземления корпуса второй электроустановки не изменяется.

Амперметр измеряет ток I_3 , стекающий в землю при замыкании фазы на корпус первой электроустановки, если последний заземлен.

Кнопка В1 предназначена для подключения нейтральной точки источника тока к рабочему заземлению R_0 , значение которого неизменно и составляет 4 Ом.

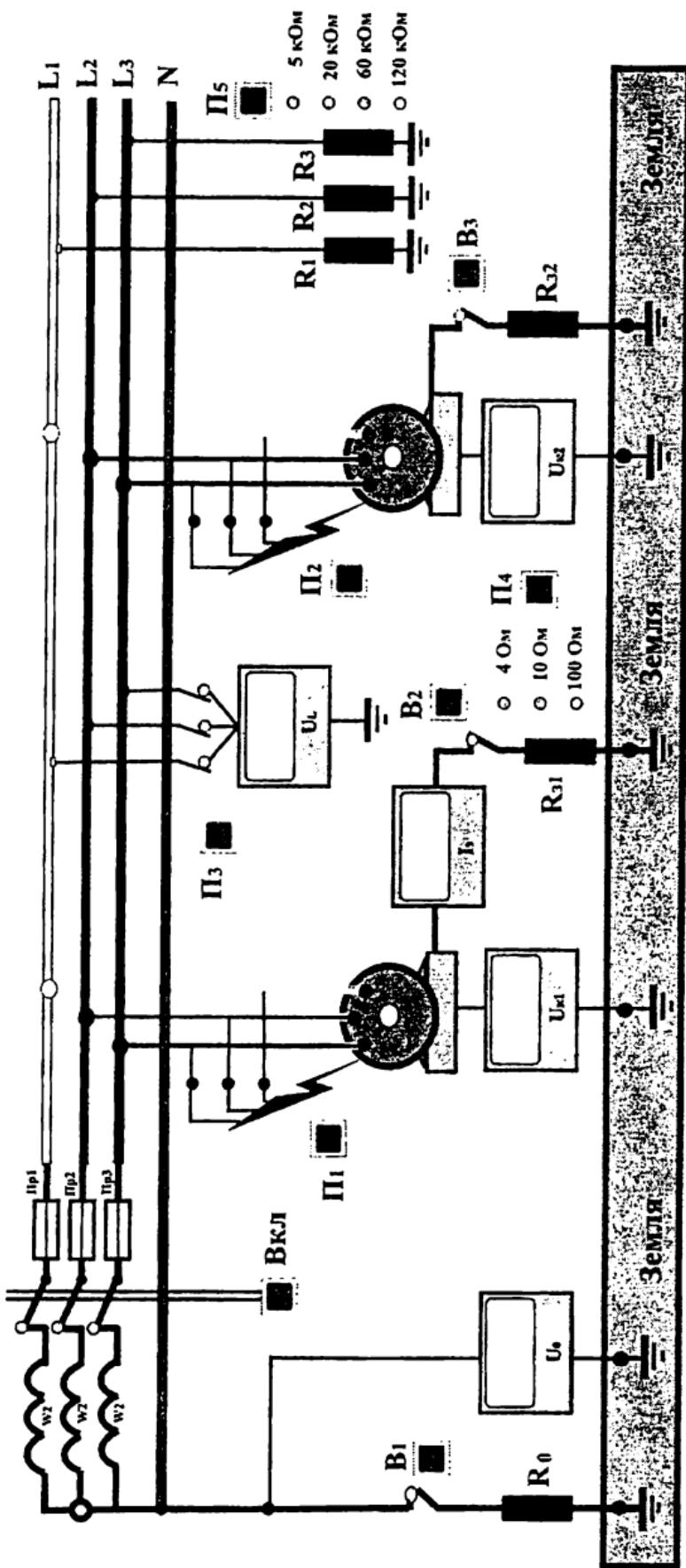


Рис. 3.5. Лицевая панель стенда

Указания по технике безопасности

При обнаружении в стенде какой-либо неисправности прекратите работу, отключите стенд и сообщите о случившемся преподавателю.

Порядок проведения работы

1. Оценка эффективности защитного заземления в сети с изолированной нейтралью до 1000 В.

Корпус установки не заземлен

1.1. Включите стенд.

1.2. В соответствии с табл. 3.1 установите значения сопротивлений, имитирующих сопротивление изоляции проводников относительно земли.

Таблица 3.1

Варианты заданий для проведения лабораторной работы

Параметр	Номер бригады					
	1	2	3	4	5	6
Сопротивление изоляции, кОм	5	20	60	120	5	20
Сопротивление заземлителя корпуса 1, кОм	4	10	100	4	10	100

1.3. Отключите корпус первой электроустановки от защитного заземлителя.

1.4. Отключите нейтраль источника тока от рабочего заземлителя.

1.5. Произведите замыкание фазы L_3 на корпус первой электроустановки, измерьте напряжение этого корпуса относительно земли и напряжения всех фазных проводников относительно земли. Результаты измерений занесите в табл. 3.2.

Корпус электроустановки заземлен

1.1. Заземлите корпус первой электроустановки. Величину сопротивления заземлителя установите в соответствии с табл. 3.1.

1.2. Произведите замыкание фазы L_3 на корпус первой электроустановки, измерьте напряжение этого корпуса относительно земли и напряжения всех фазных проводов относительно земли. Результаты измерений занесите в табл. 3.2.

1.3. Отключите стенд от сети.

2. Оценка эффективности защитного заземления в сети с изолированной нейтралью до 1000 В при двойном замыкании на заземленные корпуса электроустановок.

2.1. Включите стенд.

2.2. Заземлите корпуса первой и второй электроустановок.

2.3. На корпус первой электроустановки замкните фазу L_3 , на корпус второй электроустановки — фазу L_1 или фазу L_2 .

2.4. Измерьте значения тока замыкания на землю и напряжений корпусов первой и второй электроустановок относительно земли. Результаты измерений занесите в табл. 3.3.

2.5. Отключите стенд от сети.

3. Оценка эффективности защитного заземления в четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

3.1. Включите стенд.

3.2. Заземлите нейтраль источника тока четырехпроводной сети.

3.3. Замкните фазный провод L_3 на корпус первой электроустановки.

3.4. Измерьте напряжения корпуса первой электроустановки и нейтрали источника тока относительно земли, а также ток замыкания на землю. Результаты измерений занесите в табл. 3.4.

3.5. Отключите стенд.

Содержание отчета

1. Оценка эффективности защитного заземления в сети с изолированной нейтралью до 1000 В.

1.1. Принципиальная схема защитного заземления в сети с изолированной нейтралью.

1.2. Результаты измерения, представленные в виде табл. 3.2.

Таблица 3.2

Результаты измерений при наличии и отсутствии защитного заземления

Режим измерений	Корпус не заземлен				Корпус заземлен				
	$U_{\text{корп.}}$, В	U_1 , В	U_2 , В	U_3 , В	$U_{\text{корп.}}$, В	U_1 , В	U_2 , В	U_3 , В	I_3 , мА
Замыкание на корпус фазного проводника L_3									

1.3. Заключение об эффективности защитного заземления в сети с изолированной нейтралью до 1000 В.

2. Оценка эффективности защитного заземления в сети с изолированной нейтралью до 1000 В при двойном замыкании на заземленные корпуса электроустановок.

2.1. Принципиальная схема двойного замыкания на заземленные корпуса электроустановок.

2.2. Результаты измерений, представленные в виде табл. 3.3.

Таблица 3.3

Результаты измерений при двойном замыкании

Измеренные значения					Расчетные значения	
U_Φ , В	$\sqrt{3} U_\Phi$, В	$U_{\text{корп1}}$, В	$U_{\text{корп2}}$, В	I_3 , А	R_{31} , Ом	R_{32} , Ом

2.3. Результаты расчета сопротивлений заземлителей корпусов 1 и 2 по данным измерений.

2.4. Значение об эффективности защитного заземления при двойном замыкании по результатам измерений.

3. Оценка эффективности защитного заземления в сети с глухозаземленной нейтралью.

3.1. Принципиальная схема защитного заземления в сети с глухозаземленной нейтралью.

3.2. Результаты измерений, представленные в виде табл. 3.4.

Таблица 3.4

Результаты измерений при замыкании на заземленный корпус в сети с глухозаземленной нейтралью

Измеренные значения				Расчетные значения	
U_Φ , В	U_0 , В	$U_{\text{корп}}$, В	I_3 , А	R_{31} , Ом	R_{32} , Ом

Контрольные вопросы и задачи

1. Укажите назначение и область применения защитного заземления.

2. Как определить ток, протекающий через человека в случае прикосновения к заземленному корпусу (система IT), оказавшемуся под напряжением?

3. Как вычисляется сопротивление заземляющего устройства на основании результатов измерений данной лабораторной работы?

4. Как вычисляется ток замыкания на землю:

а) в сети с изолированной нейтралью;

б) в сети с изолированной нейтралью при двойном замыкании;

в) в сети с заземленной нейтралью?

5. Почему неэффективно применение защитного заземления в сети с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В?

6. В сети (см. рис. 3.1) сопротивления изоляции и емкости проводников относительно земли равны: $r_1 = r_2 = r_3 = r = 10 \text{ кОм}$; $C_1 = C_2 = C_3 = 0$. Один из фазных проводников сети замкнулся на корпус, которого касается человек. Сопротивление человека $R_h = 1000 \text{ Ом}$, фазное напряжение $U_\phi = 220 \text{ В}$. Определите ток, проходящий через человека. Во сколько раз уменьшится этот ток, если корпус электроустановки заземлить, а сопротивление защитного заземления будет равно: а) 2 Ом, б) 4 Ом; в) 8 Ом; г) 10 Ом?

7. При одновременном замыкании двух фазных проводников на корпуса двух электроустановок (рис. 3.3) человек прикоснулся к корпусу второй электроустановки. Параметры сети: $U_\phi = 220 \text{ В}$, $r_1 = r_2 = r_3 = 30 \text{ кОм}$, $C_1 = C_2 = C_3 = 0$. Определить ток, проходящий через человека, если значения сопротивлений заземлителей r_{31} и r_{32} соответственно равны: а) 4 Ом и 4 Ом; б) 8 Ом и 4 Ом; в) 4 Ом и 10 Ом; г) 10 Ом и 10 Ом.

8. В сети (см. рис. 3.4) произошло замыкание одного из фазных проводов на корпус электроустановки, которого касается человек. Сопротивление человека $R_h = 1000 \text{ Ом}$. Параметры сети: $r_0 = 4 \text{ Ом}$, $r_1 = r_2 = r_3 = 10 \text{ кОм}$; $c_1 = c_2 = c_3 = 0$, $U_\phi = 220 \text{ В}$. Определите ток, проходящий через человека I_h , если сопротивление заземления корпуса r_3 равно: а) 2 Ом; б) 4 Ом; в) 8 Ом; г) 10 Ом.

Библиографический список

Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Знак, 2000. С. 179—196.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЗАНУЛЕНИЯ

Цель работы

Оценка эффективности системы зануления в трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

Содержание работы

1. Оценка эффективности системы зануления в сети без повторного заземления нулевого защитного проводника.
2. Оценка эффективности системы зануления в сети с повторным заземлением нулевого защитного проводника.
3. Оценка эффективности повторного заземления при обрыве нулевого защитного проводника.

Зануление

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) *защитное зануление* (далее зануление) в электроустановках напряжением до 1 кВ — это преднамеренные соединения открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

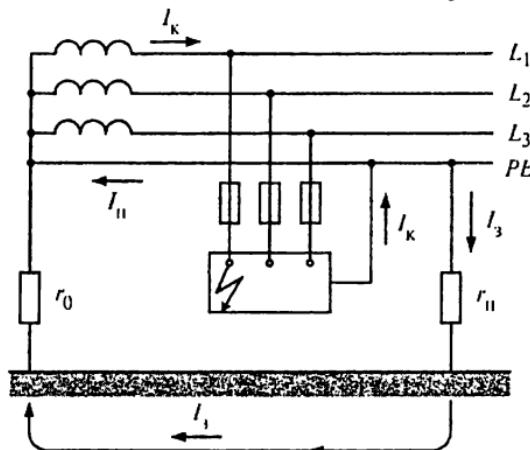


Рис. 4.1. Принципиальная схема зануления

Иными словами, зануление называется преднамеренное электрическое соединение нетоковедущих металлических частей электроустановки, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания фазы на корпус (повреждения изоляции), с заземленной нейтральной точкой обмотки источника тока. Это соединение осуществляется с помощью нулевого защитного проводника (*PE*-проводника).

Наиболее широкая область применения зануления — трехфазные четырехпроводные сети напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью и системой заземления *TN* (см. приложение, с. 175).

Принципиальная схема зануления показана на рис. 4.1.

Принцип действия зануления — превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание (КЗ) (т.е. КЗ между фазным и нулевым защитным проводниками) с целью вызвать ток короткого замыкания I_k , способный обеспечить срабатывание максимальной токовой защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную электроустановку от питающей сети.

В качестве такой защиты используются плавкие предохранители или автоматические выключатели, устанавливаемые в цепи питания электроустановок.

Эквивалентная схема зануления представлена на рис. 4.2. На этой схеме применяются следующие обозначения: Z_t , Z_ϕ , Z_n — полные сопротивления трансформатора, фазного и нулевого защитного проводников; X_n — внешнее индуктивное сопротивление петли фаза—нуль.

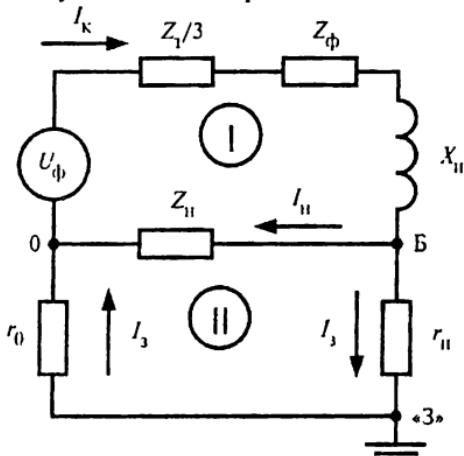


Рис. 4.2. Эквивалентная схема замещения сети:

I — контур протекания тока короткого замыкания I_k ; II — контур протекания тока замыкания на землю I_3 через повторный заземлитель r_n и заземлитель нейтрали r_0

В целях упрощения схемы сопротивлениями Z_t , X_ϕ , X_h , X_n можно пренебречь. В дальнейшем при рассмотрении теоретической части и примеров расчета принимаем, что фазный и нулевой защитный проводники обладают лишь активными сопротивлениями R_ϕ , R_h .

В период с момента возникновения замыкания на корпус и до отключения поврежденной электроустановки все зануленные корпуса оказываются под напряжением относительно земли. Безопасность обеспечивается достаточно быстрым отключением поврежденной электроустановки с тем, чтобы при данной длительности воздействия ток через человека и напряжение прикосновения не превысили допустимых значений (табл. 4.1). Кроме того, в указанный период напряжение корпуса относительно земли снижается благодаря наличию повторного заземления нулевого защитного проводника (НЗП).

Таблица 4.1

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения $U_{\text{пр}}$ и токов I_h при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1000 В (ГОСТ 12.1.038—82)

Параметр	Время действия тока, с											
	0,01÷0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	Более 1
$U_{\text{пр}}, \text{В}$	550	340	160	135	120	105	95	85	75	70	60	20
I_h, mA	650	400	190	160	140	125	105	90	75	65	50	6

Если повторное заземление НЗП (т.е. PE -проводника) отсутствует, то при замыкании одного из фазных проводников на корпус второй электроустановки (рис. 4.3) напряжение этого корпуса относительно земли U_{32} , В, так же, как и всего участка нулевого защитного проводника за местом замыкания (вправо от точки Б), будет равно падению напряжения U_h в нулевом защитном проводнике на участке 0Б:

$$U_{32} = U_{0B} = I_k R_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_\phi} R_h = \frac{U_\phi}{1 + \frac{R_\phi}{R_h}}, \quad 4.1$$

где I_k — ток короткого замыкания, проходящий по петле фаза—нуль, А; U_ϕ — фазное напряжение сети, В.

Из формулы (4.1) видно, что при увеличении сопротивления НЗП напряжение на корпусе возрастает. На практике сечение НЗП выбирается в зависимости от сечения фазного проводника. При сечениях фазного проводника выше 35 мм², сечение НЗП может выбираться в 2 раза меньше сечения фазного проводника.

Тогда согласно формуле (4.1) $R_H \leq 2R_\Phi$, а $U_{32} \leq \frac{2}{3}U_\Phi$. Например, в сети с напряжением 380/220 В при $R_H = 2R_\Phi$ напряжение относительно земли всех зануленных корпусов электроустановок за местом замыкания составит $U_3 = 147$ В. При времени действия электрического тока более 0,3—0,4 с это напряжение создает реальную опасность поражения людей (см. табл. 4.1).

Если же нулевой защитный проводник будет иметь повторное заземление с сопротивлением r_n , то при замыкании фазного проводника на корпус электроустановки напряжение U_{32} снизится до значения

$$U'_{32} = I_3 r_n = \frac{U_{0B}}{r_n + r_0} r_n,$$

где I_3 — ток, стекающий в землю через сопротивление r_n , А; r_0 — сопротивление заземления нейтрали, Ом.

При этом нейтральная точка приобретает некоторое напряжение относительно земли U_0 , равное

$$U_0 = \frac{U_{0B}}{r_n + r_0} r_0.$$

В данном случае напряжение U_{0B} вычисляется по формуле $U_{0B} = I_H R_H$, где I_H — ток, протекающий по НЗП, А. Этот ток является частью тока I_k , другая часть которого I_3 протекает через землю. Учитывая, что $(r_0 + r_n)$ значительно больше R_H , и, следовательно, $I_3 \ll I_H$, принимаем, что $I_H = I_k$; тогда $U_{0B} = I_k R_H$.

На рис. 4.3 показано распределение напряжения нулевого защитного проводника по его длине L в сети без повторного заземления I и с повторным его заземлением II при $r_0 = r_n$. Графики распределения напряжения вдоль НЗП при замыкании фазы на какой-либо из зануленных корпусов позволяют определять напряжения относительно земли всех электроустановок, входящих в данную систему зануления, если известна длина нулевого защитного проводника до точки подключения корпуса, например т. А и Б.

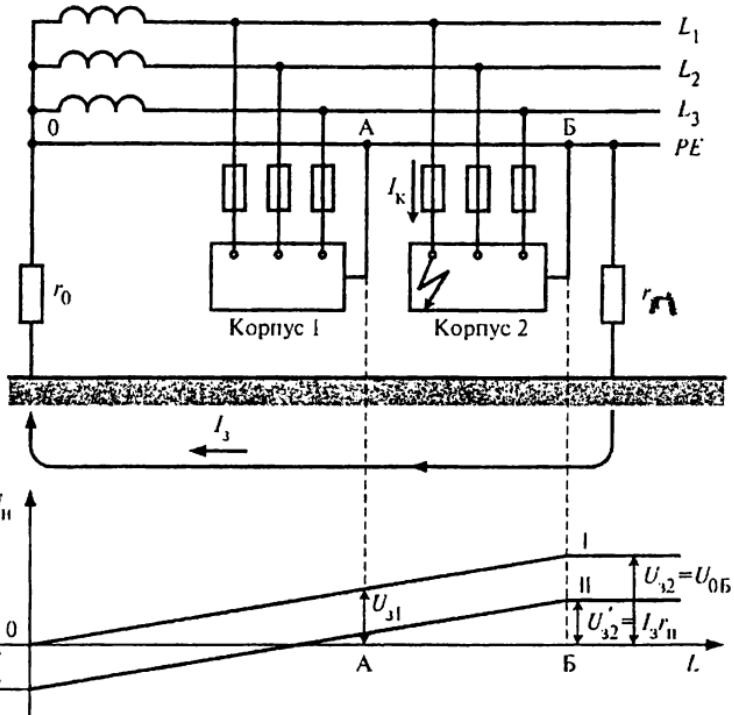


Рис. 4.3. Распределение напряжения нулевого защитного проводника относительно земли по его длине при замыкании фазы на корпус:
I — без повторного заземления; II — с повторным заземлением

Сдвиг напряжения U_0 относительно нуля, изображенный на рис. 4.3, обусловлен направлением обхода контура II, показанного на рис. 4.2, при определении напряжений на R_0 и R_{π} относительно земли (точка «з»).

При случайном обрыве НЗП, не имеющего повторного заземления, и замыкании фазы на корпус за местом обрыва напряжение относительно земли оборванного участка нулевого проводника и всех присоединенных к нему корпусов, в том числе корпусов исправных электроустановок, окажется равным фазному напряжению сети. Это напряжение будет существовать длительно, поскольку поврежденная электроустановка автоматически не отключится и ее будет трудно обнаружить, чтобы отключить вручную.

Если же нулевой защитный проводник будет иметь повторное заземление, то при его обрыве, например, между корпусами 1 и 2 (рис. 4.4), через r_{π} будет стекать ток I_3 в землю, благодаря чему напряжение зануленного корпуса 2 и других корпусов, находящихся за местом обрыва, снизится до значения:

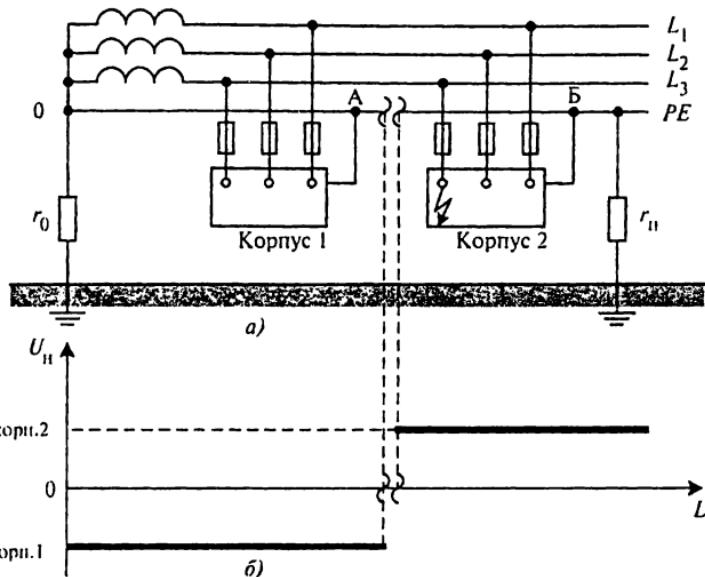


Рис. 4.4. Короткое замыкание фазы 3 на корпус электроустановки 3 с оборванным нулевым проводником:

а — принципиальная схема; *б* — распределение напряжения по нулевому проводнику до и после места обрыва

$$U_{32} = I_3 r_{\pi} = U_{\phi} \frac{r_{\pi}}{r_0 + r_{\pi}}.$$

Однако при этом корпуса электроустановок, присоединенных к нулевому защитному проводнику до места обрыва, приобретут напряжение относительно земли:

$$U_0 = I_3 r_0 = U_{\phi} \frac{r_0}{r_0 + r_{\pi}}.$$

Следовательно, повторное заземление нулевого защитного проводника уменьшает опасность поражения током, возникшую в результате его обрыва и замыкания фазного проводника на корпус электроустановки за местом обрыва, но не устраняет ее полностью.

В сети, где применяется зануление, нельзя заземлять корпус электроустановки, не присоединив его к нулевому защитному проводнику. В то же время одновременное зануление и заземление одного и того же корпуса, а точнее заземление зануленного корпуса, не только не опасно, а, наоборот, улучшает условия безопасности.

Применяемое оборудование

Лицевая панель стенда представлена на рис. 4.5. В работе моделируется сеть с глухозаземленной нейтралью и системой заземления TN-S.

Подключение потребительской сети к трансформатору осуществляется кнопкой «Вкл». Два электроприемника подключаются к сети через автоматические выключатели A_{B_1} и A_{B_2} (в дальнейшем автоматы).

При включении автоматов загорается зеленый светодиод, при отключении — красный. Нажатием кнопок B_1 и B_2 автоматы вводятся в рабочее состояние. Замыкание фазного проводника на корпус электроприемника осуществляется кнопками K_1 и K_3 . При этом амперметром фиксируется ток короткого замыкания, а электронным секундомером — время срабатывания автоматической защиты.

Для повторного заземления нулевого проводника используется кнопка K_2 . Сопротивление повторного заземления устанавливается кнопкой K_4 . Схема позволяет также моделировать обрыв нулевого проводника между двумя электроприемниками. Ток, стекающий в землю через повторный заземлитель, фиксируется амперметром.

Для измерения напряжений служат вольтметры: U_0 — напряжение сети относительно земли; U_1 и U_2 — напряжения корпусов электроприемников относительно земли; U_{π} — напряжение на повторном заземлителе.

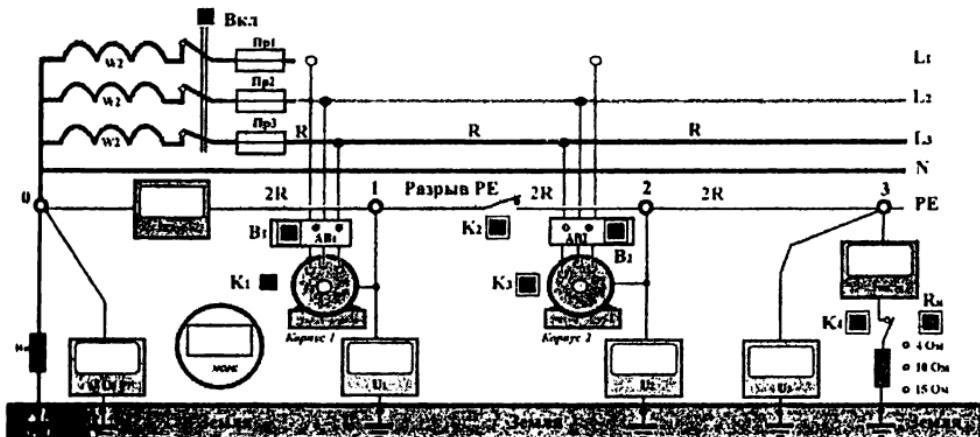


Рис. 4.5. Лицевая панель стенда

От момента короткого замыкания до «обнуления» показаний приборов проходит 30 секунд.

Указания по технике безопасности

1. Перед выполнением данной работы необходимо ознакомиться с инструкцией по технике безопасности.
2. Запрещается оставлять без надзора включенный стенд.
3. При обнаружении в стенде какой-либо неисправности необходимо прекратить работу, отключить стенд и сообщить о случившемся преподавателю.

Порядок проведения работы

1. Оценка эффективности системы зануления в сети без повторного заземления нулевого защитного проводника.
 - 1.1. Подготовьте табл. 4.2 для записи результатов измерений.
 - 1.2. Включите автоматы защиты (нажатием кнопок B_1 и B_2).
 - 1.3. Нажатием на кнопку K_4 отключите повторное заземление R_n от нулевого проводника.
 - 1.4. Нажатием кнопки K_1 замкните фазный проводник на корпус первой электроустановки.
 - 1.5. Определите время срабатывания $t_{\text{заш}}$ автоматов защиты, ток короткого замыкания I_k и напряжения U_0, U_1, U_2, U_3 .
 - 1.6. Полученные данные занесите в табл. 4.2.
 - 1.7. Аналогично произведите замыкание фазного проводника на корпус второй электроустановки (нажатием на кнопку K_3).
 - 1.8. Определите время срабатывания $t_{\text{заш}}$ автоматов защиты, ток короткого замыкания I_k и напряжения U_0, U_1, U_2, U_3 .
 - 1.9. Результаты измерений занесите в табл. 4.2.
 - 1.10. По табл. 4.1 определите предельно допустимые напряжения прикосновения.
2. Оценка эффективности системы зануления в сети с повторным заземлением нулевого защитного проводника.
 - 2.1. Подготовьте табл. 4.3 для записи результатов измерений.
 - 2.2. Включите стенд.
 - 2.3. Включите повторное заземление нулевого защитного проводника (нажатием на кнопку K_4) и установите его значение (нажатием на кнопку R_n). Измерения проводите при значениях R_n , равных 4,10 и 15 Ом.

Таблица 4.2

Характеристики занулления без повторного заземления нулевого защитного проводника

Наличие повторного заземления НЗП	Замыкание на корпус	Время срабатывания защиты $t_{\text{заш.}}$, мс	Ток короткого замыкания I_k , А	Напряжение относительно земли			Предельно допустимое напряжение прикоснувания $U_{\text{пр.доп.}} \text{ В}$ (по ГОСТ 12.1.038—82, см. табл. 4.1)
				нейтральной точки источника U_0 , В	корпусов U_1 , В	точка нулевого проводника, находящаяся за вторым корпусом, U_3 , В	
Без повторного заземления	Корпус 1						
	Корпус 2						

Таблица 4.3

Характеристики занулления с повторным заземлением нулевого защитного проводника

Сопротивление повторного заземления НЗП	Замыкание на корпус	Время срабатывания защиты $t_{\text{заш.}}$, с	Ток короткого замыкания I_k , А	Напряжение относительно земли			Ток замыкания на землю, I_3 , А
				нейтральной точки источника U_0 , В	корпусов U_1 , В	точка нулевого проводника, находящаяся за вторым корпусом, U_3 , В	
$R_n = 4 \text{ Ом}$	Корпус 1						
	Корпус 2						
$R_n = 10 \text{ Ом}$	Корпус 1						
	Корпус 2						
$R_n = 15 \text{ Ом}$	Корпус 1						
	Корпус 2						

2.4. Определите время срабатывания автоматов защиты $t_{\text{заш}}$, ток короткого замыкания I_k , ток замыкания на землю I_3 и напряжения U_0 , U_1 , U_2 , U_3) при замыкании фазного проводника на корпуса, для чего:

а) включите автоматы АВ₁ и АВ₂;

б) произведите замыкание фазного проводника на корпус первой электроустановки кнопкой К₁;

в) запишите показания приборов и полученные данные занесите в табл. 4.3;

г) произведите замыкание фазного проводника на корпус второй электроустановки кнопкой К₃;

д) запишите показания приборов и данные занесите в табл. 4.3.

2.5. Отключите стенд.

3. Оценка эффективности повторного заземления при обрыве нулевого защитного проводника.

3.1. Включите стенд.

3.2. Отключите повторное заземление R_p от нулевого защитного проводника (нажатием кнопки К₄).

3.3. Смоделируйте обрыв нулевого защитного проводника между корпусами первой и второй электроустановок нажатием кнопки К₂.

3.4. Включите автоматы АВ₁ и АВ₂.

3.5. Произведите замыкание фазного проводника на корпус первой электроустановки нажатием кнопки К₁.

3.6. Измерьте напряжения U_0 , U_1 , U_2 , U_3 и ток I_3 .

3.7. Данные занесите в табл. 4.4.

3.8. Включите автоматы АВ₁ и АВ₂.

3.9. Произведите замыкание фазного проводника на корпус второй электроустановки нажатием кнопки К₃.

3.10. Измерьте напряжения U_0 , U_1 , U_2 , U_3 и ток I_3 .

3.11. Данные занесите в табл. 4.4.

3.12. Включите повторное заземление R_p нулевого защитного проводника (нажатием кнопки К₄).

3.13. Установите нажатием кнопки R_p величину повторного заземления. Измерения проводите при значениях R_p , равных 4, 10 и 15 Ом.

3.14. Повторите выполнение пп. 3.11.

3.15. Отключите стенд.

Таблица 4.4

Характеристики зануления при обрыве нулевого защитного проводника

Наличие по-вторного за-земления и сто-сопротивление	Замыкание на корпус	Время срабаты-зования защиты, $t_{\text{заш.}} \text{ с}$	Ток корот-кого замы-кания, $I_k \text{ A}$	Напряжение относительно земли			Ток замыкания на землю, $I_3 \text{ A}$
				нейтральной точки источника, $U_0 \text{ В}$	корпусов до обрыва $U_1, \text{ В}$	точка нулевого про-водника, находящаяся за вторым корпуксом, $U_3, \text{ В}$	
Без повторного заземления НЗП	Корпус 1						
	Корпус 2						
$R_n = 4 \text{ Ом}$	Корпус 1						
	Корпус 2						
$R_n = 10 \text{ Ом}$	Корпус 1						
	Корпус 2						
$R_n = 15 \text{ Ом}$	Корпус 1						
	Корпус 2						

Содержание отчета

1. Принципиальная схема зануления двух электроустанововок с повторным заземлением нулевого защитного проводника.
2. Результаты измерения, представленные в виде табл. 4.2.
3. Результаты измерения, представленные в виде табл. 4.3.
4. Результаты измерения, представленные в виде табл. 4.4.
5. Графики распределения напряжения нулевого защитного проводника относительно земли по его длине при замыкании на корпус 1 и корпус 2 при отсутствии повторного заземления (см. рис. 4.3 зависимость I), при наличии повторного заземления (см. рис. 4.3 зависимость II).
6. Графики распределения напряжения нулевого проводника относительно земли по его длине при обрыве нулевого проводника и замыкании фазы на второй корпус при отсутствии повторного заземления и при его наличии.
7. Заключение об опасности прикосновения человека к корпусам электроустановок по результатам измерений.
8. Заключение об эффективности применения повторного заземления нулевого защитного проводника.

Контрольные вопросы и задачи

1. Объясните принцип защитного действия зануления и укажите область его применения.
2. В чем проявляется защитное действие повторного заземления нулевого защитного проводника при нормальном режиме работы сети?
3. Как распределяется напряжение по длине нулевого защитного проводника при замыкании фазного проводника на зануленный корпус электроустановки?
4. От каких величин зависит значение тока короткого замыкания в схеме зануления при замыкании фазного проводника на корпус электроустановки?
5. Под каким напряжением относительно земли оказывается зануленный корпус электроустановки при замыкании на него фазного проводника в системе зануления без повторного заземления нулевого защитного проводника.
6. В сети $TN-C$ произошло замыкание одного из фазных проводников на корпус второй электроустановки. Повторное заземление нулевого защитного проводника отсутствует (т.е. $r_p = \infty$). Человек касается корпуса первой электроустановки. Сопротивление человека $R_h = 1000 \text{ Ом}$, сопротивление заземления нейтрали $r_0 = 4 \text{ Ом}$, сопротивление фазного проводника до точки подсоединения корпуса 2 к нулевому защитному проводнику $R_\Phi = 0,1 \text{ Ом}$, сопротивления нулевого защитного проводника между точками 0 и А, 0 и Б, равные: $R_{0A} = 0,1 \text{ Ом}$; $R_{0B} =$

0,2 Ом. Фазное напряжение $U_\phi = 220$ В. Определите ток I_h , протекающий через тело человека.

7. В сети $TN\text{-}C$ произошло замыкание одного из фазных проводников на корпус второй электроустановки. Человек касается корпуса этой же электроустановки. Параметры сети те же, что в п. 6: определите ток, протекающий через тело человека I_h , если значение сопротивления повторного заземления r_Π : а) 4 Ом; б) 20 Ом; в) 8 Ом; г) 60 Ом.

8. В сети $TN\text{-}C$ произошел обрыв нулевого защитного проводника между корпусами 1 и 2. Один из фазных проводников замкнулся на корпус второй электроустановки, в это время человек касается первого корпуса. Параметры сети те же, что и в п. 6. Определите ток, протекающий через тело человека I_h , если значение r_Π равно: а) 4 Ом; б) 16 Ом; в) 46 Ом; г) 60 Ом.

9. Какую часть от фазного напряжения будет составлять напряжение корпуса (см. рис. 4.3) относительно земли, если соотношения между r_Φ/r_Π и r_0/r_Π будут иметь следующие значения соответственно:

- а) 1 и 1; б) 0,5 и 1; в) 0,5 и 2?

Библиографический список

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Знак, 2000. 440 с. (С. 216—248).
2. Монахов А.Ф. Защитные меры электробезопасности в электроустановках. М.: Изд-во «Энергосервис», 2006. С. 50—74.

ОКАЗАНИЕ ПЕРВОЙ ДОВРАЧЕБНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ ЧЕЛОВЕКУ, ПОРАЖЕННОМУ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ (ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ)

Цель работы

Научиться быстро и квалифицированно оказывать первую доврачебную медицинскую помощь человеку, пораженному электрическим током. Приобрести практические навыка в оценке состояния пострадавшего и в проведении искусственного дыхания и закрытого массажа сердца.

Содержание работы

1. Оценка состояния пострадавшего.
2. Отработка приемов искусственного дыхания на манекене способом «изо рта в рот».
3. Отработка приемов закрытого массажа сердца на манекене.

Первая помощь пострадавшему от электрического тока

Первая помощь пострадавшему от электрического тока состоит из двух этапов: освобождение пострадавшего от действия тока и оказание ему первой доврачебной медицинской помощи.

Освобождение пострадавшего от действия тока. Если человек, пораженный током, соприкасается с токоведущими частями, необходимо быстро освободить его от действия тока, принимая одновременно меры предосторожности, чтобы самому не оказаться в контакте с токоведущими частями или с телом пострадавшего, а также под напряжением шага.

Лучше всего отключить установку, а если это невозможно, надо (в установках до 1000 В) перерубить провода топором с деревянной рукояткой либо перекусить их инструментом с изолированными рукоятками. Для отключения воздушной линии электропередачи можно вызвать ее короткое замыкание, набросив провод без изоляции.

Пострадавшего можно отянуть от токоведущей части, взявшиесь за его одежду, если она сухая и отстает от тела. При этом нельзя касаться тела пострадавшего, его обуви, сырой одежда и т.п.

При необходимости прикоснуться к телу пострадавшего оказывающий помощь должен изолировать свои руки, надев диэлектрический перчатки. При отсутствии диэлектрических перчаток надо обмотать руки шарфом, надеть на руки шапку.

Вместо изоляции рук можно изолировать себя от земли, надев на ноги резиновые галоши либо встав на резиновый коврик, доску и т.п.

Если пострадавший очень сильно сжимает руками провода, надо одеть диэлектрические перчатки и разжать его руки, отгибая каждый палец в отдельности.

Если пострадавший находится на высоте, отключение установки может вызвать его падение. В этом случае необходимо принять меры, обеспечивающие безопасность падения пострадавшего.

Определение состояния пострадавшего. Для определения состояния пострадавшего необходимо уложить его на спину и проверить наличие сознания, при отсутствии которого проверить наличие пульса и дыхания.

Проверка пульса осуществляется на лучевой артерии примерно у основания большого пальца руки. Если на лучевой артерии пульс не обнаруживается, следует проверить его на сонной артерии на шее с правой и левой сторон на выступа щитовидного хряща — адамова яблока. Об отсутствии кровообращения в организме можно судить и по состоянию глазного зрачка, который расширяется через минуту после остановки сердца. Наличие дыхания у пострадавшего определяется на глаз по подъему и опусканию грудной клетки.

Проверка состояния пострадавшего должна производиться быстро в течение не более 15—20 секунд.

Оказание первой доврачебной медицинской помощи

Первая до-врачебная медицинская помощь пострадавшему оказывается немедленно, после освобождения его от действия тока здесь же на месте.

Если пострадавший в сознании, но до этого продолжительное время находился под током (I степень электрического удара), то необходимо уложить его на подстилку, немедленно вызвать врача, а до его прибытия обеспечить полный покой, ведя непрерывный контроль дыхания и пульса. Если вызвать врача быстро невозможно, надо срочно доставить его в лечебное учреждение, так как отрицательное воздействие электрического тока может проявиться не сразу, а спустя минуты, часы и даже дни.

Если пострадавший в бессознательном состоянии, но с сохранившимся устойчивым дыханием и пульсом (II степень), то его нужно уложить на подстилку, расстегнуть одежду, обеспечить приток свежего воздуха, поднести к носу смоченную в нашатырном спирте вату, обрызгать лицо холодной водой, растереть и согреть тело. Немедленно вызвать врача.

Если пострадавший без сознания, плохо дышит — редко, судорожно, с всхлипыванием, неритмично, а сердце нормально работает (III степень), необходимо делать искусственное дыхание.

При отсутствии признаков жизни, дыхания и пульса, болевые раздражения не вызывают никакой реакции, т.е. наступило состояние клинической смерти (IV степень). Через 5—7 минут после остановки сердца из-за недостатка кислорода начинается распад клеток головного мозга и клиническая смерть переходит в биологическую. В этом случае надо немедленно приступить к оживлению, т.е. к искусственному дыханию и закрытому массажу сердца. СЛЕДУЕТ ПОМНИТЬ! Никогда не отказывать в помощи пострадавшему, у которого остановилось дыхание и сердцебиение. Констатировать смерть имеет право только врач.

Искусственное дыхание

Назначение — обеспечить насыщение крови пострадавшего кислородом, удаление из нее углекислого газа, восстановление самостоятельного дыхания за счет механического раздражения нервных окончаний легких поступающим воздухом.

Способы искусственного дыхания — аппаратные и ручные. Ручные способы можно применять немедленно по возникновении нарушений дыхания, в то же время они значительно менее эффективны и более трудоемки, чем аппаратные.

Можно делать искусственное дыхание способами «изо рта в рот» или «изо рта в нос», при этом оказывающий помощь вдувает воздух из своих легких в легкие пострадавшего через его рот или нос. Способ «изо рта в рот» может быть применен при многих несчастных случаях — при удушении, отравлении, принятии слишком больших доз лекарств, травмах головы, при несчастном случае на воде. Способ «изо рта в рот» эффективнее других ручных способов:

а) достаточно большой объем вдуваемого в легкие воздуха (1000—1500 мл);

б) простой контроль за поступлением воздуха в легкие пострадавшего (по расширению грудной клетки и ее опусканию).

Недостаток этого способа — возможность взаимного заражения и чувства брезгливости у оказывающих помощь, поэтому вдувание проводят через носовой платок, марлю, через специальную трубку.

Подготовка пострадавшего к искусственному дыханию

1. Пострадавшего уложите на спину, на ровную горизонтальную поверхность.

2. Освободите от стесняющей дыхание одежды — расстегните ворот, ремень, развязжите галстук и т.п.

3. Максимально запрокиньте голову пострадавшего, для чего положите одну свою руку ему под шею, а другую — на лоб, нажмите на лоб, придерживая шею, при этом откроется рот и язык освободит горталь (рис. 5.1 и 5.2).

4. Быстро очистите рот от слизи, крови, инородных тел, удалите их пальцем, обернутым носовым платком или марлей, выньте съемные зубные протезы.

Выполнение искусственного дыхания

По окончании подготовительных операций зажмите ноздри пострадавшего щекой или пальцами, сделаете 2—3 глубоких вдоха. Глубоко вдохните и, охватив губами его рот, сделайте с силой вдувание (рис. 5.3 и 5.4). Если открыть рот пострадавшему не удалось, можно проводить дыхание «изо рта в нос», т.е. вдувать ему воздух через нос, закрывая рот пострадавшего.

Контроль за поступлением воздуха осуществляется на глаз по расширению грудной клетки при каждом вдувании и ее опускании. При появлении у пострадавшего слабых вдохов следует искусственное дыхание по времени совместить с его дыханием.

Искусственное дыхание необходимо проводить до начала оказания помощи врачом или до восстановления глубокого ритмичного дыхания.

Закрытый (непрямой) массаж сердца

Назначение — искусственное поддержание кровообращения в организме пострадавшего и восстановление нормальных естественных сокращений сердца. Кровообращение доставляет кислород по всем органам и тканям организма. Следовательно, одновременно с массажем сердца должно производиться искусственное дыхание.

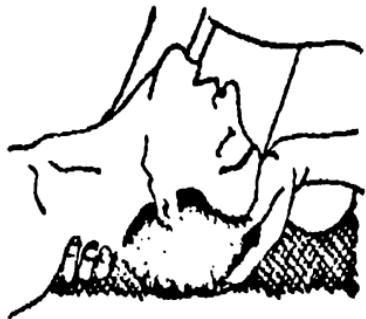


Рис. 5.1. Положение головы пострадавшего перед проведением искусственного дыхания



Рис. 5.2. Доступ воздуха открыт



5.3. Искусственное дыхание «изо рта в рот» — ноздри зажаты щекой



Рис. 5.4. Искусственное дыхание «изо рта в рот» — ноздри зажаты пальцами



Рис. 5.5. Определение места на груди для приложения ладони



Рис. 5.6. Правильное расположение рук при проведении наружного массажа

Подготовка к массажу сердца является одновременно и подготовкой к искусственному дыханию, так как она производится совместно. Ноги пострадавшего рекомендуется приподнять на 0,5 м для эффективности массажа.

При выполнении массажа сердца встаньте сбоку, займите такое положение, при котором возможен более или менее значительный наклон

над ним. Нажатие делается на нижнюю треть грудины. Грудине — это кость передней части скелета, соединяющая ребра. Наложите на нее ладонь одной руки, а ладонь другой — на тыльную поверхность первой. Надавливание на грудину следует проводить основанием ладони, а не всей ладонью, высоко приподняв пальцы рук, чтобы они не касались грудной клетки пострадавшего. Надавливайте быстрым толчком изо всех сил, чтобы сместить нижнюю часть грудины вниз (рис. 5.5, 5.6). Надавливание на грудину производите с частотой один раз в секунду, чтобы создать достаточный кровоток.

С большой осторожностью следует делать массаж людям пожилого возраста из-за опасности перелома ребер и грудины. Помните, что массаж сердца и искусственное дыхание производятся попеременно.

Контроль за правильностью закрытого массажа сердца осуществляется по прощупыванию пульса на сонной артерии пострадавшего, а также по сужению зрачков, появлению у пострадавшего самостоятельного дыхания, уменьшению синюшности кожи и видимых слизистых оболочек.

Длительное отсутствие пульса при появлении других признаков оживления служит признаком фибрилляции сердца. В этом случае необходимо продолжать оказание помощи до прибытия врача для доставки в лечебное учреждение. О восстановлении работы сердца судят по появлению у него собственного регулярного пульса.

Универсальная схема оказания первой помощи на месте происшествия

1. Если нет сознания и нет пульса на сонной артерии, приступить к реанимации.
2. Если нет сознания, но есть пульс на сонной артерии, повернуть на живот и очистить ротовую полость.
3. При артериальном кровотечении наложить жгут.
4. При наличии ран наложить повязки.
5. Если есть признаки переломов костей конечностей, наложить транспортные шины.

Последовательность реанимации при оказании доврачебной помощи пострадавшему

1. Убедитесь в отсутствие пульса на сонной артерии. Нельзя тратить время на определение признаков дыхания.
2. Освободите грудную клетку от одежды и расстегните поясной ремень. Нельзя наносить удар по грудине и проводить непрямой массаж сердца, не освободив грудную клетку и не расстегнув ремень.

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

4. Нанесите удар кулаком по грудине. Проверьте пульс, если пульса нет, перейдите к следующей позиции 5. Нельзя наносить удар при наличии пульса на сонной артерии.

5. Начать непрямой массаж сердца. Частота нажатия 50—80 раз в минуту. Глубина продавливания грудной клетки должна быть не менее 3—4 см. Нельзя располагать ладонь на груди так, чтобы большой палец был направлен на спасателя.

6. Сделать «вдох» искусственного дыхания. Нельзя делать «вдох» искусственного дыхания, не зажав предварительно нос пострадавшего.

7. Выполнайте комплекс реанимации.

Правила выполнения реанимации

- Если оказывает помощь один спасатель, то два «вдоха» искусственного дыхания делаются после 15 надавливаний на грудину.
- Если оказывает помощь группа спасателей, то два «вдоха» искусственного дыхания делаются после пяти надавливаний на грудину.
- Для быстрого возврата крови к сердцу следует приподнять ноги пострадавшего.
- Чтобы сохранить жизнь головного мозга, необходимо приложить холод к голове.
- Для удаления воздуха из желудка требуется повернуть пострадавшего на живот и надавить кулаками ниже пупка.

Если оказывающих помощь несколько, то рекомендуется следующая схема:

первый спасатель проводит непрямой массаж сердца, отдает команду «Вдох» и контролирует эффективность вдоха по подъему грудной клетки;

второй спасатель проводит искусственное дыхание, контролирует реакцию зрачков, пульс на сонной артерии и информирует партнеров о состоянии пострадавшего: «Есть реакция зрачков! Нет пульса! Есть пульс!» и т.п.;

третий спасатель приподнимает ноги пострадавшего для лучшего притока крови к сердцу и готовится к смене партнера, выполняя непрямой массаж сердца.

Реанимацию нельзя прекращать до появления пульса и самостоятельного дыхания или до начала оказания помощи врачом «Скорой помощи».

Применяемое оборудование

Работа выполняется на манекене-тренажере, предназначенном для обучения практическим навыкам проведения искусственного дыхания способом «изо рта в рот» и (непрямого) закрытого массажа сердца. Манекен снабжен пультом управления и сигнализации.

Указания по технике безопасности

1. Запрещается приступать к выполнению работы без преподавателя или лаборанта.
2. При обнаружении неисправности необходимо прекратить проведение работы и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.

Порядок выполнения работы

Искусственное дыхание способом «изо рта в рот»

1. На груди манекена, лежащего на спине, расстегните одежду и установите необходимость проведения дыхания по неподвижному состоянию грудной клетки.
2. Осмотрите полость рта в целях выявления и удаления инородных предметов, препятствующих проведению дыхания.
3. Голову манекена максимально запрокиньте назад, подкладывая одну руку под шею и надавливая другой на лоб (этим обеспечивается проходимость дыхательных путей).
4. Голову манекена поверните набок, при необходимости удалите инородные предметы.
5. Положите марлевую салфетку на рот манекена. Сделайте глубокий вдох и затем, плотно прижав свой рот ко рту манекена и зажав ему нос пальцами или своей щекой, произведите в него выдох (при этом грудная клетка манекена должна подниматься, а на пульте должна загораться сигнальная лампа «нормально»).

Вдувание воздуха производится каждые 5 секунд, что соответствует частоте дыхания 12 раз в минуту.

После каждого вдувания рот и нос пострадавшего освобождаются для свободного выхода воздуха из легких.

Наружный массаж сердца

1. Займите место слева или справа у груди манекена и определите место приложения усилий при массаже посредством прощупывания нижнего конца грудинь.
2. Наложите нижнюю часть ладони одной руки, а затем поверх первой руки положите под прямым углом вторую руку, сделайте на-

давливание на точку, находящуюся на расстоянии одной трети вверх от нижнего конца грудины.

3. Надавливание производите быстрым толчком, слегка помогая наклоном корпуса так, чтобы сместить нижнюю часть грудины вниз на 4 см. При этом на пульте загорается лампа «нормально». После толчка руки остаются в нижнем положении в течение приблизительно 0,5 с, после чего слегка выпрямите и расслабьте руки, не отнимая их от груди манекена.

При приложении усилия больше нормального на пульте загорается лампа «сильно».

5. Надавливание производится в такт с лампой «ритм сердца» (один раз в секунду).

Контрольные вопросы

1. Из каких этапов состоит первая помощь при поражении электрическим током?

2. Какие меры предосторожности надо соблюдать при освобождении пострадавшего от действия тока, чтобы самому не оказаться в контакте с токоведущими частями или с телом пострадавшего?

3. Что надо делать дальше после освобождения пострадавшего от действия тока?

4. Что необходимо делать и что проверить для определения состояния пострадавшего?

5. Как осуществляется проверка наличия кровообращения и дыхания в организме пострадавшего?

6. Какие возможны состояния организма человека при попадании под действие тока?

7. Каковы признаки клинической смерти?

8. Назначение искусственного дыхания. Какие способы искусственного дыхания вам известны и каковы их недостатки?

9. Как правильно делать закрытый массаж сердца?

10. По каким явлениям можно проверить правильность проведения искусственного дыхания, закрытого массажа сердца?

11. Если вы оказались один на один с пострадавшим, находящимся в состоянии клинической смерти, что будете делать, в какой последовательности и каком соотношении?

12. Если вы можете оказывать помощь вдвоем, что, в какой последовательности и до каких пор будете делать?

Библиографический список

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Знак, 2000. С. 15—20, 54—74.

2. Межотраслевая инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве. М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2001.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Цель работы

Ознакомление с вредным действием пыли на организм человека, требованиями санитарных и технологических норм для воздуха, рабочей зоны; изучение методов и приборов для измерения запыленности и дисперсного состава пыли в производственных помещениях, оценки, запыленности воздуха из условий пожаробезопасности.

Содержание работы

1. Измерение запыленности воздуха в камере весовым методом.
2. Измерение запыленности воздуха в камере счетным методом.
3. Сравнение полученных результатов с предельно допустимой концентрацией.

Промышленные пыли

Основные характеристики пыли

В воздухе рабочей зоны, т.е. пространстве высотой 2 м над уровнем пола или площадки, на которой находятся места постоянного или временного пребывания работающих, может содержаться пыль различного происхождения: частицы, выделяемые при выполнении технологических процессов; частицы, образующиеся в результате разрушения или изнашивания материалов; пыль и ворс технологической одежды; пыль, проникающая снаружи через неплотности оконных и дверных проемов и вносимая персоналом на одежду и обувь, на материалах и инструментах и т.п. Пыль, содержащаяся в воздухе рабочей зоны, относится к аэрозолям. Под аэрозолями, или аэродисперсионными системами, понимают мелкие частицы, находящиеся в твердой или жидкой фазе. В зависимости от химического состава вещества аэрозоли подразделяются на органические, неорганические, смешанные и биологические. Аэрозоли могут обладать различной дисперсностью ($d = 10^{-9}$ м до $d = 10^{-3}$ м). Этот параметр аэrozолей оказывает огромное влияние почти на все их свойства. В зависимости от размера частиц аэрозоли делятся на высокодисперсные ($d < 10^{-7}$ м), среднедисперсные ($10^{-7} \text{ м} < d < 10^{-6}$ м) и грубодисперсные ($d < 10^{-6}$ м).

Вредное воздействие пыли на организм человека зависит от количества вдыхаемой пыли, степени ее дисперсности, т.е. от размеров и формы пылинок, от химического состава пыли.

Размер аэрозольных частиц определяет их способность проникать в дыхательные пути и задерживаться там. Наибольшую опасность для легких человека представляют частицы размером 0,2—5 мкм. Частицы размером более 10 мкм осаждаются в дыхательных путях и практически не достигают альвеол легких. Более крупные пылинки задерживаются слизистой оболочкой верхних дыхательных путей, а более мелкие — выдыхаются. По форме наиболее опасные пылинки с острыми зазубренными краями и игольчатые (асбест, стекло, металлы и пр.) В гигиенической практике принято аэрозольные частицы в диапазоне до 10 мкм называть частицами преимущественно фиброгенного действия, так как именно они вызывают фиброзные заболевания легких (пневмокониозы). Пыль способна адсорбировать (поглощать) содержащиеся в воздухе пары и газы, в том числе ядовитые, вследствие чего неядовитая пыль может стать ядовитой. Например, угольная пыль и сажа могут адсорбировать оксид углерода.

Пыль может обладать электрическим зарядом, который облегчает осаждение ее в легких, т.е. увеличивает количество задерживающейся в организме пыли.

Способы снижения запыленности воздуха на производстве

1. Рационализация технологического процесса (отказ от применения пылящих материалов, обработка пылящих материалов во влажном состоянии и пр.).

2. Автоматизация и механизация процессов, сопровождающихся выделением пыли, исключающими контакт человека с источниками пыли.

3. Герметизация или изоляция пылящего оборудования.

4. Устройство местных вентиляционных отсосов, вытяжной или приточно-вытяжной вентиляции.

При работе в сильно запыленных помещениях надлежит пользоваться индивидуальными защитными средствами: респираторами (маска со специальными противопыльными фильтрами), кислородно-изолирующими приборами, устройствами, подающими свежий воздух для дыхания извне, а также противопыльными очками и спецодеждой.

При определенном содержании горючих пылей в воздухе могут образоваться взрывоопасные смеси.

Основным показателем для гигиенической оценки состояния воздуха рабочей зоны производственных помещений являются предельно допустимые концентрации (ПДК_{р.з}) вредных веществ, которые утверждаются Минздравом России. ПДК_{р.з} — это концентрация, которая при ежедневной, кроме выходных дней, работе в течение 8 ч или при другой продолжительности рабочего дня, но не более 41 ч в неделю в течение всего рабочего стажа, не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. При нормировании загрязняющих веществ учитывается экспозиция, т.е. время пребывания людей в зоне загрязнения, что связано с возможностью хронических и острых отравлений. На территории предприятия содержание примесей принимается равным 0,3 ПДК_{р.з}. Снижение нормы содержания примесей на территории предприятия втрое по сравнению с ПДК_{р.з} вызывается тем, что воздух территории предприятия используется для вентиляции производственных помещений, где концентрация примесей периодически может быть весьма высокой, т.е. превышать ПДК_{р.з}. Поэтому приточный воздух, используемый для проветривания рабочих помещений, должен быть значительно менее загрязненным.

Для концентрации вредных веществ в зоне проживания людей устанавливаются более жёсткие требования, т. е. значительно меньшие значения ПДК в атмосферном воздухе (ПДК_{а.в}).

ПДК_{а.в} — это максимальная концентрация примеси, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного влияния, включая отдаленные последствия, и на окружающую среду в целом.

Как видим, разница в определениях существенная: ПДК_{р.з} безвредна только для ограниченного пребывания человека в загрязненной зоне (8 часов и только в течение рабочего стажа), в то время как ПДК_{а.в} — не должна лимитировать состояние организма в течение всей жизни человека при неограниченном по времени вдыхании загрязняющего вещества.

Для оценки производственных условий концентрация вредных веществ измеряется в воздухе рабочей зоны и сравнивается с ПДК_{р.з}.

Погрешность в измерении объема отобранный пробы воздуха не должна превышать 10 %. При определении массы пыли в отобранный пробе допускается отклонение 10 %. Максимальная общая ошибка при определении содержания пыли в воздухе не должна превышать 25 %. ПДК некоторых аэрозолей приведены в табл. 6.1.

Предельно допустимые концентрации аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (ГОСТ 12.1.005—88)

Таблица 6.1

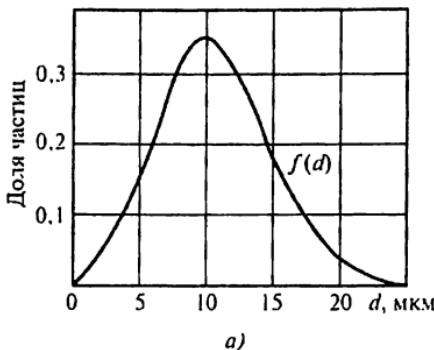
№	Вещества	ПДК, мг/м ³
1	Алюминий и его сплавы	2
2	Алюминия оксид	2
3	Барит	6
4	Бора карбид	6
5	Вольфрама силицид	6
6	Датолитовый концентрат	4
7	Доломит	6
8	Зерновая пыль	4
9	Зола горючих сланцев	4
10	Кремнеземосодержащие пыли: кремния диоксид с содержанием в пыли от 10 до 70 % кремния диоксид с содержанием в пыли от 2 до 10 %	2 4
11	Легированные стали и их смеси с алмазом до 5 %	6
12	Медно-никелевая руда	4
13	Пыль растительного и животного происхождения: с примесью диоксида кремния более 10 % с примесью диоксида кремния от 2 до 10 % с примесью диоксида кремния менее 2 %	2 4 6
14	Сажи черные промышленные	4
15	Титан и его двуокись	10
16	Чугун	6
17	Электрокорунд в смеси с легированными сталью	6

Различают следующие концентрации аэрозольных частиц:

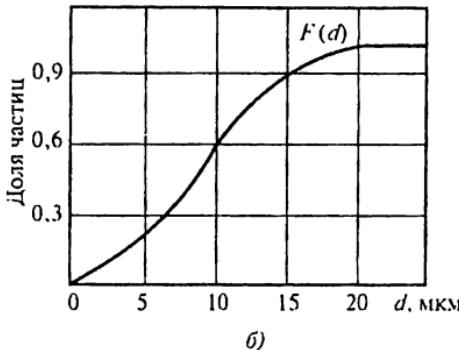
- массовая n_p — масса аэрозольных частиц в единице объема воздуха, измеряется в мг/м³;
- объемная n_V — объемная аэрозольных частиц в единице объема воздуха, измеряется в см³/м³; массовая концентрация равна объемной, умноженной на плотность материала ρ аэрозольных частиц;

$$n_p \equiv n_V \rho ;$$

- поверхностная n_S — суммарная поверхность аэрозольных частиц в единице объема воздуха, измеряется в м²/м³;
- счетная n_N — число аэрозольных частиц в единице объема воздуха (число частиц, содержащихся в одном литре воздуха).



а)



б)

Рис. 6.1. Дифференциальное (а) и интегральное (б) распределение частиц пыли по размерам

Большинство природных и искусственно получаемых аэрозолей обладают довольно значительной полидисперсностью (размеры частиц лежат в широком диапазоне). Для характеристики зависимости свойств аэрозолей от их дисперсности используются дифференциальные и интегральные функции распределения (рис. 6.1).

Дифференциальная кривая распределения выражает счетную долю частиц, радиусы (диаметры) которых заключены между d_1 и d_2 , а интегральная показывает, какая доля частиц имеет радиус или диаметр меньше заданного значения. Дифференциальные функции распределения частиц по размерам в большинстве случаев имеют один, ярко выраженный асимметричный максимум, с крутым спадом в сторону мелких и пологим — в сторону крупных частиц. В большинстве случаев это распределение сводится к логарифмически нормальному закону, для которого дифференциальная $f(d)$ и интегральная $F(d)$ функции распределения имеют вид:

$$f(d) = \frac{M}{d\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\lg d - \lg d_0}{2\sigma^2}\right);$$

$$f(d) = \frac{1}{d\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\lg d} \exp\left(-\frac{\lg d - \lg d_0}{2\sigma^2}\right) d \lg d,$$

где σ — среднеквадратичное отклонение логарифмов диаметров частиц; d_0 — среднегеометрический диаметр частиц; M — коэффициент перехода от натуральных логарифмов к десятичным, равный 0,4343.

Зная счетную концентрацию аэрозольных частиц, можно определить массовую концентрацию, $\text{мг}/\text{м}^3$, по формуле:

$$C = 5,23 \cdot 10^{-15} \rho \frac{n_1 d_1^3 + n_2 d_2^3 + \dots + n_n d_n^3}{V}, \quad (6.1)$$

где ρ — плотность аэрозольных частиц (для пыли, используемой в данной работе, $\rho = 300 \text{ кг/м}^3$); V — объем пробы, м^3 ($1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$, $1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ л}$); d — средний диаметр частицы, $\mu\text{м}$; n — число частиц определенного размера.

Для оценки безопасности технологических процессов с использованием пылеобразных веществ необходимо располагать количественными показателями их пожаровзрывоопасности. Пыли различной химической природы неодинаково ведут себя при горении, однако условия их зажигания, распространения пламени и условия подавления горения подчиняются одним и тем же закономерностям, поэтому оценку пожарной опасности проводят по одинаковым методикам. При оценке пожаровзрывоопасности взвешенной пыли определяют массу пыли, нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР), минимальную энергию зажигания, максимальное давление взрыва и скорость его нарастания, минимальное взрывоопасное содержание кислорода. НКПР — это минимальное содержание горючего в смеси «горючее вещество — кислородная среда», при котором возможно распространение пламени на любое расстояние от источника зажигания. На величину НКПР аэрозолей оказывает влияние форма и состояние поверхности частиц, их дисперсный состав и влажность. Влияние размера частиц на НКПР носит сложный характер: при увеличении среднего диаметра от 3—5 до 60—100 $\mu\text{м}$ НКПР снижается; дальнейшее увеличение диаметра приводит к повышению НКПР. При диаметре частиц 450—500 $\mu\text{м}$ аэрозоли становятся не взрывоопасными.

Для мелкодисперсного аэрозоля (диаметр частиц менее 10 $\mu\text{м}$) НКПР ($\text{г}/\text{м}^3$) можно выразить следующим образом: $\text{НКПР} = 0,41 M \phi_n$; для крупнодисперсного аэрозоля (размер 40—50 $\mu\text{м}$): $\text{НКПР} = 0,164 M \phi_n$, где M — молярная масса горючего; ϕ_n — нижний концентрационный предел распространения пламени, %. Увлажнение частиц аэрозолей приводит к повышению НКПР. Увеличение влагосодержания от 0 до 5 % повышает НКПР незначительно, от 5 до 10 % — существенно (в 2 и более раз), от 10 до 15 % — аэрозоли многих органических веществ перестают быть взрывоопасными. На концентрационные пределы распространения пламени влияет температура смеси. С повышением начальной температуры смеси концентрационные пре-

дели расширяются в результате снижения нижнего и повышения верхнего пределов. Это расширение описывается соотношением

$$\phi_{H_t} = \phi_{H25} {}^{\circ}\text{C} \left(1 - \frac{t - 25}{1250}\right),$$

где ϕ_{H_t} , $\phi_{H25} {}^{\circ}\text{C}$ — нижние концентрационные пределы распространения пламени при температуре t и $25 {}^{\circ}\text{C}$.

Методы измерения концентрации аэрозольных частиц

1. Методы, основанные на предварительном выделении частиц из дисперсной среды.

2. Методы непосредственного измерения частиц.

Основным преимуществом методов первой группы является возможность измерения массовой концентрации аэрозоля, недостатками — циклический характер измерения, длительность отбора проб при измерении малых концентраций и сложность измерения жидкой фракции.

Преимущество методов второй группы связано с возможностью непосредственных измерений в самой пылевоздушной среде и непрерывностью измерений, что позволяет автоматизировать процесс контроля запыленности вредными веществами.

В санитарно-гигиенической практике широкое распространение нашел метод с использованием аналитических аэрозольных фильтров (АФА). С помощью фильтров АФА проводится массовый, радиоспектрометрический, радиографический, радиохимический анализ аэрозолей.

Методика определения массовой концентрации частиц с помощью фильтров АФА включает следующие этапы: предварительную подготовку и взвешивание фильтра, отбор пробы, вычисление концентрации аэрозольных частиц.

Рассмотрим фотоэлектрический метод регистрации аэрозольных частиц. Частицы, попадая в освещенный рабочий объем, рассеивают свет. Интенсивность рассеянного света определяется размером частиц. В качестве приёмника света используется фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), на нагрузке которого возникает электрический импульс. Амплитуда импульса пропорциональна количеству рассеянного света, т.е. определяется размером частиц.

Таким образом, возможен анализ частиц по размерам. На рис. 6.2 изображена оптическая система счетчика.

Свет от источника 6 фокусируется с помощью объективов 7, 9 и диафрагмы 8 в луч диаметром 1 мм. Перпендикулярно этому лучу

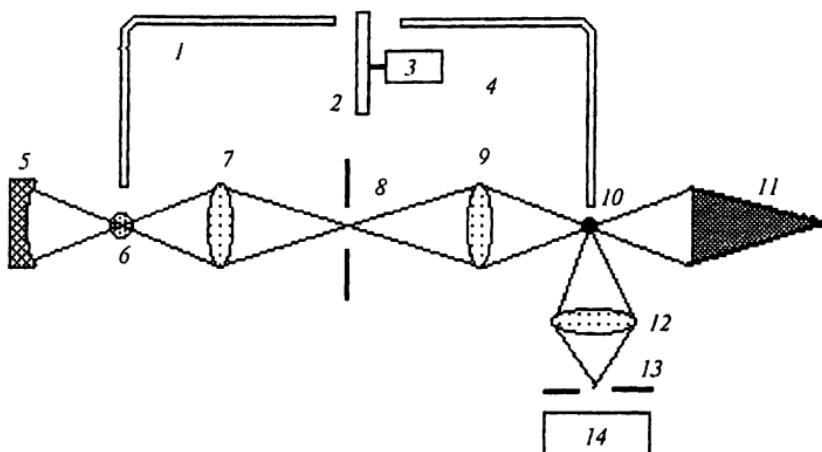


Рис. 6.2. Оптическая система счетчика:

1, 4 — световоды; 2 — модулятор; 3 — двигатель; 5 — рефлектор; 6 — источник света; 7, 9, 12 — объективы; 8, 13 — диафрагмы; 10 — частица; 11 — световая ловушка; 14 — фотозаделочный умножитель

поступает аэрозоль. Диаметр струи аэрозоля составляет 0,9 мм. Попадая в рабочий объем, каждая аэрозольная частица 10 дает импульс рассеянного света, который воспринимается фотокатодом фотоэлектронного умножителя 14, расположенным под углом 90 градусов к оси луча. Падающий луч, пройдя камеру, улавливается световой ловушкой 11, выполненной в виде конуса. Свет, рассеянный частицей при прохождении луча света, собирается объективом 12. Рабочий объем образуется при пересечении луча света и потока аэрозоля. Для уменьшения рабочего объема на фигуру пересечения накладывается изображение диафрагмы 13. Для увеличения освещенности в рабочем объеме используется рефлектор 5.

Применяемое оборудование

Требуется определить: массовую концентрацию в производственных помещениях, используя весовой метод; счетную концентрацию и фракционно-дисперсный состав частиц, а также выполнить расчеты по определению параметров закона распределения аэрозольных частиц по размерам, оценить значение концентрации респирабельной фракции; провести сравнение экспериментальных данных по чистоте воздуха в производственных помещениях с действующими санитарными и технологическими нормами.

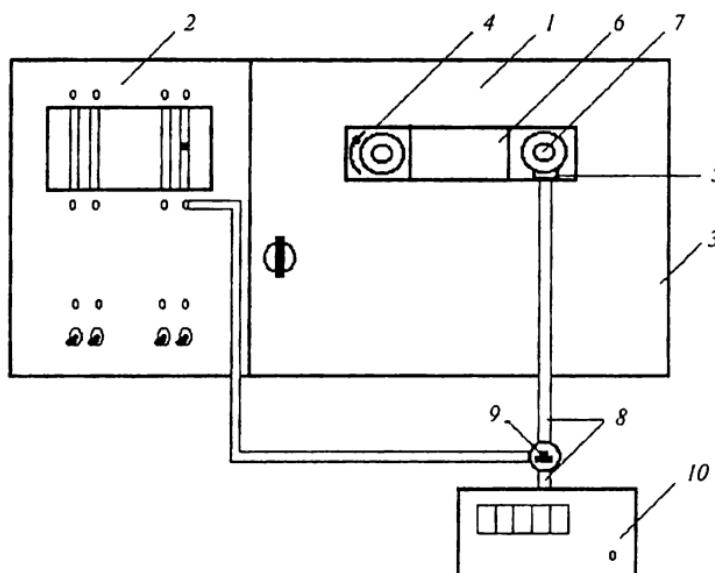


Рис. 6.3. Установка для определения массовой концентрации весовым методом:
 1 — пылевая камера; 2 — пульт управления; 3 — камера; 4 — бункер-дозатор; 5 — патрон с фильтром; 6 — дверца камеры; 7 — отверстие для забора воздуха; 8 — шланги; 9 — переключатель; 10 — измерительный прибор

Установка для определения массовой концентрации весовым и счтным методами состоит из пылевой камеры 1 и пульта управления 2 (рис. 6.3). Пылевая камера имитирует производственное помещение, в котором производится исследование воздуха. В камере может быть создана различная степень запыленности воздуха. На внутренней стороне откидной стены камеры 3 расположена бункер-дозатор 4 с пылью. При повороте ручки дозатора на одно деление в камеру вводится порция пыли. В камере расположен вентилятор, создающий в ней движение воздуха. На откидной стенке имеется смотровое окно, через которое можно визуально определить наличие пыли в камере. В рабочем положении патрон с фильтром 5 закрепляется в отверстии для забора воздуха 7. На пульт управления вынесены ручки регулировки аспиратора и вентилятора. Аспиратор — прибор для просасывания запыленного воздуха с определенной скоростью (л/мин) через патрон с фильтром.

Для определения счетной концентрации аэрозольных частиц и их дисперсного состава используем счетчик аэрозольных частиц. Счетчик регистрирует аэрозольные частицы в шести каналах по размерам: 2, 5, 10, 15, 20 и 25 мкм, а также общую концентрацию от 10^2 до $3 \cdot 10^5$ частиц в литре.

Указания по технике безопасности

- Строго соблюдать инструкцию по технике безопасности.
- Не выключать стенд без проверки его преподавателем.
- В случае неправильной работы отключить стенд.

Порядок выполнения работы

Измерение запыленности весовым методом.

1. Определите исходную массу фильтра с точностью до 1 мг, используя торсионные весы, изображенные на рис. 6.4 (инструкция по эксплуатации имеется также на стенде).

1.1. Перед началом работы ручка 9 должна находиться в положении «Z». Обратите внимание, что в этом положении коромысло весов зажато двумя пластинами—ограничителями.

1.2. При закрытой дверце 6 переведите ручку 9 в положение «0».

1.3. Ручкой 8 установите подвижную стрелку на «красную точку» (окружность).

1.4. Ручкой 7 установите подвижную стрелку на начало отсчета — нулевое значение шкалы.

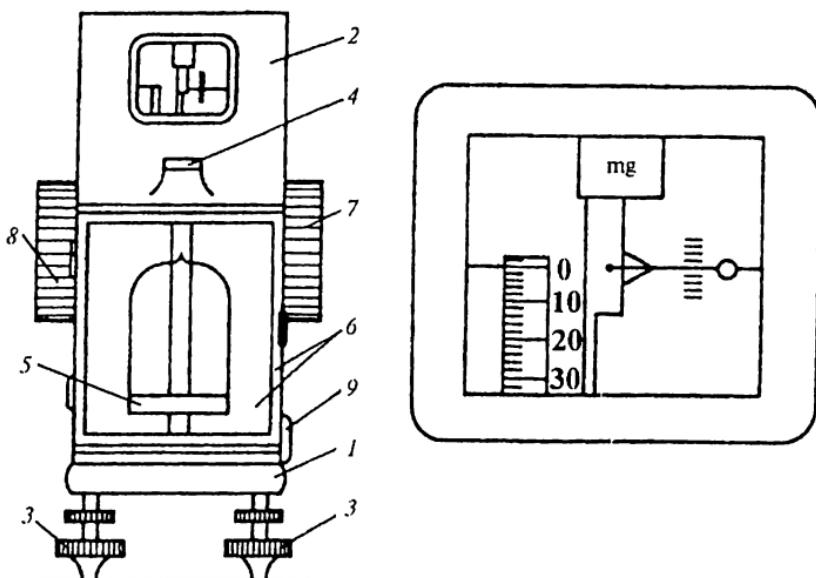


Рис. 6.4. Весы торсионные WT:

1 — основание; 2 — шкала; 3 — регулировочные винты; 4 — уровень горизонтального положения; 5 — держатель фильтра; 6 — дверца; 7—9 — ручки

1.5. Переведите ручку 9 в положение «Z». Коромысло весов должно быть зажато ограничителями.

1.6. Откройте дверцу 6 и осторожно вставьте взвешиваемый фильтр в держатель 5.

1.7. Закройте дверцу 6 и аккуратно переведите ручку 9 в положение «0».

1.8. Вращением ручки 8 от себя установите подвижную стрелку на «красную точку» (окружность).

1.9. Результат взвешивания определяется по положению неподвижной стрелки относительно подвижной шкалы.

1.10. После взвешивания ручку 9 переведите в положение «Z».

1.11. Ручкой 8 «на себя» приведите весы в исходное положение.

1.12. Снимите взвешиваемый фильтр.

2. Заложите фильтр в патрон и вставьте его в отверстие для забора воздуха.

3. Включите вентилятор и поворотом ручки бункера-дозатора введите порцию пыли.

4. Включите аспиратор и в течение 5—10 минут прокачайте запыленный воздух через патрон с фильтром, фиксируя по верхнему краю поплавка ротаметра скорость воздушного потока.

5. Отключите аспиратор и вентилятор.

6. Извлеките фильтр из патрона и произведите его повторное взвешивание (см. п.1).

7. Вычислите концентрацию пыли C (массу пыли в мг, содержащуюся в 1 м³ воздуха) в камере, имитирующей помещение, по формуле:

$$C = (P_2 - P_1)/(t V) \cdot 10^3,$$

где P_1 — начальная масса фильтра, мг; P_2 — масса фильтра после прохождения через него запыленного воздуха, мг; t — время прохождения запыленного воздуха через фильтр, мин; V — скорость прохождения воздуха через фильтр, л/мин.

Сравните вычисленное значение концентрации пыли с ПДК. Для двуокиси кремния с содержанием пыли в воздухе рабочей зоны до 10 % ПДК составляет 4 мг/м³.

Измерение запыленности счетным методом

8. Включите оптический прибор 10 (рис. 6.3), нажав кнопку «СЕТЬ». Выдержите счетчик включенным в течение 10 минут. Все остальные кнопки на лицевой панели отжаты. Шланг выхода от пыле-

вой камеры с помощью крана—переключателя 9 подсоедините к входному штуцеру оптического прибора. Выполните пп. 3 и 4.

9. Нажмите кнопку 2 переключателя каналов на измерительном приборе 10. При нажатии кнопки время измерения устанавливается таймером автоматически и начинается процесс измерения концентрации аэрозоля в диапазоне 2 мкм.

10. Поочередно нажимая кнопки 5, 10, 15, 20, 25, определите концентрацию по показанию электронного счетчика.

11. Выключите оптический прибор, вентилятор и аспиратор.

Содержание отчета

1. Схема установки для определения запыленности весовым и счетным методами.

2. Протокольная запись определения запыленности воздуха весовым методом: массу фильтра до и после забора пыли, продолжительность и скорость просасывания воздуха через фильтр, объем исследуемого воздуха, вычисление концентрации пыли в камере и выводы о степени запыленности воздуха, т.е. оценку отношения фактической концентрации пыли к ПДК.

3. Протокольная запись определения запыленности воздуха счетным методом: результаты подсчета количества частиц по фракциям и суммарной величины. Построить дифференциальную кривую распределения частиц по размерам.

4. Зная счетную концентрацию аэрозольных частиц, определите массовую концентрацию по формуле (6.1).

5. Сравните значение концентраций, полученных счетным и весовым методами. Каковы возможные причины рассогласования значений?

6. Произвести расчет НКПР для мелкодисперсного аэрозоля при $t = 25^{\circ}\text{C}$ влажности 65 %, используя данные для исследуемого аэрозоля на стенде.

7. Выводы о пожаровзрывоопасности пыли.

Контрольные вопросы

1. Как действует промышленная пыль на организм человека?

2. От чего зависит вредное воздействие пыли на организм человека?

3. От чего зависит величина ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны и в атмосферном воздухе?

4. Какие существуют способы снижения запыленности воздуха на производстве?
5. Какие существуют методы определения запыленности воздуха на производстве?
6. Изложите сущность счетного и весового методов определения запыленности воздуха. Какой из них позволяет установить соответствие воздушной среды принятым нормам?

Библиографический список

Инженерная экология: учебник / под ред. В.Т. Медведева. М.: Гардарики, 2002. С. 55—56, 541—561.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы

Определение интенсивности теплового облучения на рабочем месте и оценка эффективности защитных экранов.

Содержание работы

1. Измерение интенсивности теплового облучения на разных расстояниях от источника излучения:
 - а) при отсутствии защитных экранов;
 - б) при наличии защитного теплопоглощающего экрана — цепной завесы;
 - в) при наличии экрана из стекла;
 - г) при наличии защитного теплоотводящего экрана — водяной завесы.
2. Измерение температуры источника излучения.
3. Расчет интенсивности теплового облучения в точках измерения при отсутствии защитных экранов и при наличии водяной завесы.
4. Расчет длины волны с максимальной энергией теплового излучения.
5. Расчет коэффициентов эффективности защитных экранов.

Тепловое излучение и защита от него

Подавляющее большинство производственных процессов сопровождается выделением тепла, причем тепло выделяется как производственным оборудованием, так и материалами.

В производственных условиях выделение тепла возможно:

- 1) от плавильных и нагревательных печей и других термических устройств;
- 2) остывания нагретых или расплавленных металлов;
- 3) перехода в тепло механической энергии, затрачиваемой на производ основного технологического оборудования;
- 4) перехода электрической энергии в тепловую и т.п.

Большую долю в общий баланс тепла, особенно в летнее время, вносит энергия солнечного излучения.

Все перечисленные, как и многие другие, источники распространения тепла значительно увеличивают тепловую нагрузку помещений, в которых они находятся, повышая тем самым температуру окружающего воздуха.

Нагретые тела отдают свое тепло менее нагретым тремя способами: теплопередачей (теплопроводностью), теплоизлучением и конвекцией. Последняя определяется в основном подвижностью воздушной среды и разностью температур поверхности и охлаждающего воздуха.

В отличие от теплопроводности и конвекции, где плотность теплового потока зависит от температуры в первой степени, перенос энергии излучением определяется четвертой степенью абсолютной температуры. Вследствие этого при высоких температурах основным видом переноса теплоты является излучение.

Исследования и расчеты показывают, что не менее 60 % всего теряемого тепла распространяется в окружающей среде посредством излучения. Лучистая же энергия, проходя почти без потерь пространство, отделяющее одно тело от другого, снова превращается в тепловую в поверхностных слоях облучаемого тела. Следует заметить, что тепловое излучение не оказывает непосредственного воздействия на сухой окружающий воздух, свободно пронизывая его. Оно нагревает только те тела, на которые падает, поглощаясь ими.

Основные законы теплового излучения

- Закон Стефана—Больцмана выражает зависимость плотности теплового излучения абсолютно черного тела от абсолютной температуры T в четвертой степени

$$\underline{C} = \sigma T^4 = C_0 (T/100)^4, \quad (7.1)$$

где σ , C_0 — постоянная и коэффициент излучения абсолютно черного тела ($C_0 = 10^8 \sigma = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$). На практике приходится иметь дело с серыми телами, для них закон Стефана—Больцмана имеет вид

$$E_i = \varepsilon_i \varepsilon = C (T/100)^4, \quad (7.2)$$

где $\varepsilon_i = E_i / \varepsilon$ — степень черноты i -го тела ($0 < \varepsilon < 1$); C — коэффициент излучения серого тела, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

- Закон Планка устанавливает связь спектральной плотности теплового излучения абсолютно черного тела $I_{0\lambda}$, $\text{Вт}/\text{м}^2$, с длиной волны излучения, м, и абсолютной температурой тела:

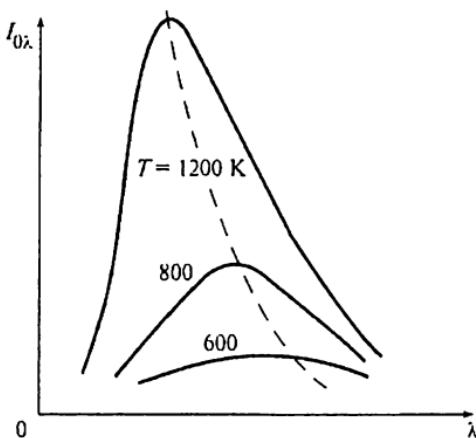


Рис. 7.1. Спектральная плотность излучения абсолютно черного тела в зависимости от длины волны при разных температурах

$$I_{0\lambda} = C_1 \lambda^{-5} / [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]. \quad (7.3)$$

В этом выражении: $C_1 = 3,74 \cdot 10^{-18}$, Вт/м², и $C_2 = 1,44 \cdot 10$, м·К — постоянные излучения.

Графически закон Планка представлен на рис. 7.1.

- В. Вин в 1893 году установил, что произведение абсолютной температуры тела на длину волны максимальной энергии теплового излучения есть величина постоянная:

$$T \lambda_{\max} = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м}\cdot\text{К}. \quad (7.4)$$

Это выражение получило название *закона смещения Вина*: с ростом температуры максимум спектральной плотности потока излучения смещается в коротковолновую область.

Расчет теплообмена излучением между двумя телами является сложной задачей. В общем случае поток энергии между телами определяется температурами тел, их формами, размерами и состоянием поверхностей, взаимным расположением в пространстве и расстоянием между ними. Аналитически эту зависимость можно представить в виде:

$$Q_{1,2} = \epsilon_{\text{пр}} C S_1 [(T_1 / 100)^4 - (T_2 / 100)^4] \phi_{1,2}, \quad (7.5)$$

где $\epsilon_{\text{пр}} = [1/\epsilon_1 + (S_1/S_2)(1/\epsilon_2 - 1)]$ — приведенная степень черноты двух тел; S_1, S_2 — площади поверхностей теплоизлучающего и теплопринимающего тел, м²; $\phi_{1,2} = Q_2/Q_1$ — коэффициент облученности, показывающий, какая доля энергии излучения первого тела Q_1 попадает

на второе тело Q_2 . Коэффициент облученности можно рассчитать по законам геометрической оптики или взять из справочной литературы.

Действие теплового излучения на человека

Лучистая энергия, попадая на человека, воздействует прежде всего на незащищенные части тела (лицо, руки, шею, грудь), причем если конвективное тепло влияет, главным образом, на внешние кожные покровы, то лучистое тепло может проникать на некоторую глубину в ткани.

При длительном пребывании человека в зоне лучистого потока теплоты происходит нарушение теплового баланса в его организме, что может вызвать заболевание, называемое тепловой гипертермией (перегревом). В нормальных условиях в организме человека поддерживаются стабильные и постоянные условия для функционирования биологических клеток. Это явление называется гомеостазом. Одним из механизмов гомеостаза является система поддержания постоянства внутренней температуры тела человека. Если гомеостатическая система поддержания постоянства температуры организма не справляется с рассеянием избыточного поступающего тепла, наступает гипертермия. Нарушается работа терморегулировочного аппарата, усиливается деятельность сердечно-сосудистой и дыхательной систем, усиливается потоотделение, происходят потери нужных организму солей. Обеднение организма водой вызывает сгущение крови, ухудшается питание тканей и органов. Потеря организмом солей лишает кровь способности удерживать воду, что приводит к быстрому выведению из организма вновь выпитой жидкости. Нарушение водно-солевого баланса вызывает так называемую судорожную болезнь, характеризующуюся появлением резких судорог, преимущественно в конечностях. Это заболевание характеризуется повышением температуры тела, достигающей в тяжелых случаях 40—41 °С и выше, обильным потоотделением, значительным учащением пульса и дыхания, резкой слабостью, головокружением, изменением зрительных ощущений, шумом в ушах и зачастую потерей сознания.

При систематических перегревах отмечается повышенная восприимчивость к простудным заболеваниям. Наблюдается снижение внимания (нарастание числа ошибочных операций), наступает чувство расслабленности, резко повышается утомленность, снижается производительность труда. Таким образом, тепловое излучение воздействует на организм человека, нарушая его нормальную деятельность, вы-

зывая серьезные осложнения. Поэтому меры борьбы с лучистым теплом имеют огромнейшее значения для улучшения условий труда. Интенсивность облучения менее 300 Вт/м^2 вызывает малозаметные тепловые ощущения, которые человеческий организм способен переносить сравнительно долгое время. В таких случаях для улучшений условий работы достаточно обеспечить на рабочих местах подвижность воздуха не менее $0,3 \text{ м/с}$. Тем не менее даже при уровнях теплового излучения, не вызывающих гипертермию, наблюдается ослабление внимания, замедление реакций, ухудшение координации движений, что в свою очередь приводит к снижению производительности труда.

Согласно действующим санитарным нормам интенсивность облучения не должна превышать 350 Вт/м^2 .

Производственные источники по характеру спектрального излучения условно можно разделить на четыре группы:

1) с температурой излучающей поверхности до 500°C (паропроводы, сушильные установки, низкотемпературные аппараты, наружная поверхность различных печей и др.); их спектр содержит длинные инфракрасные лучи (длина волны $3,7\text{--}9,3 \text{ мкм}$);

2) с температурой поверхности от 500 до 1300°C (открытое пламя, открытые проемы нагревательных печей и топок, нагретый металл — слитки, заготовки, расплавленные чугун и бронза и др.); их спектр содержит преимущественно инфракрасные лучи ($1,9\text{--}3,7 \text{ мкм}$), но появляются и видимые лучи;

3) с температурой $1300\text{--}1800^\circ\text{C}$ (открытые проемы плавильных печей, расплавленная сталь и др.); их спектр содержит как инфракрасные лучи вплоть до коротких ($1,2\text{--}1,9 \text{ мкм}$), так и видимые большой яркости;

4) с температурой выше 1800°C (пламя электродуговых печей, сварочных аппаратов и др.) их спектр излучения содержит наряду с инфракрасными ($0,8\text{--}1,2 \text{ мкм}$) и видимыми ($0,4\text{--}0,8 \text{ мкм}$) также и ультрафиолетовые лучи.

Существуют следующие способы защиты от вредного воздействия теплового излучения: тепловая изоляция нагретых поверхностей, экранирование источников теплового излучения, применение воздушного душивания, удаление от источника теплового излучения (дистанционное управление), сокращение времени пребывания в зоне воздействия теплового излучения, использование средств индивидуальной защиты (защитные очки, маски, одежда).

Наиболее распространенным и эффективным способом защиты от теплового излучения является экранирование — создание определенного термического сопротивления на пути теплового потока в виде экранов различных конструкций (жестких глухих, сетчатых, полупрозрачных водяных, воздушно-водяных и др.). Различают теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие экраны. В свою очередь по степени прозрачности они делятся на три класса: непрозрачные, полупрозрачные и прозрачные. К теплоотражающим экранам относятся жесткие глухие преграды, изготовленные из материалов с высокой степенью отражения таких, как алюминий листовой, белая жесть, альфоль (алюминиевая фольга), а также закаленные стекла с пленочным покрытием. В последнее время получила распространение вакуумно-многослойная изоляция, изготовленная из множества полированных металлических пластин с зазорами, из которых откачен воздух. Эти экраны отличает высокая эффективность (отражается до 58 % излучения), малая масса, экономичность. Однако эти экраны не выдерживают высоких механических нагрузок, эффективность их существенно снижается при отложении на них пыли, при окислении.

В настоящее время нашли широкое применение экраны, выполненные из металлической плотной сетки или из металлических мелких цепей, подвешенных против излучающего проема в один или несколько рядов. Хотя цепные экраны не могут защищать от излучения так хорошо, как глухие (цепные завесы снижают тепловой поток на 60—70 %), их применение в ряде случаев оправдано, поскольку они позволяют наблюдать за ходом технологического процесса.

Теплоотводящие экраны (водяные и вододисперсные завесы) применяют в тех случаях, когда через экран необходимо вводить инструмент или заготовки. Коэффициент эффективности водяных завес в значительной степени зависит от спектрального состава излучения, толщины слоя и может достигать 80 %. Экраны в виде водяной пленки, стекающей по стеклу, более устойчивы по сравнению со свободными водяными завесами. Их эффективность порядка 90 %.

В определении оптимальных условий защиты от теплового излучения важное значение имеет характер его спектрального состава, так как материал экрана должен поглотить или отразить лучи, несущие максимум энергии. Как видно из рис. 7.2, для организации эффективной защиты от теплового излучения необходимо устраниć в лучистом потоке по возможности наибольший диапазон длинноволнового излучения, которое хорошо поглощается поверхностью кожи человека.

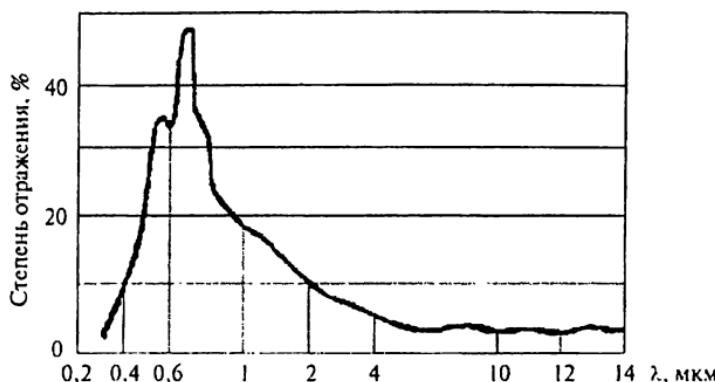


Рис. 7.2. Степень отражения тепловых лучей кожей человека в зависимости от длины волны теплового излучения

В этом отношении хорошо зарекомендовали себя прозрачные водяные завесы в виде сплошной тонкой водяной пленки, образующейся при равномерном стекании воды с гладкой поверхности.

Вода является активным поглотителем инфракрасных лучей. Наиболее сильное поглощение отмечается в зоне лучей с длиной волны $\lambda = 1,5\text{--}6 \text{ мкм}$.

Слой воды толщиной 1 мм полностью поглощает участок спектра с $\lambda > 3 \text{ мкм}$, а слой 10 мм — тепловой поток с длиной волны $\lambda > 1,5 \text{ мкм}$.

Таким образом, слой воды, применяемый в защитных экранах, должен иметь толщину порядка нескольких миллиметров, при этом коротковолновое излучение высокотемпературных источников не будет поглощено, что проявляется, например, в видимости светового излучения: являющегося коротковолновой частью теплового излучения. Поэтому тонкие водяные завесы эффективны в основном для экранирования излучений от низкотемпературных источников (до 800°C).

Интенсивность теплового облучения E , $\text{Вт}/\text{м}^2$, которому подвергается человек применительно к условиям данного лабораторного стенда, можно оценить по приближенной формуле:

$$E_0 = 0,91S [(T_{изл}/100)^4 - (T_{обл}/100)^4] / L^2, \quad (7.6)$$

где S — площадь излучающей поверхности, м^2 ; $T_{изл}$ — температура излучающей поверхности, К; $T_{обл}$ — температура облучаемой части тел, К (для приближенного расчета можно принять $T_{обл} = 309 \text{ К}$, т.е. 36°C); L — расстояние от источника излучения, м.

Формула (7.6) верна при условии $L \geq \sqrt{S}$.

Расчет интенсивности облучения при наличии водяной завесы построен на принципе ослабления лучистого потока при прохождении через мутную среду с определенным оптическим показателем.

Уравнение поглощения лучистой энергии какой-либо средой имеет вид

$$E = E_0 \exp(-\delta d), \quad (7.7)$$

где E, E_0 — интенсивность теплового облучения в данной точке при наличии и отсутствии завесы, Вт/м²; δ — опытный коэффициент ослабления потока излучений мутной средой, равный для водяной завесы 1,3 мм⁻¹; d — толщина завесы, мм (в работе принять равной 1 мм).

В плоскопараллельной системе тел и экранов легко получается формула для определения снижения интенсивности лучистого теплообмена. В этом случае между двумя телами со степенью черноты $\varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2$ за счет установки между ними n экранов со степенью черноты $\varepsilon_3 \neq \varepsilon$ теплообмен уменьшается:

$$E_3 / E_{1,2} = [1 + n\varepsilon(2 - \varepsilon_3)/\varepsilon_3(2 - \varepsilon)]. \quad (7.8)$$

Коэффициент эффективности защитного теплового экрана в общем случае можно рассчитать по формуле

$$\eta = (E_0 - E_3) / E_0, \quad (7.9)$$

где E_0 и E_3 — интенсивность облучения в данной точке при отсутствии и наличии экрана, Вт/м².

Согласно требованиям ГОСТ 12.4.123—83 допустимая интенсивность теплового облучения человека на рабочем месте E не должна превышать 350 Вт/м².

Применяемое оборудование

Работа выполняется на лабораторной установке. Источником излучения служит инфракрасный излучатель, нагреваемый действием электрического тока. С помощью отражателя создается направленный поток теплового излучения. Установка имеет четыре защитных экрана в виде цепной, водяной, стеклянной и комбинированной (стекло+вода) завес. Цепная завеса состоит из металлических цепей, установленных на пути потока излучения. Устройство для создания водяной завесы состоит из металлической ванны с водосливом, в которую подается вода из сливного поддона и двух направляющих в виде ме-

таллических ограничителей. Стеклянная завеса состоит из рамки со вставленным стеклом, установленной на пути потока излучения.

Измерение интенсивности облучения на рабочем месте проводится с помощью актинометра, укрепленного на передвижном металлическом каркасе с возможностью перемещения от источника излучения в пределах 0,2—0,4 м.

Действие актинометра основано на неодинаковой поглощающей способности зачерненных и блестящих полосок алюминиевой пластиинки. Алюминиевая пластинка через изолятор прикреплена к термобатарее, имеющей 200 спаев из полосок меди и константана, соединенных последовательно.

Вследствие различия температуры зачерненных и незачерненных участков алюминиевой пластиинки и расположенных под ней спаев термобатареи в термобатарее возникает электрический ток.

Величина тока измеряется гальванометром, шкала которого отградуирована непосредственно в кал/(см²·мин).

Повышение чувствительности актинометра достигается с помощью усилителя. Измерение температуры излучающей поверхности нагреваемого элемента проводится с помощью оптического пирометра с пределами измерения 300—5000 °С.

Измерение температуры излучающего тела осуществляется с помощью оптического пирометра со встроенным показывающим прибором. Оптический пирометр с исчезающей нитью переменного накала служит для измерения температуры раскаленных тел от 800 до 2000 °С.

Изменяя яркость нити лампы регулятором, следует довести ее до того, чтобы исчез средний участок (вершина дуги) нити лампы на фоне изображения раскаленной пластины и отсчитать измеренную температуру по шкале показывающего прибора.

Указания по технике безопасности

1. Строго соблюдать инструкции по ТБ на стенде.
2. Не включать стенд без проверки его преподавателем.
3. В случае неисправности отключите стенд.

Порядок выполнения работы

1. Включите стенд с помощью кнопки «ВКЛЮЧЕНИЕ СТЕНДА»; загорание подсвета кнопки сигнализирует о наличии напряжения.
2. Включите нагревательный элемент нажатием кнопки «ИСТОЧНИК ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ» и дайте ему прогреться в течение 20 секунд. Включите питание пирометра.

3. Подведите под окно излучения оптический пиrometer и измерьте температуру в двух режимах температуры излучателя (больше, меньше), при этом необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации оптического пиromетра.

4. Включите питание актинометра, подведите под окно излучения датчик и произведите измерение интенсивности теплового облучения при отсутствии экранов на различных расстояниях от источника излучения.

Внимание. При каждом измерении следует на 2—3 секунды поднять крышку теплоприемника актинометра и снять показания, после чего быстро закрыть ее.

Результаты измерений разделите на коэффициент усиления $K_{yc} = 10$ и запишите в табл. 7.1, предварительно переведя показания актинометра кал/ (мин·см²) в Вт/м²; (1 кал/(мин·см²) = 700 Вт/м²).

5. Переключателем, расположенным на верхней крышке стенда, установите защитные экраны поочередно (цепная завеса, стекло, водяная завеса, водяная завеса на стекле), при этом измерьте интенсивность теплового облучения на различных расстояниях (0,2—0,4 м) и занесите в табл. 7.1.

Таблица 7.1

**Интенсивность теплового облучения на рабочем месте
(результаты измерений) Вт/ м²**

Условия измерений	Расстояние от источника излучения L, м				
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
При отсутствии защитного экрана					
При наличии:					
цепной завесы					
стекла					
водяной завесы					
комбинированной (стекло и вода) завесы					

6. Отключите питание актинометра, нагревательный элемент и насос, затем выключите стенд.

Содержание отчета

1. Результаты измерения интенсивности теплового излучения на разных расстояниях от источника излучения при отсутствии и наличии защитных экранов, представленные в виде табл. 7.1.

2. Результаты измерений температуры источника излучения.

3. Расчет интенсивности излучения в тех же точках, в которых проводились измерения. Результат представьте в виде таблицы, приведенной ниже:

Интенсивность тепловых излучений Вт/м ²	Расстояние от источника излучения L , м				
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
При отсутствии защитного экрана					
При включенной водяной завесе					

4. Зависимости $E = f(L)$ по результатам измерений и расчета, построенные на одном графике.

5. Результаты определения по графику $E = f(L)$ значений, при которых выполняется требование ГОСТ, для условий отсутствия и наличия защитных экранов.

6. Результат расчета длины волны с максимальной энергией теплового излучения.

7. По заданию преподавателя рассчитайте необходимое количество теплоотражающих экранов с заданной степенью черноты для снижения теплового потока в N раз, используя формулу (7.8).

8. Результаты расчета коэффициентов эффективности защитных экранов для значения $L = 0,20$ м (по данным табл. 7.1).

9. Выводы об эффективности защитных тепловых экранов.

Контрольные вопросы

1. Каков характер прохождения энергии теплового излучения через воздушное пространство?

2. Как проявляется воздействие теплового облучения на организм человека?

3. От чего зависит интенсивность теплового облучения на рабочем месте?

4. Каковы основные мероприятия охраны труда по защите от теплового облучения в производственных условиях?

5. Чему равно допустимое по ГОСТ значение интенсивности теплового облучения на рабочем месте?

6. Как рассчитать длину волны с максимальной энергией теплового излучения — λ_{\max} ?

7. Какой защитный теплопоглощающий экран использовать — цепной или водяную завесу, исходя из значения λ_{\max} и отражательной способности кожи человека?

8. Как рассчитать коэффициент эффективности защитного экрана?

Библиографический список

Охрана труда / под ред. Б.А. Князевского. М.: Высш. шк., 1982. С. 55—57.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Цель работы

Изучение принципов нормирования, расчета и контроля естественного и искусственного освещения помещений.

Содержание работы

1. Измерение освещенности в лаборатории при естественном и искусственном освещении.
2. Нормирование искусственного освещения в соответствии со СНиП 23-05—95 и измерение фактической освещенности для заданных зрительных работ.
3. Выполнение расчета освещения в соответствии с заданием.

Основные светотехнические понятия и величины

Основными показателями, характеризующими свет, являются: сила света, световой поток, освещенность и яркость.

Для качественной оценки визуального действия светового потока и характеристики его распределения по поверхности и в пространстве разработана система световых единиц. Исходной для построения системы световых единиц является единица силы света — кандела (кд), которая определяется как сила света, испускаемая с поверхности площадью $1/600000\text{ м}^2$ эталонного излучателя (черного тела) в перпендикулярном направлении при температуре затвердевания платины 2 042 К и давлении 101325 Па (760 мм. рт. ст).

Световой поток Φ определяется как величина не только физическая, но и физиологическая, так как ее измерение основано на зрительном восприятии. Световой поток Φ — мощность лучистой энергии, оцениваемой по световому ощущению, воспринимаемому человеческим глазом в диапазоне длин волн 380—780 нм. Единицей измерения светового потока является люмен (лм) — это световой поток, испускаемый в единичном телесном угле (1 стерadiane) точечным источником при силе света 1 кд. Распределение светового потока реального источника излучения в окружающем пространстве обычно неравномерно. Поэтому пространственную угловую плотность светового потока характеризуют величиной силы света.

Сила света I является одной из основных величин Международной системы единиц СИ и определяется как отношение светового потока Φ к телесному углу ω , в пределах которого световой поток распространяется и равномерно распределяется:

$$I_\alpha = \Phi/\omega ,$$

где I_α — сила света под углом α .

Освещенность E характеризует поверхностную плотность светового потока на освещаемой площади S : $E = \Phi/S$. Единица освещенности — люкс (лк) — это освещенность поверхности площадью 1 м^2 световым потоком 1 лм .

Яркость L поверхности определяется как отношение силы света светящейся поверхности в рассматриваемом направлении к ее проекции на плоскость, перпендикулярную этому направлению: $L = I/(S \cos \alpha)$. Единица яркости — кандела на квадратный метр ($\text{кд}/\text{м}^2$) — специального названия не имеет. Человек различает окружающие предметы только благодаря тому, что они имеют разную яркость.

Уровень ощущения света человеческим глазом зависит от плотности светового потока на сетчатке глаза, поэтому основное значение для зрения имеет не освещенность какой-либо поверхности, а световой поток, отраженный от этой поверхности и попадающий на зрачек, т.е. яркость светящихся поверхностей обратно пропорциональна их площади, а яркость освещенных объектов зависит от их световых свойств, от степени освещенности и в общем случае от угла, под которым поверхность рассматривается. Поверхности, яркость которых в отраженном свете одинакова во всех направлениях, называются диффузными. Для них справедливо соотношение $L=E\rho/\pi$, где $\rho = \Phi_p / \Phi$ — коэффициент отражения, определяемый отношением отраженного от поверхности светового потока Φ_p к падающему потоку Φ .

Виды и системы освещения

В зависимости от природы источника световой энергии различают естественное, искусственное и совмещенное освещение.

Естественное освещение — освещение помещений светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы (окна) в наружных стенах.

Естественное освещение подразделяется на боковое, верхнее и комбинированное (верхнее и боковое). Во всех производственных помещениях с постоянным пребыванием в них людей для работ в

дневное время следует предусматривать естественное освещение как более экономичное и совершенное с точки зрения медико-санитарных требований по сравнению с искусственным освещением. Особенность естественного освещения — чрезвычайно широкий диапазон изменения и непостоянство. Поэтому оценивать естественное освещение в абсолютных единицах освещенности — люксах не представляется возможным. В качестве нормируемой величины принята относительная величина — коэффициент естественной освещенности (КЕО), который представляет собой выраженное в процентах отношение естественной освещенности в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения $E_{\text{вн}}$ светом неба (непосредственным или после отражений), к одновременно замеренной наружной горизонтальной освещенности $E_{\text{нар}}$, создаваемой светом полностью открытого небосвода:

$$\text{КЕО} = (E_{\text{вн}} / E_{\text{нар}}) \cdot 100 \%$$

Достаточность естественного освещения в помещении регламентируется нормами СНиП 23-05—95 (табл. 9.1, приведена на стенде), которыми установлены значения КЕО в зависимости от следующих четырех факторов:

- 1) точности или характера зрительной работы (разряда зрительной работы);
- 2) системы освещения (боковое, верхнее, комбинированное или совмещенное);
- 3) коэффициента светового климата, определяемого в зависимости от района расположения здания на территории России;
- 4) ориентации световых проемов здания по сторонам горизонта.

Для зданий, расположенных в центре Европейской части России независимо от их ориентации, коэффициенты светового климата равны единице.

В небольших помещениях с боковым односторонним освещением нормируется минимальное значение КЕО (используется также обозначение $e_{\text{н}}$) в точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов. В крупногабаритных производственных помещениях при боковом освещении минимальное значение КЕО нормируется в точке, удаленной от световых проемов:

- на полторы высоты помещения для работ I—IV разрядов;
- на две высоты помещения для работ V—VII разряда;
- на три высоты помещения для работ VIII разряда.

Таблица 9.1

Нормирование естественного освещения

Характеристика зрительной работы	Наименший или эквивалентный размер объекта различия, мм	Разряд зрительной работы	Естественное освещение			Совмещение освещение KEO, ϵ_h , %	
			верхнее или комбинированное	боковое	верхнее или комбинированное		
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	—	—	6,0	2,0	
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	—	—	4,2	1,5	
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	—	—	3,0	1,2	
Средней точности	Св. 0,5 до 1,0	IV	4	1,5	2,4	0,9	
Малой точности	Св. 1 до 5	V	3	1	1,8	0,6	
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI	3	1	1,8	0,6	
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII	3	1	1,8	0,6	
Общее наблюдение за ходом производственного процесса:		VIII					
• постоянное;			3	1	1,8	0,6	
• периодическое при постоянном пребывании людей в помещении;			1	0,3	0,7	0,2	
• периодическое при периодическом пребывании людей в помещении;			0,7	0,2	0,5	0,2	
• общее наблюдение за инженерными коммуникациями			0,3	0,1	0,2	0,1	

Установленные СНиП 23-05—95 нормируемые значения КЕО используются для проектирования производственных зданий (помещений). На стадии проектирования основной задачей светотехнических расчетов при естественном освещении является определение требуемой площади световых проемов.

В том случае, если естественное освещение оказывается недостаточным, его дополняют искусственным. Такое освещение называют совмещенным.

Искусственное освещение применяется в часы суток, когда естественный свет недостаточен, или в помещениях, где он отсутствует. Существуют следующие виды искусственного освещения по функциональному назначению: рабочее, аварийное, охранное (для освещения в нерабочее время) и дежурное. Аварийное освещение разделяется на освещение безопасности (для продолжения работы) и эвакуационное. Искусственное освещение проектируется в виде двух систем: общее и комбинированное.

При *общем* освещении светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно (общее равномерное освещение) или применительно к расположению оборудования (общее локализованное освещение).

При *комбинированном* освещении к общему добавляется местное от светильников, концентрирующих световой поток непосредственно на рабочих местах. Искусственное освещение должно обеспечивать освещенность на рабочих местах в соответствии с нормами СНиП 23-05—95 (табл. 9.2 также приведена на стенде).

В основу нормирования освещенности положены следующие показатели, характеризующие условия зрительной работы: размер объекта, фон, контраст объекта с фоном.

1. Размер объекта — наименьший размер, который необходимо выделить при проведении работы. Например, при чтении текста — толщина линии буквы, при работе с приборами — толщина линий градуировок шкалы или толщина стрелки.

2. Фон — величина, определяемая коэффициентом отражения поверхности ρ_f , на которой рассматривается объект (см. на стенде). Коэффициент отражения объекта ρ_0 различается по светлоте, так же как и фон. Объект может быть светлым при $\rho_0 > 0,4$, средним при $0,2 \leq \rho_0 \leq 0,4$ и темным при $\rho_0 < 0,2$.

Таблица 9.2

Нормирование искусственного освещения

Характеристика зрительной работы	Наименьший эквивалентный размер объекта различия, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации	
						Освещенность, лк			
						при системе комбинированного освещения	при системе общего освещения		
всего	в том числе от общего						P	K _a %	
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	а	Малый	Темный	5000 4500	500 500	- -	
		б	Малый Средний	Средний Темный	4000 3500	400 400	1250 1000	20 10	
		в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2500	300	750	20 10	
		Г	Средний Большой	Светлый «	2000 1500	200 200	600 400	10 20	
				Средний «	1250	200	300	10 10	
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	а	Малый	Темный	4000 3500	400 400	- -	
		б	Малый Средний	Средний Темный	3000 2500	300 300	750 600	20 10	
		в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2000 1500	200 200	500	20 10	
		Г	Средний Большой	Светлый «	1000 750	200 200	400 300	10 20	
				Средний	750	200	200	10 10	

Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	a	Малый	Темный	2000	200	500	40	15
			б	Малый Средний	Средний Темный	1500	200	400	20	15
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	1000	200	300	40	15
			г	Средний Большой	Светлый «	750	200	300	20	15
Средней точности	Св 0,5 до 1	IV	a	Малый	Темный	600	200	200	20	15
			б	Малый Средний	Средний Темный	400	200	200	40	15
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	500	200	200	40	20
			г	Средний Большой	Светлый «	750	200	300	40	20
Малой точности	Св. 1 до 5	V	a	Малый	Темный	400	200	200	40	20
			б	Малый Средний	Средний Темный	400	—	—	200	20
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200	200	40	20
			г	Средний Большой	Светлый «	400	—	—	200	20
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI	Независимо от характеристики фона и контраста объекта с фоном		—		—		200	
									40	

3. Контраст объекта с фоном K характеризуется отношением абсолютной величины разности между яркостями объекта L_0 и фона L_Φ к яркости фона или между их коэффициентами отражения к коэффициенту отражения фона (см. также на стенде):

$$K = (L_0 - L_\Phi)/L_\Phi;$$

$$K = (\rho_0 - \rho_\Phi)/\rho_\Phi.$$

Контраст объекта с фоном K считается большим, средним или малым в зависимости от его численного значения (табл. 9.3).

Таблица 9.3

Характеристики контраста объекта с фоном

Виды характеристики контраста	Контраст объекта с фоном		
	Большой	Средний	Малый
Качественные	Объект и фон резко разнятся по яркости	Объект и фон заметно разнятся по яркости	Объект и фон мало отличаются по яркости
Численные	$K > 0,5$	$0,2 \leq K \leq 0,5$	$K < 0,2$

В некоторых случаях фон и контраст объекта с фоном можно определить визуально, например, при чертежных работах: линии — темные, фон — светлый, следовательно контраст объекта с фоном — большой.

При нормировании осветительных условий (определении уровня освещенности по СНиП 23-05—95) для заданной зрительной работы при искусственном освещении необходимо знать:

1) разряд работы, который зависит от размера объекта различия;

2) подразряд работы, который зависит от контраста объекта с фоном и характеристики фона.

Принимая во внимание параметры, указанные выше, определяется нормируемое значение искусственного освещения. Предусматриваемое СНиПом число разрядов для промышленных предприятий составляет восемь, первые пять разрядов имеют подразряды работ. В основу норм положена шкала со ступенями освещенности:

0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7;

10; 15; 20; 30; 50; 75;

100; 150; 200; 400; 500; 600; 750;

1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000 лк.

Освещенность повышают на одну ступень по шкале освещенности в следующих случаях:

а) при работах I—IV разряда, если зрительная работа выполняется более половины рабочего дня;

- б) при повышенной опасности травматизма, если освещенность от системы общего освещения составляет 150 лк и менее;
- в) при отсутствии естественного света, если освещенность от системы общего освещения 750 лк и менее;
- г) при работе и обучении подростков, если освещенность от системы общего освещения 300 лк и менее;
- д) в помещениях, где более половины работающих старше 40 лет.

В помещении должна быть обеспечена равномерность и устойчивость уровня освещенности. В поле зрения должна отсутствовать прямая (от самих источников) и отраженная блескость. Последняя определяет снижение видимости вследствие чрезмерного увеличения яркости рабочей поверхности и вуалирующего действия, снижающего контраст между объектом и фоном.

Слепящее действие осветительной установки оценивается показателем ослепленности P , определяемым выражением :

$$P = 1000(S - 1),$$

где S — коэффициент ослепленности, равный отношению пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии слепящих источников в поле зрения. Нормируемые значения показателей ослепленности не должны превышать $P = 20$ для зрительных работ очень высокой точности и $P = 40$ для работ меньшей точности (см. табл. 9.2)

Колебания освещенности в результате изменения во времени светового потока газоразрядных ламп при питании их переменным током оцениваются коэффициентом пульсации освещенности, %, определяемым по формуле:

$$K_p = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{cp}} \cdot 100,$$

где E_{\max} и E_{\min} — максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк; E_{cp} — среднее значение освещенности за этот же период, лк.

Для уменьшения коэффициента пульсации газоразрядных ламп используют следующие способы: включение светильников в разные фазы электрической сети, питание током повышенной частоты, использование высокочастотных пускорегулирующих аппаратов и др.

Для ограничения неблагоприятного действия пульсирующих световых потоков газоразрядных ламп нормируется сочетание показателя ослепленности P (от 10 до 40) для общего освещения и коэффициент пульсации K_p (от 10 до 20 %) для общего и комбинированного освещения (см. табл. 9.2).

Расчет и контроль освещения

Расчет искусственного освещения может выполняться различными методами. Наиболее распространенным в проектной практике является расчет освещения по методу коэффициента использования светового потока, который предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей. Расчетное уравнение метода

$$\Phi = (E_n k S z) / (N U_{o.y}), \quad (9.1)$$

где Φ — световой поток каждой из ламп или каждого светильника, лм; E_n — нормируемая минимальная освещенность, лк; k — коэффициент запаса, учитывающий запыление светильников и износ источников света в процессе эксплуатации, равен 1,2 для ламп накаливания и 1,4 для разрядных ламп; S — площадь помещения, м²; z — коэффициент неравномерности освещения, характеризующий отношение средней освещенности к минимальной, и равен 1,15 для ламп накаливания и 1,1 для люминесцентных ламп; N — выбранное число ламп или светильников; $U_{o.y}$ — коэффициент использования светильником (светильника), показывающий какая часть светового потока (в долях единицы) лампы падает на освещаемую поверхность.

Определяют $U_{o.y}$ по справочным таблицам в зависимости от типа светильников, коэффициентов отражения потолка ρ_p , стен ρ_s , пола или расчетной поверхности ρ_r , а также индекса помещения $\varphi = AB/h(A+B)$, где h — высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м; A и B — ширина и длина помещения, м.

По формуле (9.1) рассчитывается световой поток Φ в лм лампы (ламп) в светильнике, необходимый для создания на рабочих поверхностях освещенности E не ниже нормируемой на все время эксплуатации светильником установки. По полученному в результате расчета требуемому световому потоку подбирается ближайшая стандартная лампа. Допускается отклонение светового потока лампы от расчетного не более чем на -10 — $+20\%$). При невозможности выбора ламп с таким приближением корректируют количество светильников.

Чаще решается обратная задача, т.е. по известному световому потоку Φ лампы (ламп) в светильнике определяется необходимое число ламп или светильников N для получения требуемой нормированной освещенности E_n .

Измерение и контроль освещенности осуществляется с помощью приборов, получивших название люксметров. Принцип действия

люксметра основан на явлении фотоэлектрического эффекта. Под влиянием светового потока, падающего на селеновый фотоэлемент, в замкнутой цепи возникает ток, величина которого пропорциональна световому потоку. Прибор градуирован в люксах. Существенным преимуществом селенового фотоэлемента по сравнению с другими типами фотоэлементов является то, что его кривая спектральной чувствительности наиболее близко совпадает с кривой относительной видности человеческого глаза. При изменении освещенности фотоэлемент устанавливается горизонтально на некотором расстоянии от проводящего измерение так, чтобы тень не падала на фотоэлемент.

Указания по технике безопасности

1. Перед выполнением работы необходимо ознакомиться с принципом работы прибора.
2. При обнаружении неисправности в работе люксметра необходимо прекратить проведение опыта и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.

Порядок проведения работы

1. Ознакомьтесь с указанием по эксплуатации люксметра Ю-116.
2. Замерьте естественную освещенность внутри помещения лаборатории $E_{вн}$ при выключенном искусственном освещении на расстоянии $l = 1, 2, 3$ м и т.д. от окна в соответствии с метками на полу. При этом фотоэлемент держать параллельно полу, обращенным вверх, на уровне высоты стола (0,8 м от пола). Значение $E_{вн}$ занести в табл. 9.5.
3. Замерьте наружную освещенность $E_{нар}$, рассчитайте величину КЕО в зависимости от расстояния и заполните табл. 9.5. Для измерения наружной освещенности фотоэлемент необходимо поместить за окно в горизонтальном положении*. Показания люксметра удвоить, так как свет попадает на фотоэлемент только от половины небосвода (вторая половина закрыта зданием), т.е. действительная наружная освещенность вдвое больше.
4. Определите, какому разряду работ по СНиП 23-05—95 соответствует полученное для данного помещения значение КЕО (см. табл. 9.1).

* В зимний период измерение наружной освещенности проводится у окна.

5. Замерьте освещенность в помещении лаборатории $E_{\text{вн}}$ при искусственном освещении в тех же точках, что в п. 2, для чего включите все верхние светильники*. Значения $E_{\text{вн}}$ занесите в табл. 9.5.

6. Произведите нормирование искусственного и естественного освещения и заполните табл. 9.6 в соответствии со СНиП 23-05—95 (см. табл. 9.1, 9.2) для заданных зрительных работ (табл. 9.4).

Таблица 9.4

Задание для нормирования осветительных условий

Номер бригады	Вариант задания		
	1	2	3
1	Шкала люксометра	Рукописный текст	Калькулятор
2	Сверление стальной детали	Печатный текст	Часы стрелочные
3	Пайка микросхемы	Клавиатура компьютера	Сотовый телефон
4	Винтовое соединение	Карандашный текст	Измерительная линейка
5	Замена индикаторных ламп	Графики на миллиметровке	Электронный секундомер
6	Термометр	Чертежные работы	Шкала анемометра
7	Пайка резисторов	Топографическая карта	Шкала шумометра

Порядок нормирования осветительных условий для заданной зрительной работы по СНиП 23-05—95

1. Определите разряд зрительной работы, учитывая наименьший размер объекта различения, по табл. 9.2. Размер объекта различения (мм) определяется ориентировочно. Примеры объектов зрительной работы и соответственно их размеры представлены на стенде (результаты нормирования заносятся в табл. 9.6).

2. Определите подразряд зрительной работы по СНиП 23-05—95 (см. табл. 9.2), для чего:

а) определите характеристику фона (светлый, средний или темный) по коэффициенту отражения фона ρ_f посредством визуального сравнения с образцами, имеющими различные ρ , представленными на стенде;

б) рассчитайте контраст объекта с фоном K , зная ρ_f и коэффициент отражения объекта ρ_0 , который находится также с помощью визуального сравнения с образцами на стенде; по рассчитанному значе-

* В случае незатемненных окон (в дневное время) замеры производить при совмещенном освещении. Сделать допущение о том, что освещение является совмещенным.

нию контраста K определите его характеристику (см. табл. 9.3). Также определите контраст по образцам контрастов объекта с фоном, представленным на стенде;

в) построчное сочетание характеристики фона и контраста даст подразряд работы (см. табл. 9.2).

3. Определите нормируемое значение освещенности E_n для искусственного освещения, зная разряд и подразряд работы (см. табл. 9.2) и зная разряд, определите значение КЕО для бокового освещения (см. табл. 9.1) для системы совмещенного освещения.

4. Считая, что заданные зрительные работы выполняются на данном стенде, измерьте освещенность в горизонтальной E_g и вертикальной E_v плоскостях. В зависимости от положения (горизонтального или вертикального) плоскости объекта различия сравните полученные значения с нормируемой освещенностью (табл. 9.6). Результаты сравнения занесите в табл. 9.7.

Содержание отчета

1. Результаты измерений освещенности E_{vn} при естественном и искусственном освещении, а также расчетное значение КЕО в виде табл. 9.5.

Таблица 9.5
Освещенность внутри помещения

Освещенность	Расстояние от окна, м				
	1	2	3	4	5
E_{vn} , лк (при естественном освещении)					
E_{vn} , лк (при искусственном освещении)					
КЕО, %					

2. Значение наружной освещенности $E_{нар}$.

3. Графики $E_{vn} = f(l)$ для естественного и искусственного освещения.

4. Результаты нормирования осветительных условий для заданных зрительных работ, представленные в виде табл. 9.6.

5. Результаты значений фактической освещенности, замеренной в плоскости, в которой выполняются заданные зрительные работы E_g или E_v , представленные в виде табл. 9.7.

Таблица 9.6

Нормирование осветительных условий

Наименование нормируемой операции или работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Подразряд зрительной работы	Нормированные значения искусственного освещения E_h , лк	Нормированные значения КЕО, %
--	--	--------------------------	--------------------------	---------------------	-----------------------------	--	-------------------------------

Таблица 9.7

Сравнение фактической освещенности в горизонтальной E_Γ и вертикальной E_v плоскостях с нормированной освещенностью E_h

Наименование нормируемой операции	E_Γ , лк	E_v , лк	E_h , лк

6. Вывод о достаточности естественного и искусственного освещения.

7. Расчет числа светильников для выполнения зрительных работ, приведенных в табл. 9.6. Характеристики помещения берутся из табл. 9.8, параметры люминесцентных ламп — из табл. 9.9, а коэффициенты использования — из табл. 9.10.

Таблица 9.8

Задание для расчета числа светильников

№ бригады или варианта, заданный преподавателем	Светильник			Размеры помещения, м			Коэффициенты отражения, %		
	Тип	Число ламп	Мощность лампы, Вт	A	B	H	ρ_p	ρ_c	ρ_p
1	ЛДОР	2	40	10	20	2	70	50	10
2	ЛДОР	2	40	15	14	3	50	30	10
3	ARS/R	4	18	16	12	4	70	50	30
4	ЛДОР	2	40	18	12	5	70	50	10
5	ЛДОР	2	40	11	19	2	50	30	10
6	ARS/R	4	18	13	10	3	70	50	30
7	ЛДОР	2	40	9	17	4	70	50	10
8	ЛДОР	2	40	15	18	5	50	30	10
9	ARS/R	4	18	8	22	2	70	50	30

Характеристики люминесцентных ламп

Параметр	Тип лампы					
	ЛБ	ЛТБ	ЛХБ	ЛД	ЛДЦ	Philips TL'D
Цветность (цвет)	Белый	Тепло-белый	Холодно-белый	Дневной	Дневной, улучшенная цветопередача	Дневной
Мощность, Вт	40	40	40	40	40	18
Световой поток, лм	3200	3100	3000	2500	2200	1150
Длина, мм	1200	1200	1200	1200	1200	600

Таблица 9.10

Коэффициенты использования

Тип светильника	Коэффициенты отражения ρ_p, ρ_c, ρ_p	Значение коэффициента использования $U_{o,y}$ при значении индекса помещения ϕ									
		0,6	0,8	1,0	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5
ЛДОР	70; 50; 10	0,29	0,36	0,43	0,47	0,51	0,56	0,60	0,62	0,64	0,67
ЛДОР	50; 30; 10	0,22	0,30	0,36	0,40	0,44	0,49	0,53	0,55	0,58	0,60
ARS/S	70; 50; 30	0,36	0,44	0,50	0,56	0,60	0,66	0,70	0,73	0,76	0,78
ARS/S	50; 30; 10	0,29	0,36	0,42	0,47	0,51	0,56	0,59	0,61	0,64	0,65

Контрольные вопросы и задания

- Какие величины относятся к основным показателям, характеризующим освещение?
- Дайте определение и назовите единицу измерения светового потока.
- Какой величиной характеризуют пространственную плотность светового потока?
- В каких единицах измеряется сила света?
- Дайте определение и назовите единицу измерения освещенности.
- Дайте определение и назовите единицу измерения яркости.
- От каких параметров зависит яркость освещенных поверхностей?
- Назовите виды и системы освещения.
- Что такое коэффициент естественной освещенности и как он измеряется?
- Чем регламентируется достаточность естественного освещения в помещениях?
- В зависимости от каких параметров установлены нормируемые значения КЕО?
- В какой точке помещения нормируется минимальное значение коэффициента естественной освещенности?

13. Каков принцип нормирования искусственного освещения?
14. От каких параметров зависит разряд и подразряд зрительных работ?
15. В каких случаях освещенность повышается на одну ступень?
16. В чем заключается расчет освещения по методу коэффициента использования?
17. Каким прибором измеряется освещенность и на чем основан принцип его действия?
18. С помощью метода коэффициента использования светового потока определите необходимое число светильников N (при общей системе освещения) для обеспечения требуемой нормируемой освещенности:
 - 1) $E_h = 200 \text{ лк}$; 2) $E_h = 300 \text{ лк}$ при $K = 1,4$; $z = 1,1$. Освещение в помещении площадью $(12 \times 20) \text{ м}^2$ может быть выполнено двухламповыми светильниками ЛСП с люминесцентными лампами различного типа. Коэффициент использования $U_{o,y} = 0,65$. Расчетное значение светового потока люминесцентных ламп приведено в табл. 9.9.
19. С помощью метода коэффициента использования светового потока рассчитайте световой поток Φ лампы, необходимый для создания в помещении площадью $(14 \times 16) \text{ м}^2$ освещенности $E_h = 150 \text{ лк}$ при $K = 1,4$ и $z = 1,1$, если известно число ламп 1) $N = 18$; 2) $N = 24$; 3) $N = 30$; 4) $N = 36$; 5) $N = 40$. Коэффициент использования $U_{o,y} = 0,6$. По полученному в результате расчета световому потоку по табл. 9.9 подберите ближайшую стандартную лампу.
20. Рассчитайте число светильников методом коэффициента использования по варианту, указанному преподавателем (см. табл. 9.8). Коэффициенты использования взять из табл. 9.10.

Библиографический список

1. СНиП 23-05—95. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой России, 1995. 35 с.
2. Кнорринг Г.М. Осветительные установки. Л.: Энергоиздат, 1981. 288 с.
3. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Энергоатомиздат, 1995. 528с.
4. Монахов А.Ф., Смирнов П.А. Расчет производственного освещения. М.: Издательство МЭИ, 2002. 16 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ

Цель работы

Изучение принципов нормирования параметров микроклимата в производственных помещениях.

Определение с помощью экспериментов параметров микроклимата на рабочем месте и сравнение их с действующими санитарными нормами.

Основные параметры микроклимата и их влияние на организм человека

Под микроклиматом в производственном помещении понимают совокупность параметров воздуха (температура, влажность, скорость его перемещения), а также температуры окружающих поверхностей. Это действительно при условии, что отсутствуют источники излучения с эквивалентной тепловой температурой выше 40 °C. Микроклимат на производстве необходим для производительной и качественной работы человека. Обычно имеют в виду микроклимат производственного помещения, в котором осуществляется трудовая деятельность людей.

Человек представляет собой открытую биологическую систему, которая характеризуется тем, что потоки энергии, вещества и информации являются сквозными и косвенно отзывающимися в этой системе. Длительность прохождения этих потоков специфична для различных экологических систем, в том числе и для людей. Теплота — форма энергии, имеющая важное значение для поддержания жизнедеятельности организмов. Все живые системы нуждаются в непрерывном снабжении теплом для предотвращения их деградации и гибели.

Температура является показателем количества тепловой энергии в системе и основным фактором, определяющим скорость химических реакций в организме. Основным источником входной энергии является пища, характеризуемая количеством выделяемой теплоты ккал, и различные виды лучистой энергии, измеряемые интенсивностью их потоков в Bt/m^2 . Выходом энергии являются производимая организмом работа, потери за счет явлений теплопередачи и конвекции, теплового излучения и испарения жидкости с поверхности тела.

С точки зрения биологии человек относится к эндотермным животным, т.е. температура его тела не зависит от температуры окру-

жающей среды и поддерживается постоянной гомеостатическими системами регулирования в организме. Для человека такой температурой являются значения 36,5—37 °С. При этом под температурой тела имеют ввиду температуру тканей, лежащих глубже 2,5 см под поверхностью кожи. Температура поверхности кожи человека может колебаться в широких пределах. Так, при температуре окружающего воздуха 19 °С температура кожи на конечностях может быть 20,5 °С.

Уравнение теплового баланса для организма человека за определенный период времени имеет вид

$$M + S \pm R \pm C \pm P - E = 0, \quad (10.1)$$

где M — теплота процессов метаболизма, полученная из химических субстратов пищи, подвергшихся расщеплению в клетках; S — накапленная организмом теплота; R , C , P — теплота отданная (со знаком минус) или полученная (со знаком плюс) в результате излучения, конвекции, теплопередачи; E — теплота, отданная за счет испарения.

Если тепловой баланс не будет поддерживаться, то дополнительная теплота, получаемая различными способами, приведет к повышению температуры тела, а недостаток тепловой энергии — к его охлаждению. В обоих случаях создаются неблагоприятные условия для функционирования клеток организма, которые при превышении определенных температурных границ начинают погибать. Тепловой баланс любого тела определяется соотношением между теплотой, которую оно получает, и теплотой, которую оно отдает.

Человеческий организм способен вырабатывать достаточное количество теплоты и регулировать теплоотдачу, поэтому равенство поступающей с пищей энергии и других форм энергии в виде потоков лучистой энергии (например, от нагретых предметов) и расхода теплоты с тела человека всегда сохраняется. Это свойство носит название *гомойотермии*. При гомойотермии сохраняется относительно постоянная температура тела человека при изменении температуры окружающей среды.

Для поддержания стабильной внутренней температуры человека имеется терморегулирующая система, которая включает рецепторы, эффекторы и чрезвычайно чувствительный регуляторный центр в гипоталамусе*. У человека имеется примерно 150 тыс. холодовых и 16 тыс. тепловых рецепторов.

* Рецепторы — клетки организма, преобразующие внешнюю информацию (в нашем случае о температуре) в нервные импульсы для передачи в обрабатывающий центр мозга гипоталамус. Эффекторные клетки — исполнительные клетки, вырабатывающие ту или иную реакцию организма в зависимости от поступающих управляющих импульсов от гипоталамуса, например увеличение потоотделения.

В комфортных условиях для взрослого человека средних лет при отсутствии физической нагрузки для нормального осуществления жизненно важных функций в его организме должно производится 1800 ккал теплоты в сутки. Эта теплота в конечном итоге должна быть выведена в силу непрерывности метаболических процессов.

Средняя за сутки метаболическая мощность человека P_h (Вт) определяется калорийностью пищи Q (кал):

$$P_h = \frac{4,2Q}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 4,85 \cdot 10^{-5} \cdot Q.$$

В формуле использованы следующие соотношения:

1 кал = 4,2 Дж;

1 Вт = 1 Дж/с;

1 сут = 24·60·60 с.

Эта мощность тратиться на выполнение человеком производственной работы и на работу гомеостатических систем человека. Чем неблагоприятнее параметры микроклимата, тем больше энергии тратиться на терморегулирование организма человека.

Механизм выхода энергии регулируется гомеостатическими системами регулирования в организме, призванными поддерживать постоянство внутренней температуры тела человека 36,6 °С. Это необходимо для нормального функционирования биологических клеток организма. Поддержанию постоянства температуры внутренней среды человека способствует разветвленная кровеносная система, обеспечивающая отвод тепла от внутренних органов к поверхности тела. С наибольшей скоростью кровь течет в аорте (~ 0,5 м/с), в артериях скорость достигает 0,25 м/с, а в капиллярах — снижается до 0,5 мм/с. Медленное течение в капиллярах и их большая разветвленность способствует хорошему теплообмену. Общая длина капилляров у человека достигает 100 км, а их поверхность — 6300 м². Другими словами это радиатор с огромными размерами по сравнению с человеком, что определяет эффективность его работы.

Для характеристики теплообмена следует соотнести величину основных энергозатрат с поверхностью тела человека, которая в среднем для мужского населения равна 1,8 м². При калорийности пищи в сутки 1800 ккал теплообмен составляет 40,5 ккал/(ч·м²). Калорийность пищи должна быть на 20 % выше энергозатрат организма. При недостаточной калорийности организм стремится поддерживать постоянную температуру внутренней среды и протекание обменных процес-

сов за счет питательных веществ некоторых тканей организма, прежде всего мышечных, что приводит к истощению.

Энергозатраты организма измеряются методами калориметра:

- прямая калориметрия — измерение непосредственно выделяемой теплоты;
- алиментарная калориметрия — определение теплоты при окислении пищевых продуктов;
- респираторная калориметрия — определение теплоты по объему газов в легких, используя термические коэффициенты O_2 и CO_2 .

Характеристика отдельных категорий работ

1. Категории работ разграничиваются на основе интенсивности энерготрат организма в ккал/ч (Вт).

2. К категории Ia относятся работы с интенсивностью энерготрат 120 ккал/ч (139 Вт), производимые сидя и сопровождаемые незначительным физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях точного приборо- и машиностроения, на часовом, швейном производствах, в сфере управления и т.п.).

3. К категории Ib относятся работы с интенсивностью энерготрат 121—150 ккал/ч (140—174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (ряд профессий в полиграфической промышленности, на предприятиях связи, контролёры, мастера в различных видах производства и т. п.).

4. К категории IIa относятся работы с интенсивностью энерготрат 151—200 ккал/ч (175—232 Вт), связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определённого физического напряжения (ряд профессий в механосборочных цехах машиностроительных предприятий, в пряжильно-ткацком производстве и т. п.).

5. К категории IIb относятся работы с интенсивностью энерготрат 201—250 ккал/ч (233—290 Вт), связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий в механизированных литейных, прокатных, кузнецких, термических, сварочных цехах машиностроительных и metallurgических предприятий и т. п.)

6. К категории III относятся работы с интенсивностью энерготрат более 250 ккал/ч (более 290 Вт), связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг)

тяжестей и требующие больших физических усилий (ряд профессий в кузнечных цехах с ручной ковкой, литейных цехах с ручной набивкой и заливкой опок на машиностроительных и металлургических предприятиях и т. п.).

Таблица 10.1

Оптимальные значения показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °C	Температура поверхности, °C	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22—24	21—25	0,1
	Iб(140—174)	21—23	20—24	0,1
	IIa(175—232)	19—21	18—22	0,2
	IIб (233—290)	17—19	16—20	0,2
	III (более 290)	16—18	15—19	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23—25	22—26	0,1
	Iб(140—174)	22—24	21—25	0,1
	IIa(175—232)	20—22	19—23	0,2
	IIб (233—290)	19—21	18—22	0,2
	III (более 290)	18—20	17—21	0,3

Примечание. Относительная влажность воздуха 60—40 %.

Общие требования и показатели микроклимата

Интенсивность работы гомеостатических систем регулирования внутренней температуры зависит от внешних условий среды: температуры, влажности, скорости движения воздуха и наличия энергетических полей. Эффективность гомеостатических систем зависит от состояния нервной и эндокринной** систем человека.

Микроклимат производственных помещений — климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей и интенсивностью теплового облучения.

Указанные параметры — каждый в отдельности и в совокупности — оказывают значительное влияние на работоспособность человека, его самочувствие и здоровье. В производственных условиях характерно *суммарное действие* микроклиматических факторов.

* Условно ее можно назвать информационной системой.

Скорее исполнительная система, так как контролирует образование гормонов, секреций (например, потовоыделение), состав крови и т.п. В обоих системах заложена информационная основа в виде молекул ДНК.

Санитарные правила и нормы СанПин 2.2.4.548—96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» устанавливают гигиенические требования к показателям микроклимата рабочих мест производственных помещений с учётом интенсивности энерготрат работающих, времени выполнения работы, периодов года и содержат требования к методам измерения и контроля микроклиматических условий.

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Температура воздуха является одним из основных параметров, характеризующих тепловое состояние микроклимата.

Влажность воздуха — содержание в воздухе водяного пара. Различают абсолютную, максимальную и относительную влажность.

Абсолютная влажность A — упругость водяных паров, находящихся в момент исследования в воздухе, выраженная в миллиметрах ртутного столба, или массовое количество водяных паров, находящихся в 1 м³ воздуха, выражаемое в граммах.

Максимальная влажность F — упругость или масса водяных паров, которые могут насытить 1 м³ воздуха при данной температуре.

Относительная влажность R — это отношение абсолютной влажности к максимальной, выраженное в процентах.

В воздухе, избыточно насыщенном водяными парами, затрудняется испарение влаги с поверхности кожи и дыхательных путей, что может привести к ухудшению здоровья и снижению работоспособности. При понижении относительной влажности до 20—30 % у человека возникает неприятное ощущение сухости слизистых оболочек верхних дыхательных путей.

Движение воздуха человек начинает ощущать при скорости около 0,15 м/с. Если температура воздуха при этом менее 36 °C, то человек ощущает освежающее действие воздушного потока. При температуре воздуха выше 40 °C такие потоки действуют угнетающе.

Непосредственным измерением трудно установить количество теплоты, отдаваемой человеком. Поэтому об интенсивности общей теп-

лоотдачи судят по косвенным показателям — значениям эффективной и эквивалентно — эффективной температур, характеризующих пребывание в так называемой «зоне комфорта», где терморегуляция обеспечивается организмом легко, или за пределами этой зоны, когда для нормальной терморегуляции организм человека преодолевает большие нагрузки. Эти температуры определяют по номограмме (рис. 10.1).

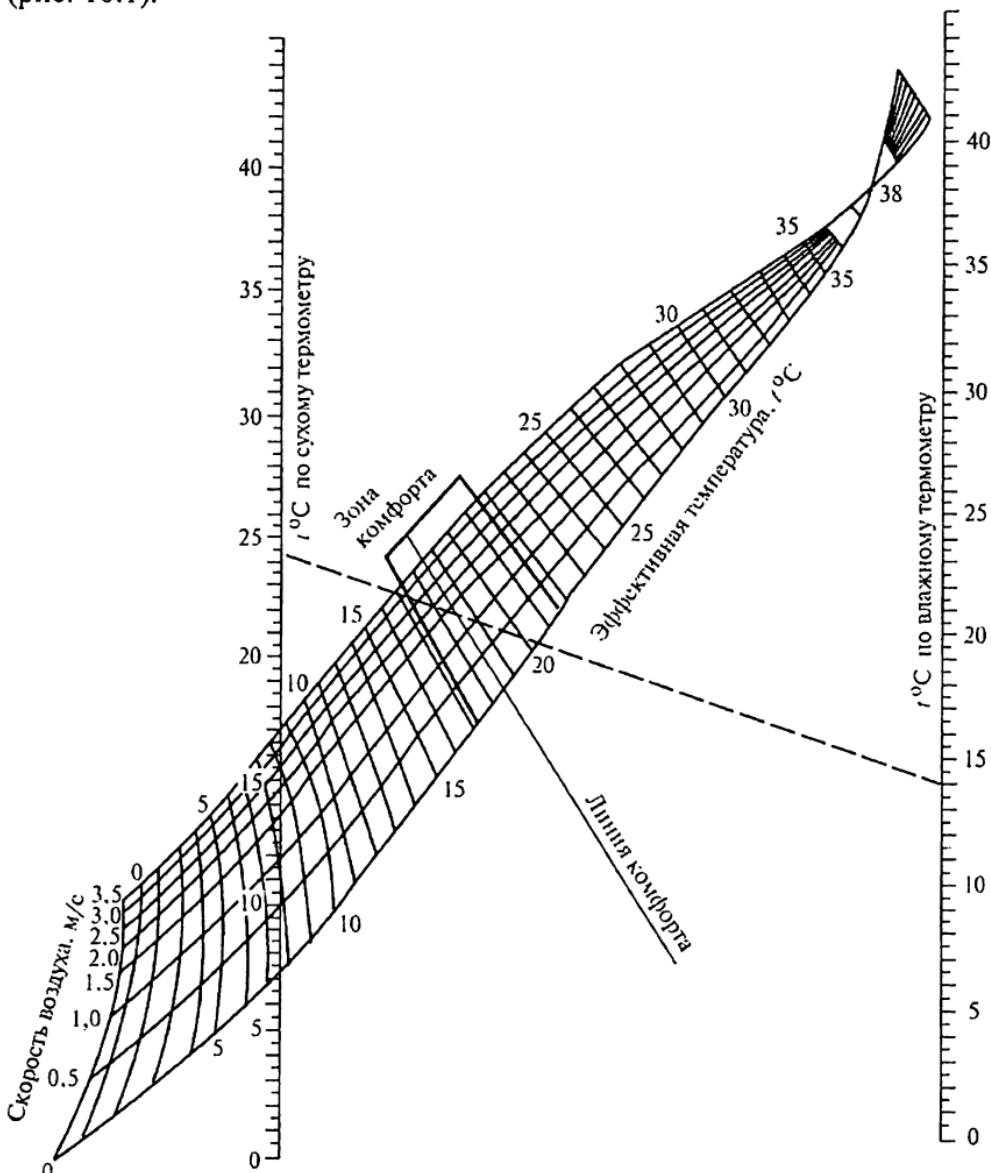


Рис. 10.1. Номограмма для определения эффективной и эквивалентно-эффективной температур и зоны комфорта

Эффективной называется температура воздуха, ощущаемая человеком при определенной относительной влажности воздуха и при отсутствии движения воздуха в помещении.

Эквивалентно-эффективной называется температура воздуха, ощущаемая человеком при определенной относительной влажности воздуха и определенной скорости его движения.

Холодный период года — период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной $+10^{\circ}\text{C}$ и ниже.

Теплый период года — период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$.

Оптимальные условия микроклимата

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Оптимальные значения показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением (в кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.). Перечень других рабочих мест и видов работ, при которых должны обеспечиваться оптимальные величины микроклимата определяются Санитарными правилами по отдельным отраслям промышленности и другими документами, согласованными с органами Государственного санитарно-эпидемиологического надзора в установленном порядке.

Под *рабочим местом* понимается участок помещения, на котором в течение рабочей смены или части ее осуществляется трудовая деятельность. Рабочим местом может являться несколько участков производственного помещения. Если эти участки расположены по всему помещению, то рабочим местом считается вся площадь помещения.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в табл. 10.1, приме-

нительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Перепады температуры воздуха по высоте и по горизонтали, а также изменения температуры воздуха в течение смены при обеспечении оптимальных величин микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2 °С и выходить за пределы величин, указанных в табл. 10.1 для отдельных категорий работ.

Допустимые условия микроклимата

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 10.2 применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

При обеспечении допустимых величин микроклимата на рабочих местах:

- перепад температуры воздуха по высоте — не более 3 °С;
- перепад температуры воздуха по горизонтали, а также её изменения в течение смены не должны превышать:
 - при категориях работ Iа и Iб — 4 °С;
 - при категориях работ IIа и IIб — 5 °С;
 - при категории работ III — 6 °С.

При этом абсолютные значения температуры воздуха не должны выходить за пределы величин, указанных в табл. 10.2 для отдельных категорий работ.

При температуре воздуха на рабочих местах 25 °С и выше максимально допустимые величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы:

- 70 % — при температуре воздуха 25 °С;
- 65 % — при температуре воздуха 26 °С;

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энерготрат, Вт	Температура воздуха, °C		Температура поверхности, °C	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин		для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia (до 139)	20—21,9	24,1—25	19—26	0,1	0,1
	Iб(140-174)	19—20,9	23,1—24	18—25	0,1	0,1
	IIa(175-232)	17—18,9	21,1—23	16—24	0,1	0,2
	IIб (233-290)	15—16,9	19,1—22	14—23	0,2	0,2
	(более 290)	13—15,9	18,1—21	12—22	0,3	0,3
Теплый	Ia (до 139)	21—22,9	25,1—28	20,0—29	0,1	0,1
	Iб(140-174)	20—21,9	24,1—28	19,0—29	0,1	0,1
	IIa(175-232)	18—19,9	22,1—27	17,0—28	0,1	0,2
	IIб (233-290)	16—18,9	21,1—27	15,0—28	0,2	0,2
	III (более 290)	15—17,9	20,1—26	14,0—27	0,3	0,3

Примечание. Относительная влажность воздуха 15—75 %.

60 % — при температуре воздуха 27 °C;

55 % — при температуре воздуха 28 °C.

При температуре воздуха 26—28 °C скорость движения воздуха, указанная в табл. 10.2 для теплого периода года, должна соответствовать диапазону:

0,1—0,2 м/с — при категории работ Ia;

0,1—0,3 м/с — при категории работ Iб;

0,2—0,4 м/с — при категории работ IIa;

0,2—0,5 м/с — при категориях работ IIб и III.

Указания по технике безопасности

- Строго соблюдайте инструкцию по технике безопасности на стенде.
- Не включайте стенд без проверки его преподавателем.
- В случае неисправности отключите стенд.

Применяемое оборудование

Лабораторная установка представляет собой макет помещения для моделирования различных метеорологических условий на рабочих местах.

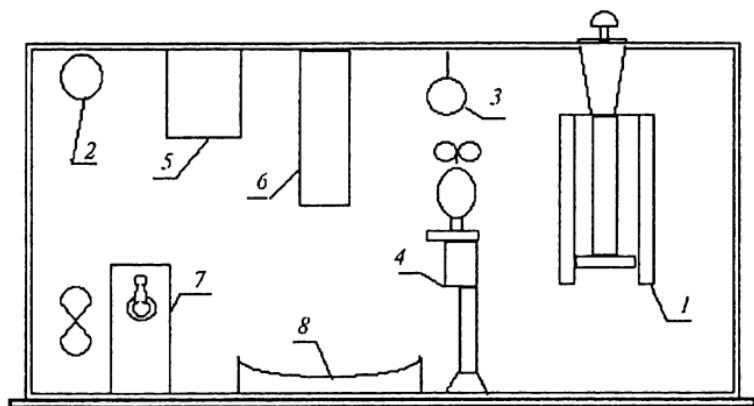


Рис. 10.2. Камера для исследования

Внутри макета, представленного на рис. 10.2, для измерения основных параметров микроклимата установлены аспирационный психрометр 1, барометр 2, анемометр крыльчатый 3, анемометр чашечный 4, секундомер 5, гигрометр 6. Для создания воздушного потока на лабораторном стенде имеется вентилятор, включение которого производится тумблером 7. Для изменения влажности воздуха внутри макета имеется емкость с водой 8.

В обычных условиях для измерения температуры воздуха используются термометры (ртутные или спиртовые), термографы (регистрирующие изменение температуры за определенное время) и сухие термометры психрометров. Для определения влажности воздуха применяются переносные аспирационные психрометры (Ассмана), реже стационарные психрометры (Августа) и гигрометры.

Скорость движения воздуха измеряется крыльчатыми и чашечными анемометрами, а также термоанемометрами.

Аспирационный психрометр МВ-4М

Аспирационный психрометр МВ-4М предназначен для определения относительной влажности воздуха в диапазоне от 10 до 100 % при температуре от -30 до $+50$ $^{\circ}\text{C}$. Цена деления шкал термометров не более $0,2$ $^{\circ}\text{C}$. Принцип его работы основан на разности показаний сухого и смоченного термометров в зависимости от влажности окружа-

жающего воздуха. Он состоит из двух одинаковых ртутных термометров, резервуары которых помещены в металлические трубы защиты. Эти трубы соединены с воздухопроводными трубками, на верхнем конце которых укреплен аспирационный блок с крыльчаткой, заводимый ключом.

Перед измерением резервуар правого термометра, обернутый тонкой тканью, смачивается дистиллированной водой с помощью пипетки. Затем ключом заводят пружину вентилятора психрометра. При этом снизу засасывается воздух, который отекает резервуары термометров. Таким образом, сухой термометр показывает температуру этого потока воздуха, а показания смоченного термометра будут меньше, так как он охлаждается вследствие испарения воды с поверхности ткани. Показания термометров снимаются не ранее, чем через три минуты после начала работы вентилятора.

При измерениях аспирационным психрометром значение абсолютной влажности находится из следующего выражения:

$$A = F_{\text{вл}} - 0,5 (t_{\text{сух}} - t_{\text{вл}}) B / 755, \quad (10.2)$$

где A — абсолютная влажность воздуха, мм рт.ст.; $F_{\text{вл}}$ — максимальная влажность при температуре влажного термометра $t_{\text{вл}}$, берется из табл. 10.3; $t_{\text{сух}}$, $t_{\text{вл}}$ — температуры, измеренные сухим и влажным термометрами, °C; B — барометрическое давление, мм рт.ст.

Относительная влажность воздуха R , %, определяется из следующего выражения:

$$R = 100 \cdot A / F_{\text{сух}}, \quad (10.3)$$

где $F_{\text{сух}}$ — значение максимальной влажности при температуре сухого термометра $t_{\text{сух}}$ берется из табл. 10.3.

Таблица 10.3

Максимальная влажность (давление водяных паров при насыщении, мм рт. столба) при разных температурах

Температура воздуха, °C	Максимальная влажность $F_{\text{вл}}, F_{\text{сух}}, \text{мм рт.ст}$	Температура воздуха, °C	Максимальная влажность $F_{\text{вл}}, F_{\text{сух}}, \text{мм рт.ст}$	Температура воздуха, °C	Максимальная влажность $F_{\text{вл}}, F_{\text{сух}}, \text{мм рт.ст}$
10	9,209	17	14,530	25	23,756
11	9,844	18	15,477	26	25,207
12	10,518	19	16,477	27	26,739
13	11,231	20	17,735	28	28,344
14	11,967	21	18,650	29	30,034
15	12,788	22	19,827	30	31,842
16	13,967	23	21,068	31	33,695

Относительная влажность может быть определена также по психрометрической таблице (табл. 10.4) или номограмме, приведенной на стенде. Для этого по вертикальным линиям номограммы отмечают показания сухого термометра, по наклонным — показания влажного термометра; на пересечении этих линий получают значение относительной влажности, выраженное в процентах. Линии, соответствующие десяткам процентов, обозначены на номограмме цифрами: 20, 30, 40, 50 и т. д.

Таблица 10.4

Психрометрическая таблица

(относительные влажности по показаниям сухого и влажного термометров)

Разность показаний термометров, °C	Показания сухого термометра, °C								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
1	81	87	88	89	90	92	93	93	94
2	64	72	76	80	82	85	86	87	88
3	46	59	66	71	74	77	79	81	82
4	29	45	55	62	66	70	73	75	76
5	13	33	44	53	59	63	67	70	72
6	—	21	34	44	52	57	61	64	66
7	—	9	25	36	45	50	55	59	61
8	—	—	15	28	38	44	50	54	56
9	—	—	6	20	30	38	44	50	52
10	—	—	—	13	24	33	39	44	48

Анемометр крыльчатый АСО-3

Крыльчатый аномометр применяется для измерения скоростей движения воздуха в диапазоне от 0,3 до 5 м/с. Ветроприемником аномометра служит крыльчатка, насаженная на ось, один конец которой закреплен на неподвижной опоре, а второй — через червячную передачу передает вращение редуктору счетного механизма. Его циферблат имеет три шкалы: тысяч, сотен и единиц. Включение и выключение механизма производится арретиром. Чувствительность прибора не более 0,2 м/с. Для определения скорости движения воздуха, измеренной с помощью аномометра (крыльчатого или чашечного), используется выражение:

$$V = (C_2 - C_1) / T, \quad (10.4)$$

где V — скорость движения воздуха, дел/с; C_1 и C_2 — начальные и конечные показания аномометра, дел.; T — продолжительность измерения, с.

Для перевода значения скорости движения воздуха из дел/с в м/с следует использовать график к крыльчатому аномометру (см. рисунок на стенде).

Значения эффективной и эквивалентно-эффективной температур, характеризующих пребывание в зоне, называемой «зоной комфорта», определяют по номограмме (см. рис. 10.1). Эффективная температура определяется по номограмме на пересечении прямой линии, соединяющей показания сухого и влажного термометров (полученных по аспирационному психрометру) и нижней линией температур при скорости движения воздуха, равной нулю.

Эквивалентно-эффективная температура определяется по номограмме таким же способом, как эффективная, только с учетом разных скоростей движения воздуха, показанных на номограмме изогнутыми линиями.

Порядок выполнения работы

1. Определение влажности воздуха:

- смочите дистиллированной водой с помощью пипетки ткань на правом резервуаре психрометра;
- заведите механизм вентилятора ключом психрометра и через 3—4 минуты запишите показания $t_{\text{сух}}$ сухого и $t_{\text{вл}}$ влажного термометров;
- измерьте барометрическое давление барометром — анероидом. Полученные значения подставьте в выражения (10.2) и (10.3) и вычислите значения абсолютной и относительной влажности.

2. Измерение скорости движения воздуха в камере с помощью крыльчатого анемометра:

- перед измерением запишите начальные показания счетчика по всем трем шкалам;
- включите вентилятор и анемометр на 60 секунд и запишите показания счетчика анемометра в протокол.

Студенты выполняют один из следующих вариантов работы в зависимости от номера бригады.

Номер бригады	1	2	3	4	5	6
Вариант задания	1	2	3	1	2	3

Вариант 1

1. Измерьте давление барометром-анероидом.

2. Определите температуру и относительную влажность воздуха в производственном помещении с помощью аспирационного психрометра (протокол № 1).

3. Определите скорость движения воздуха с помощью крыльчатого анометра (для создания воздушного потока включите вентилятор) (протокол № 2).

4. Определите эффективную и эквивалентно-эффективную температуры для полученных значений температур и скорости движения воздуха (см. рис. 10.1).

5. Сделайте выводы о состоянии микроклимата в помещении, сравнив полученные данные с нормами для данного периода года (см. табл. 10.1 и 10.2). Для следующих профессий: кузнец, швея, токарь, сварщик (протокол № 3).

Вариант 2

1. Измерьте давление барометром-анероидом.

2. Поместите в макет производственного помещения сосуд с водой.

3. Через 5—7 минут определите температуру и относительную влажность воздуха аспирационным психрометром (протокол № 1).

4. Измерьте скорость движения воздуха анометром (включите вентилятор) (протокол № 2).

5. Сделайте выводы о состоянии микроклимата в помещении, сравнив полученные данные с нормами (см. табл. 10.1, 10.2). Для профессий: программист, фрезеровщик, кассир, грузчик (протокол № 3).

Вариант 3

1. Измерьте давление барометром-анероидом.

2. Определите температуры $t_{\text{сух}}$ сухого и $t_{\text{вл}}$ влажного термометров аспирационного психрометра (протокол № 1).

3. Определите скорость движения воздуха анометром (включите вентилятор) (протокол № 2).

4. Определите влажность воздуха по психрометрической таблице (табл. 10.4), по психрометрическому графику на стенде и по гигрометру (протокол № 1).

5. Сделайте выводы о состоянии микроклимата в помещении, сравнив полученные данные с нормами для данного периода года (см. табл. 10.1, 10.2). Заполните протокол № 3 для следующих профессий: слесари, формовщик, инженер-конструктор, кассир-операционист.

Протокол № 1. Определение влажности воздуха

Прибор	Параметр							
	$t_{\text{сух}}$, °C	$t_{\text{вл}}$, °C	Δt , °C	$F_{\text{сух}}$, мм рт.ст	$F_{\text{вл}}$, мм рт.ст	B , мм рт.ст	A , мм рт.ст	R , %
Психрометр аспирационный								

Протокол № 2. Определение скорости движения воздуха

Прибор	Параметр			
	C_1 , дел	C_2 , дел	V , дел/с	V , м/с
Чашечный или крыльчатый анемометр				

Протокол № 3. Оценка микроклиматических условий для данного периода года

Параметр	Параметры микроклимата		
	Фактические	По санитарным нормам (профессия.....)	
		Допустимые	Оптимальные
t , °C			
R , %			
V , м/с			

Содержание отчета

1. Краткая характеристика приборов, используемых в работе.
2. Результаты измерений по форме протоколов № 1 и 2.
3. Выводы о состоянии микроклимата в момент исследования (протокол № 3) и их соответствие с нормами.

Контрольные вопросы

1. Какими основными параметрами характеризуется микроклимат производственных помещений?
2. Что такое абсолютная, максимальная и относительная влажность воздуха?
3. Как влияет изменение влажности окружающего воздуха на организм человека?
4. Поясните принцип работы аспирационного психрометра.
5. Как производится измерение скорости движения воздуха? Принцип действия термоанемометра?
6. Что означают понятия: оптимальные и допустимые микроклиматические условия?
7. Чем определяется тепловой баланс в организме человека?
8. Как определяются энергозатраты организма человека?
9. Какое количество тепловой энергии добавляет в тепловой баланс организма человека поток энергии $\Pi = 10 \text{ мВт} / \text{см}^2$, действующий в течение $t = 4 \text{ ч}$? Коэффициент отражения потока от человека $k = 0,75$. Расчеты произвести для эквивалентной поверхности человека к потоку энергии $S_h = 0,64 \text{ м}^2$. Принять во внимание, что 1 кал = 4,2 Дж.
10. Какое дополнительное количество перегрузки организма в виде теплоты получит человек в течение 8-часового рабочего дня от плоской тепловой батареи площадью $S_b = 0,5 \text{ м}^2$ на расстоянии $r = 2\text{м}$? Степень черноты излучающей по-

верхности батареи $\varepsilon = 0,85$. Батарею следует считать сосредоточенным источником излучения. Мощность излучения батареи P_6 , Вт, рассчитывается по формуле: $P_6 = S_6 \cdot \varepsilon \cdot c_0 \cdot (T/100)^4$, $c_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$ (см. также формулы (7.1) и (7.2) в описании лабораторной работы №7)

11. Определите перегрев организма человека, загорающего на Солнце при потоке солнечной энергии $700 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Дополнительные данные см. в вопросе 9.

12. К какой категории относиться работа оператора ПЭВМ?

13. В чем отличие оптимальных условий микроклимата от допустимых?

14. Как провести измерения параметров микроклимата при аттестации рабочих мест?

Библиографический список

1. Санитарные правила и нормы СанПин 2.2.4.548—96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

ИЗМЕРЕНИЕ ЗВУКОВОЙ МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКА ШУМА

Цель работы

Научиться пользоваться аппаратурой для измерения уровня шума, провести измерения фонового уровня шума в помещении и уровня шума при включенном электромеханическом или электронном устройствах, определить его звуковую мощность, рассчитать уровень шума в расчетной точке.

Содержание работы

1. Изучение принципов нормирования уровня шума в производственном помещении.
2. Измерение шумовых характеристик помещения учебной лаборатории и сравнение их с требованиями санитарных норм.
3. Измерение дополнительных шумов, вносимых электромеханическим или электронным устройством, и определение шумовой характеристики этого устройства.
4. Расчет дополнительных шумов, вносимых в рабочую точку источниками дополнительных шумов.

Характеристика шума и методика акустического расчета

Шумом называют всякий нежелательный (мешающий) для человека звук.

Защита человека от шума является одной из актуальных проблем по ослаблению действия вредного фактора на его здоровье. Шум действует на центральную нервную систему, оказывая неблагоприятное влияние на организм человека. Центральная нервная система является информационной системой организма и требует для своего функционирования достаточно много энергии. Если поток информации стационарен, то происходит привыкание (аккомодация) к стационарным условиям и затраты на поддержание функционирования центральной нервной системы резко снижаются. Шум не является стационарным процессом, он контрастирует с полезным звуковым информационным полем и потому происходит дополнительная перегрузка деятельности центральной нервной системы. Лишние траты энергии организма на реакцию организма на шум приводят к утомляемости, результатом

чего становится увеличение числа ошибок в работе, возникновению травм, прогрессирующая потеря слуха при длительных шумовых воздействиях.

С позиций физики шум (звук) — это акустические продольные волны в диапазоне слышимых частот 20 Гц — 20 кГц, характеризующиеся перепадом давления Δp относительно атмосферного $p_{\text{атм}} = 101$ кПа.

Звуковое давление Δp (Па) — разность между мгновенным значением полного давления в воздухе и средним статическим давлением, которое наблюдается в среде при отсутствии звукового поля (атмосферным — в обычных условиях). В фазе сжатия звуковое давление положительно, а в фазе разряжения — отрицательно. Измерительный датчик звукового давления в шумомере — микрофон.

При распространении звуковой волны происходит перенос энергии. Поток звуковой энергии E (Дж) в единицу времени t (с), отнесенный к поверхности S (м^2), нормальной к направлению распространения волны, называется интенсивностью звука I ($\text{Вт}/\text{м}^2$). Для звуковой волны, распространяющейся в виде плоского фронта, имеем следующие соотношения:

$$I = E/tS = \Delta p^2/\rho c, \quad (11.1)$$

где ρ — плотность среды, $\text{кг}/\text{м}^3$; c — скорость звука в среде, $\text{м}/\text{с}$.

Для воздуха при температуре 20 °C: $\rho = 1,20 \text{ кг}/\text{м}^3$, $c = 344 \text{ м}/\text{с}$; ρc — удельное сопротивление среды, для воздуха при нормальных атмосферных условиях $\rho c = 410 \text{ Па}\cdot\text{с} / \text{м}$.

С физиологической стороны шум (звук) представляет собой ощущение продольных деформаций упругой среды (сжатия и разряжения среды) в виде звуковых образов. Зависимость звукового ощущения Λ от интенсивности звука I сформулирована Фехнером:

$$\Lambda = C \lg (I/I_0),$$

здесь I_0 — порог слышимости, определяемый минимальным значением интенсивности звука, при которой она ощущается звуком; C — некоторая постоянная.

Источник шума характеризуется мощностью W (Вт), т.е. количеством звуковой энергии, излучаемой источником шума в окружающее пространство за единицу времени (Дж/с). Звуковая мощность источника шума W (Вт) связана с интенсивностью шума I ($\text{Вт}/\text{м}^2$) следующим соотношением:

$$W = \oint I(S) dS,$$

где S — поверхность, через которую проходит поток звуковой энергии.

Если источник шума принять за точечный, что допустимо при расстояниях R от источника много больших геометрических размеров самого источника, то при его расположении на полу (т.е. при излучении в полусферу) звуковая мощность определяется по формуле:

$$W = I_{cp} S = I_{cp} 2\pi R^2, \quad (11.2)$$

где I_{cp} — интенсивность звука, усредненная по измерениям звукового давления по нескольким точкам на измерительной поверхности S в виде полусфера радиусом R .

Как физиологическое явление звук ощущается органами слуха в диапазоне частот 20 Гц — 20 кГц. Вне этих пределов находятся неслышимые человеком инфра- и ультразвуки.

При нормировании шума используют октавные полосы частот. Полоса частот, в которой верхняя граничная частота $f_{верх}$ в два раза больше нижней $f_{ниж}$, называется *октавной*.

Среднегеометрическая частота f_{cp} октавной полосы выражается соотношением $f_{cp} = \sqrt{f_{ниж} f_{верх}}$. Измерения, акустические расчеты, нормирование производятся в полосах со среднегеометрическими частотами 31, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Степень восприятия зависит от амплитуды звукового колебания. Так, на частоте 1000 Гц ощущение звука начинается с перепадов давления с амплитудой $\Delta p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па. Величину Δp_0 называют порогом слышимости. Тогда интенсивность звука (11.1), соответствующая порогу слышимости, $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м².

Для объективной оценки характеристики шума были введены логарифмические величины: *уровень интенсивности* L_I , *уровень звукового давления* L_p , что соответствует закону Фехнера,

$$L_I = 10 \cdot \lg(I_{cp}/I_0), \quad I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2, \quad (11.3)$$

$$L_p = 10 \cdot \lg (\Delta p / \Delta p_0)^2, \quad \Delta p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}. \quad (11.3a)$$

Для характеристики звуковой мощности источника шума используется уровень мощности шума L_W

$$L_W = 10 \cdot \lg (W/W_0), \quad W_0 = 10^{-12} \text{ Вт}. \quad (11.3b)$$

При нормальных атмосферных условиях $L_I = L_p = L$. Поэтому для краткости используют термин *уровень шума* L , опуская индексы I , p . Уровень шума характеризует степень ощущения или степень информационного воздействия энергии шума на человека.

Приборы, измеряющие уровень шума, основаны на измерении звукового давления Δp в определенной точке. Чувствительным элементом, реагирующим на изменение давления Δp , является микрофон. Измеряемое звуковое давление зависит от мощности источника шума и от расстояния от этого источника.

Уровень мощности шума источника L_W характеризует мощностные шумовые свойства источника и является величиной, независимой от расстояния, так как W и W_0 постоянные величины.

Характеристиками источника шума, которые указываются в технической документации на изделие, являются:

- 1) уровни мощности шума L_W в октавных полосах частот;
- 2) характеристики направленности излучения источника шума.

В основе расчетной формулы для определения L_W лежит выражение (11.2). Для точечного источника шума значение L_W определяют по результатам нескольких измерений уровня шума L_{cp} на поверхности S , в качестве которой обычно применяют площадь полусфера радиусом R (рис. 11.1):

$$L_W = L_{cp} + 10 \cdot \lg(S/S_0) = L_{cp} + 10 \cdot \lg(2\pi R^2/S_0), \quad (11.4)$$

где L_{cp} — средний уровень измеренного звукового давления по ряду точек на измерительной поверхности S (m^2), $S_0 = 1 m^2$.

При проектировании и эксплуатации промышленных помещений рассчитывают ожидаемые уровни шума L_p , которые будут на рабочих местах (в расчетных точках) с тем, чтобы сравнить их с нормами до-



Рис. 11.1. Измерительная полусфера

пустимого уровня шума и в случае необходимости принять меры к тому, чтобы этот шум не превышал допустимого. Акустический расчет проводится в каждой из восьми октавных полос с точностью до десятых долей децибел. Результат округляется до целого числа.

Для помещений с источником шума расчет включает:

- выявление n -го количества источников шума и значений L_{W_i} их уровней шумовой мощности в октавных полосах частот;
- выбор расчетных точек и определение расстояний r_i от i -го источника шума до расчетной точки (рабочего места);
- вычисление или определение по справочным данным постоянной B анализируемого помещения для каждой октавной полосы;
- расчет уровня шума L_p в расчетной точке.

Звуковые волны от источника шума в помещениях многократно отражаются от стен, потолка и различных предметов. Отражения обычно увеличивают шум по сравнению с шумом того же источника на открытом воздухе. Интенсивность шума I в расчетной точке помещения складывается из интенсивности прямой звуковой волны от источника $I_{\text{пр}}$ и интенсивности отраженного звука $I_{\text{отр}}$:

$$I = I_{\text{пр}} + I_{\text{отр}} = \frac{W}{2\pi r^2} + \frac{4W}{B},$$

где B — постоянная помещения, м^2 (табл. 11.1).

Таблица 11.1
Значения постоянной помещения B для объема помещения $V = 288 \text{ м}^3$ (длина $l = 12 \text{ м}$, ширина $b = 6 \text{ м}$, высота $h = 4 \text{ м}$)

Характеристика помещения	Среднегеометрические частоты октавных частотных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1. Без мебели с небольшим количеством людей (металлообрабатывающие цехи, испытательные стенды)	9,4	8,9	9,2	10,8	14,4	21,6	34,6	60,4
2. С большим количеством людей и мягкой мебели (учебные лаборатории, конструкторские залы, библиотеки)	31,2	29,8	30,7	36	48	72	115	202
3. Со звукопоглощающей облицовкой потолка и части стен	130	124	128	150	200	300	480	840

Для помещения, в котором установлено несколько источников шума с одинаковой звуковой мощностью W , интенсивность в расчетной точке определяется по формуле:

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{W}{2\pi r_i^2} + \frac{4nW}{B} = W \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi r_i^2} + \frac{4n}{B} \right), \quad (11.5)$$

где r_i — расстояние от акустического центра i -го источника шума до расчетной точки. Акустический центр источника шума определяется координатами проекции геометрического центра источника на горизонтальную плоскость.

Значение уровня шума L в расчетной точке получим, разделив выражение (11.5) на $I_0 = W_0 S_0$ ($S_0 = 1 \text{ м}^2$) и логарифмируя:

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} = L_W + 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n \frac{S_0}{2\pi r_i^2} + \frac{4nS_0}{B} \right), \quad (11.6)$$

При наличии акустических волн от n некоррелированных источников шума, которые создают в расчетной точке среднеквадратическое давление Δp , равное сумме парциальных давлений Δp_i ($i = 1, 2, \dots, n$):

$$\Delta p^2 = \sum_{i=1}^n \Delta p_i^2.$$

Уровень звукового давления для нескольких источников рассчитывается из выражения

$$L_p = 10 \lg(\Delta p / \Delta p_0)^2 = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i^2}{\Delta p_0^2} \right) = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{pi}} \right),$$

где L_{pi} — уровень звукового давления от i -го источника в расчетной точке.

Пример. Рассчитайте уровень шума L_p в расчетной точке, который создается шумовым фоном $L_\Phi = 50 \text{ дБ}$ и шумом от источника $L = 57,2 \text{ дБ}$.

$$L_p = 10 \lg(10^{0,1 L_\Phi} + 10^{0,1 L}) = 10 \lg(10^{0,1 \cdot 50} + 10^{0,1 \cdot 57,2}) = 58 \text{ дБ}. \quad (11.7)$$

Указания по технике безопасности

1. Не включайте стенд без проверки преподавателем.
2. При обнаружении неисправности в работе источника шума или шумомера прекратите работу и сообщите об этом преподавателю.

Описание лабораторной установки и приборов

На лабораторном стенде установлен источник шума (электродвигатель, принтер, электровентилятор или другой тип источника). На расстоянии 1,1 м от источника шума находится микрофон, укрепленный на металлической штанге.

Вращением штанги изменяют положение микрофона по одной из траекторий сферы вокруг источника шума.

Измеритель уровня шума ИШВ-1 в лабораторной работе предназначен для измерения действующих значений уровня звукового давления в октавных полосах частот. Инструкция для работы с шумометром находится при стенде.

Порядок проведения работы

1. Ознакомьтесь с инструкцией по использованию шумометра (см. с. 128). Включите шумомер и убедитесь в его работоспособности. Произведите начальную установку переключателей и кнопок на передней панели прибора:

- для сглаживания шумовых всплесков в лаборатории рекомендуется установить переключатель *Род работы* в положение *S*;
- переключатель *ФЛТ, Hz* установите в положении *OKT*.
- все кнопки в нижнем ряду должны быть отжаты.

При нажатой кнопке выбора частотного диапазона включаются фильтры среднегеометрических частот в Гц, при отжатой кнопке — в кГц.

2. Измерьте уровень шума (шумовой фон) L_{Φ} в октавных полосах частот при отключенном источнике шума на лабораторном стенде. Пользуясь инструкцией по использованию шумометра произведите измерение уровня шумового фона L_{Φ} для октавных полос при вертикальном положении штанги с микрофоном. Результаты занесите в табл. 11.2.

3. Включите источник шума и измерьте уровни шума L_{pj} ($j = 1, 2, \dots$) при различных (не менее трех) положениях микрофона относительно источника шума. Результаты занесите в табл. 11.2. Вычислите средний уровень шума L_{cp} для октавных полос.

4. По значениям L_{cp} и L_{Φ} вычислите уровень шума $L_p = L_{cp} - L_{\Phi}$, создаваемого источником в каждой октавной полосе частот, по формуле (11.7). Результаты занесите в табл. 11.2.

5. Для каждой октавной полосы рассчитайте уровень мощности шума источника L_W по формуле (11.4), используя вместо $L_{\text{ср}}$ уточненное значение уровня шума L_p . Результаты занесите в табл. 11.2.

Таблица 11.2

Уровни шума и звуковой мощности

Измеренные и расчетные параметры, дБ	Среднегеометрические частоты октавных частотных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_Φ								
L_{p1}								
L_{p2}								
L_{p3}								
$L_{\text{ср}}$								
$L_p = L_{\text{ср}} - L_\Phi$								
L_W								

6. Вычислите уровень шума L от n источников шума (с характеристиками, аналогичными источнику шума на стенде лабораторной работы) в расчетной точке (на рабочем месте), находящейся на расстояниях r_i . При расчетах воспользоваться выражением (11.6) и данными о характеристике помещения лаборатории, представленными в табл. 11.1. Данные о количестве источников n и расстояниях r_i взять из табл. 11.5 согласно номеру бригады исполнителей лабораторной работы. Результаты расчета занесите в табл. 11.4.

7. Учитывая уровень фона L_Φ , приведенный в табл. 11.2, по формуле (11.7) рассчитайте реальный уровень звукового давления L_p в расчетной точке. Результаты расчета занесите в табл. 11.4.

8. Из табл. 11.3 возьмите допустимые значения шума на рабочем месте $L_{\text{доп}}$, соответствующие помещению учебной лаборатории, занесите их в табл. 11.4.

9. В двоичном масштабе по оси абсцисс значений частоты и в линейном масштабе по оси ординат значений шума в дБ постройте графики $L_p(f)$ и $L_{\text{доп}}(f)$. Для этого рассчитайте границы октавных частотных полос и нанесите их равномерно на ось частот f . В каждой октавной полосе обозначьте в виде горизонтальной полосы соответствующее значение L_p или $L_{\text{доп}}$.

Таблица 11.3

Нормативные значения уровней шума (ГОСТ 12.1.003—83)

Рабочее место	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометриче- скими частотами, Гц								Эквивалентный уровень шума, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Помещения КБ, расчетчиков, про- граммистов вычислительных машин, лабораторий для теоретических работ и обработки экспериментальных данных, приема больных здравпунктов	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Помещения управлений (рабочие комнаты)	79	70	68	63	55	52	50	49	60
Кабины наблюдений и дистанционного управления без речевой связи по телефону	94	87	82	78	75	73	71	70	80
Кабины наблюдений и дистанционного управления с речевой связью по телефону	83	74	68	63	60	57	55	54	65
Помещения и участки точной сборки, машбюро	83	74	68	63	60	57	55	54	65
Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, помещения для размещения шумных агрегатов вычислительных машин	94	87	82	78	75	73	71	70	80
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий, рабочие места водителя и обслуживающего персонала грузового автотранспорта, тракторов и др. аналогичных машин	99	92	86	83	80	78	76	74	85

Примечание 1. Нормирование общего уровня шума, измеренного по шкале А (дБА) шумометра, используется для ориентировочной оценки постоянного и непостоянного шума.

Примечание 2. Для тонального и импульсного шума допустимые уровни должны приниматься на 5 дБ меньше значений, указанных в табл. 11.3. Уровни шума для территорий жилой и производственной застройки, а также для различных видов помещений, регламентируются Санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562—96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

10. Сравните полученные с помощью расчетов уровни шума с допустимым уровнем шумов по ГОСТ 12.1.003—83. Сделайте выводы.

Таблица 11.4

Исходные данные и результаты акустического расчета

Расчетные параметры	Среднегеометрические частоты октавных частотных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_W , дБ								
B , м ²								
L , дБ								
L_Φ , дБ								
L_P , дБ								
$L_{\text{доп}}$, дБ								
$L_p - L_{\text{доп}}$, дБ								

Таблица 11.5

Варианты заданий для выполнения акустического расчета

Номер бригады	n	r_1 , м	r_2 , м	r_3 , м	r_4 , м	Характеристика помещения (табл. 11.5)
1	4	3,0	5,0	7,0	9,0	1
2	4	3,2	3,2	5,5	5,5	2
3	4	3,1	3,1	7,8	7,8	3
4	3	3,0	5,5	6,5	-	1
5	3	3,5	4,8	4,8	-	2
6	3	4,0	6,4	8,0	-	3
7	2	4,0	8,0	-	-	1

Примечание. n — количество источников шума в помещении объемом $V = 288$ м³, r_i — расстояния от источника шума до расчетной точки.

Содержание отчета

1. Результаты измерения спектров шума (см. табл. 11.2).
 2. Вычисления среднего уровня звукового давления в каждой октавной полосе по результатам измерений шума в трех точках (см. табл. 11.2).
 3. Сравнение полученных средних уровней звукового давления с уровнем шумового фона в каждой октавной полосе. Для дальнейшего расчета уровня звуковой мощности выделите средние уровни звукового давления шума электроприводов, превышающие уровни звукового давления шумового фона на 3 дБ.
 4. Вычисления уровней звуковой мощности в каждой октавной полосе для выделенных уровней (см. п. 3). Эти данные занесите в табл. 11.2.
 5. Графическая зависимость уровня звуковой мощности от среднегеометрической частоты октавных полос.
- Результаты акустического расчета и соответствующие графики.

ИНСТРУКЦИЯ ПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЕМ ШУМА ВШВ-003-М2

ВШВ-003-М2 предназначен для измерения уровня звука (шума):

- суммарного в диапазоне слышимых частот 63 Гц — 18 кГц ;
- в октавных полосах в диапазоне частот 63 Гц — 8 кГц .

ВШВ-003-М2 состоит из измерительного блока с индикатором и микрофонного блока.

Микрофонный блок закреплен на подвижной штанге, позволяющей менять угловое расположение микрофона относительно измеряемого источника шума. Установка положений штанги производится согласно рекомендациям лабораторной работы № 11.

Просьба: при изменении угловой установки штанги микрофона вращением ручки червячной передачи придерживать штангу рукой во избежание ее угловых раскачиваний.

На передней панели измерительного блока расположены:

- индикатор уровня шума, состоящий из 12 горизонтально расположенных светодиодов и стрелочного прибора;
- ручки переключателей дискретных диапазонов уровней звука (ДЛТ1 , dB и ДЛТ2, dB), переключателя октавных полос (ФЛТ ОКТ), переключателя частотных режимов работы (ФЛТ, Hz) и переключателя рабочих режимов (РОД РАБОТЫ);
- самофиксирующиеся при нажатии кнопки режимов работы (f , V), (10 kHz, 4 kHz), (kHz, Hz), (СВ, ДИФ);
- разъемы калибровочного напряжения 50 мВ и входа микрофонного блока.

1. Включение и установка переключателей прибора ВШВ -003-М2 для измерения уровня шума

На лабораторном стенде прибор ВШВ-003-М2 подключен к сети 220 В. Включение прибора осуществляется установкой ручки переключателя «РОД РАБОТЫ» в положение *F*, либо *S*.

В положении переключателя *F* (fast — быстрый) инерционность стрелочного прибора на передней панели достаточно малая и прибор реагирует даже на кратковременные изменения уровней звука (например, посторонний шум от разговоров, хождения в лаборатории приводят к значительным колебаниям показаний стрелочного прибора).

В положении *S* (slow — медленный) инерционность прибора увеличена, что приводит к уменьшению влияния случайных кратковременных

возмущений. Другие состояния переключателя «РОД РАБОТЫ» в лабораторной работе № 11 не используются.

Переключатель «ФЛТ , Hz» в положении ЛИН — прибор измеряет линейное (без коррекции) изменение суммарного уровня шума в дБ во всем диапазоне слышимых частот. В положении А (акустический) производится суммарное измерение уровня акустического шума в дБА, скорректированного частотной характеристикой прибора под физиологическое восприятие человеческого уха.

Измерение уровня шума в октавных полосах частот производится установкой переключателя ФЛТ, Hz в положении ОКТ. Выбор соответствующей октавной полосы осуществляется переключателем ФЛТ ОКТ. При этом зафиксированная в нажатом состоянии кнопка (kHz, Hz) соответствует шкале частот, обозначенных на переключателе ФЛТ ОКТ черным цветом (Гц), отжатая кнопка — шкале частот, обозначенных синим цветом (кГц).

Примечание: измерение должно проводиться при отжатых кнопках (а, И), (10 kHz, 4 kHz), (СВ, ДИФ).

2. Процесс измерения уровня шума

В процессе измерения уровня шума в октавных полосах частот используются переключатели ДЛТ1 и ДЛТ2 и стрелочный прибор. Процесс измерения состоит из выбора октавной полосы переключателем ФЛТ ОКТ, установки переключателями ДЛТ1 и ДЛТ2 ожидаемого уровня шума^{*} с точностью до десятков дБ и уточнением уровня шума в процессе измерения по шкале стрелочного прибора до значений единиц дБ.

Переключатели ДЛТ1 и ДЛТ2 равнозначны. Уровень шума в десятках дБ равен сумме значений положений ДЛТ1 и ДЛТ2 и фиксируется соответствующим светящимся светодиодом.

Если ожидаемый уровень шума в десятках дБ выставлен правильно, то стрелка прибора находится в пределах (-10 дБ, +10 дБ). Измеренный уровень шума равен алгебраической сумме десятков дБ, установленных на переключателях ДЛТ1 и ДЛТ2, и показаний стрелочного индикатора в единицах дБ, отсчитанных по нижней его шкале в дБ^{**} (с учетом знака + или -).

При заниженном установленном уровне шума по сравнению с реальным измеряемым шумом стрелка прибора зашкаливает вправо (> +10 дБ), а при слишком большой ошибке, т.е. при перегрузке прибора

* Ожидаемый уровень шума весьма расплывчатая формулировка, поэтому рекомендуется вначале уровень шума завысить, например, до 70 дБ, а затем в процессе измерения его понижать.

** Или в дБА при установке переключателя ФЛТ Hz в положение А.

горит светодиод ПРГ. При завышенном установленном уровне шума стрелка прибора находится в близком к крайнему левому положению (< -10 дБ). Измерение на участке шкалы менее -10 дБ не достоверны.

Предупреждение: при залипании (зашкаливании) стрелки прибора в одном из крайних положений не следует постукивать по шкале прибора с целью вызвать отлипание стрелки от ограничителей.

При уходе стрелки вправо за шкалу прибора необходимо одним из переключателей ДЛТ1 либо ДЛТ2 постепенно увеличивать суммарный уровень с дискретностью 10 дБ до погасания сигнала ПРГ и возвращения стрелки прибора на участок шкалы (-10 дБ, 10 дБ).

При показаниях стрелочного прибора менее -10 дБ переключателем ДЛТ1 либо ДЛТ2 следует уменьшить суммарный уровень до возвращения стрелки прибора на участок шкалы (-10 дБ, 10 дБ).

Пример. Проводим измерения для частоты 2 кГц. Установим с помощью ДЛТ1 и ДЛТ2 завышенный уровень 70 дБ. Стрелка прибора ушла в левое крайнее положение. С помощью одного из переключателей ДЛТ1 или ДЛТ2 уменьшим уровень до 60 дБ. При этом светодиод из горизонтального ряда загорится под цифрой 60 дБ. Стрелка прибора не выходит из левого крайнего положения. Повторим процедуру уменьшения уровня с помощью ДЛТ1 или ДЛТ2 до тех пор, пока стрелка прибора не войдет в сектор (-10 дБ, 10 дБ). Пусть это произошло при значении переключателей ДЛТ1 и ДЛТ2, равном 40 дБ. Показания стрелочного прибора равны (-7 дБ). Измеренный результат равен 40 дБ $- 7$ дБ = 33 дБ. Проверим этот результат. Для этого уменьшим с помощью ДЛТ1 и ДЛТ2 уровень измерения до значения 30 дБ. Стрелка прибора показывает 3 дБ. Измеренный результат равен 30 дБ + 3 дБ = 33 дБ, т.е. результат тот же.

В реальных условиях стрелка прибора не стоит на месте из-за дополнительного нерегулярного шума в аудитории, но не настолько, чтобы не уловить среднюю тенденцию ее положения. Следует найти такое положение переключателей ДЛТ1 и ДЛТ2, чтобы стрелка прибора, даже если она «пляшет», находилась в области положительных значений шкалы (0 — 10 дБ), а показания по шкале стрелочного прибора следует брать такие, где стрелка находится наиболее долго или имеется возможность обозначить диапазон ее отклонений и определить среднее значение этого диапазона.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение акустического шума. Действие шума на организм человека.
2. Дайте определение среднегеометрической частоты и октавных полос. Почему используется такой частотный масштаб?

3. Что называют спектром шума при его нормировании?
4. Что такое звуковое давление, интенсивность шума, пороговые значения звукового давления и интенсивности?
5. Как определяются и что определяют уровни звукового давления и интенсивности шума, уровень мощности источника шума?
6. В чем заключается расчет шумовых характеристик помещения с источниками шума
7. Что такое шумовая характеристика источника шума и как она определяется?
8. Как изменится уровень шума от одного и того же источника в открытом пространстве и в помещении?
9. Какой акустический параметр измеряет шумомер?

Библиографический список

1. Методы и средства защиты от шума: учеб. пособие / В.Т. Медведев, А.В. Карапунец, В.В. Корочкин и др. М.: Издательство МЭИ, 1997.
2. Инженерная экология: учебник / под ред. В.Т. Медведева. М.: Гардарики, 2002. С. 96—190.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

Цель работы

Оценка эффективности устройства защитного отключения (УЗО), реагирующего на дифференциальный ток (ток нулевой последовательности), в трехфазных сетях промышленной частоты с заземленной и изолированной нейтралями.

Содержание работы

1. Определение уставки и времени срабатывания УЗО. Заключение об их соответствии предельно допустимым значениям тока, проходящего через человека, по ГОСТ 12.1.038—82.
2. Оценка влияния сопротивлений изоляции фазных проводников на величину дифференциального тока (тока нулевой последовательности).
3. Оценка эффективности УЗО при занулении и защитном заземлении открытых проводящих частей (корпусов электрооборудования).
4. Выводы об эффективности защитного отключения в сетях с заземленной и изолированной нейтралями при прямом прикосновении, а также при косвенном прикосновении при наличии зануления или заземления.

Примечание. Оценка эффективности УЗО в сети с изолированной нейтралью выполняется по указанию преподавателя (см. с. 149 пп. 2.1—2.5 Порядка проведения работы).

Введение

Устройство защитного отключения представляет собой быстро действующую защиту, предназначенную для автоматического отключения защищаемого участка сети при возникновении на этом участке опасности поражения человека током.

Информацию об опасности поражения несет в себе параметр, являющийся входным сигналом для УЗО, которое срабатывает при превышении входным сигналом наперед заданного значения (уставки) и таким образом отключает защищаемый участок сети. В данной работе в качестве входного сигнала УЗО используется ток нулевой последовательности.

В настоящее время вместо терминов ток нулевой последовательности и трансформатор тока нулевой последовательности чаще употребляют термины дифференциальный ток и дифференциальный трансформатор тока соответственно. При этом под дифференциальным током понимают разность рабочих токов, питающих электроустановку или электроприемник, обусловленную протеканием части рабочего тока (тока утечки):

- через человека при прикосновение его к фазному проводнику;
- через защитный проводник при повреждении изоляции электроприемника;
- при снижении сопротивления изоляции.

Таким образом, термин дифференциальный ток распространяется на трехфазные и однофазные сети и на любые условия, вызвавшие протекание тока утечки вне рабочих проводниках.

В данной работе для анализа работы УЗО в однофазных цепях будет использоваться термин дифференциальный ток, как наиболее часто используемый в технической литературе и нормативных документах, например ГОСТ Р 50807—95, ГОСТ Р 51362.1—99, ГОСТ Р 51327.1—99, а также в ПУЭ. В то же время для анализа трехфазных сетей при изменении сопротивлений изоляции отдельных участков сети будет использоваться термин «ток нулевой последовательности», как более соответствующий теоретическим основам электротехники в части анализа несимметричных режимов многофазных сетей.

Устройство защитного отключения, реагирующие на дифференциальный ток однофазных электроприемников

В основе данных УЗО лежит использование в качестве датчика информации о возникновении опасных для человека ситуаций дифференциального трансформатора тока (ДТТ). В ДТТ первичной обмоткой являются проводники питающей линии, проходящие непосредственно через окно торOIDального магнитопровода, либо образующие на нем несколько витков. В последнем случае увеличивается значение тока, наводимого во вторичной обмотке, также намотанной на этот магнитопровод.

Действие УЗО, установленного на участке линии, питающей однофазный электроприемник, без защитного зануления показано на рис. 12.1, а. В нормальном режиме рабочие токи в фазном проводнике I_2 и нулевом рабочем проводнике I_1 , протекая через первичные обмотки дифференциального измерительного тока I , наводят противово-

положно направленные магнитные потоки Φ_2 и Φ_1 . Поскольку в этом случае ток I_2 равен току I_1 , то и магнитные потоки Φ_2 и Φ_1 равны и взаимно скомпенсированы, а ток $I_{\text{вт}}$ во вторичной цепи ДТТ будет отсутствовать.

В случае прикосновения человека к фазе в т. А ток I_2 разветвляется на ток I_1 и ток, протекающий через человека, I_h (т. А на рис. 12.1, б). Контур протекания тока I_h обозначен на рис. 12.1, а штрихом. Поскольку при этом токи I_2 и I_1 , а соответственно магнитные потоки Φ_2 и Φ_1 будут различаться, то во вторичной обмотке ДТТ появится ток $I_{\text{вт}}$, пропорциональный разностному (дифференциальному) току I_Δ :

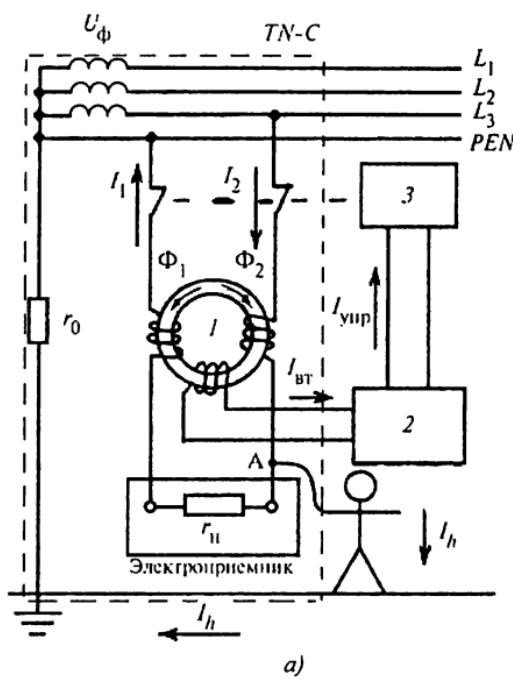
$$I_\Delta = I_2 - I_1 . \quad (12.1)$$

Зная коэффициент трансформации k_t , можно поставить в соответствие ток, проходящий через человека I_h , дифференциальный ток I_Δ и ток во вторичной обмотке $I_{\text{вт}}$:

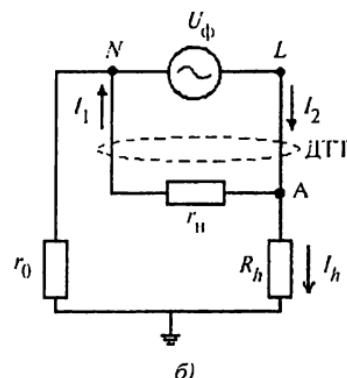
$$I_h = I_\Delta = k_t I_{\text{вт}} . \quad (12.2)$$

Для обеспечения безопасности человека, УЗО должно срабатывать при значении дифференциального тока, т.е. уставке, соответствующей протеканию через человека тока, равного предельно допустимому значению. Эта функция в УЗО реализуется с помощью разностного реле 2. В случае превышения порогового значения подается управляющий сигнал $I_{\text{упр}}$ на отключающий механизм 3 (см. рис. 12.1, а), который разрывает электрическую цепь за время, не превышающее допустимое значение для ожидаемого тока через человека. При этом время отключения $T_{\text{откл}}$ должно соответствовать предельно допустимым значениям тока, проходящего через человека по ГОСТ 12.1.038—82 (см. табл. 1.2 к лабораторной работе № 1).

Таким образом, в приведенном примере обеспечивается безопасность человека при прямом прикосновении к токоведущим частям. При такой схеме электропитания однофазных электроприемников (на рис. 12.1 показана система $TN-C$, в которой нулевой защитный проводник не подсоединен к корпусу) не обеспечивается защита при повреждении изоляции, а также при коротких замыканиях на корпус электроприемника. В этом случае УЗО не работает как превентивная мера защиты, т.е. без прикосновения человека, поскольку отсутствует ток утечки. Если человек не касается фазного проводника или электроприемника с поврежденной изоляцией, то это равносильно отсут-



a)



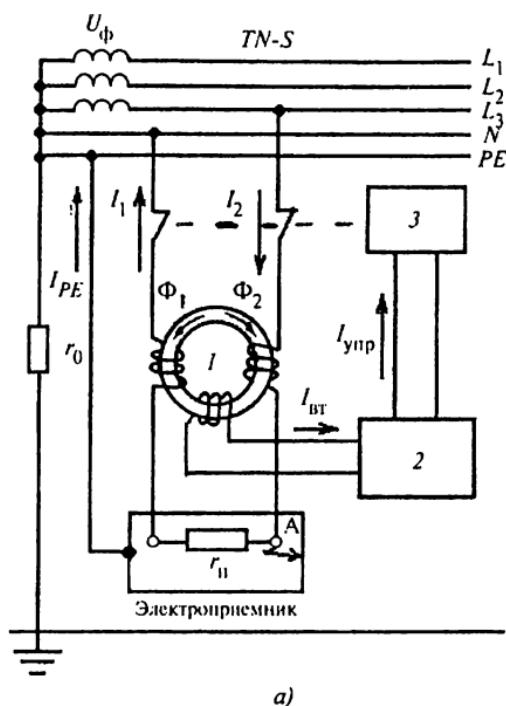
б)

Рис. 12.1. Действие устройства защитного отключения в случае прикосновения человека к фазному проводнику:

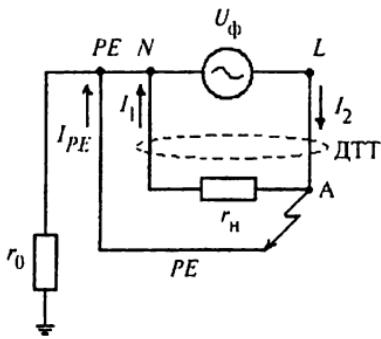
r_0, r_h, R_h — сопротивления заземлителя нейтрали, нагрузки, тела человека; Φ_1 и Φ_2 — магнитные потоки в сердечнике, наводимые токами I_1 и I_2 ; а — принципиальная схема УЗО; 1 — дифференциальный трансформатор тока с торOIDальным магнитопроводом; 2 — разностное реле; 3 — отключающий механизм; б — эквивалентная схема сети, где установлено устройство защитного отключения, при прикосновении человека к поврежденному электроприемнику ($I_\Delta = I_h = I_2 - I_1$)

ствию сопротивления R_h в схеме, представленной на рис. 12.1, б. Следовательно, токи I_1 и I_2 , магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 равны и ток во вторичной обмотке ДТТ будет отсутствовать. Поэтому для питания однофазных электроприемников в жилых и общественных зданиях следует использовать трехпроводные линии: фазный, нулевой рабочий проводник и нулевой защитный проводник (рис. 12.2, а, система $TN-C-S$ и $TN-S$).

Как следует из рис. 12.2, а, при соединении корпуса электроприемника с нулевым защитным PE -проводником, ток короткого замыкания или ток утечки будет протекать по PE -проводнику в «обход» дифференциального трансформатора тока (ДТТ). Поскольку $I_2 = I_1 + I_{PE}$ (т. А на рис. 12.2, б), то токи I_1 и I_2 не будут равны и во вторичной обмотке ДТТ появится ток, который вызовет срабатывание УЗО.



a)



б)

Рис. 12.2. Действие устройства защитного отключения при подключении корпуса к PE-проводнику:

а — принципиальная схема УЗО: 1 — дифференциальный трансформатор тока с торOIDальным магнитопроводом; 2 — разностное реле; 3 — отключающий механизм; *б* — эквивалентная схема работы устройства защитного отключения при подсоединении корпуса электроприемника к PE-проводнику ($I_{\Delta} = I_{PE} - I_1$)

Для контроля работоспособности УЗО создается обходной, относительно ДТТ, контур тока, включающий кнопку «Тест» и токоограничивающее сопротивление R (рис. 12.3).

Устройство защитного отключения характеризуется следующими параметрами:

- 1) номинальный ток нагрузки I_n — значение тока, которое УЗО может пропускать в продолжительном режиме работы;
- 2) номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$ — значение дифференциального тока, которое вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации;
- 3) номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n0}$ — значение дифференциального тока, которое не вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации;
- 4) включающая и отключающая способность (коммутационная способность) I_m — действующее значение ожидаемого тока, кото-

рый УЗО способно включить, пропускать в течение своего времени размыкания и отключить при заданных условиях эксплуатации без нарушения его работоспособности;

5) номинальный условный ток короткого замыкания, характеризующий термическую и электродинамическую стойкость изделия I_{nc} — действующее значение ожидаемого тока, которое способно выдержать УЗО, защищаемое устройством защиты от коротких замыканий, т.е. плавкой вставкой предохранителя с номинальным током, равным току нагрузки УЗО;

6) время отключения T_n — промежуток времени между моментом внезапного возникновения отключающего дифференциального тока и моментом выполнения функции данного устройства до полного гашения дуги.

Стандартные значения максимально допустимого времени отключения УЗО типа АС при любом номинальном токе нагрузки и заданных нормами значениях дифференциального тока не должны превышать приведенных в табл. 12.1. Современные устройства защитного отключения срабатывают за время не более 30 мс.

Таблица 12.1
Зависимость времени отключения УЗО от кратности дифференциального тока

Кратность превышения	$I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$	500А
Время отключения T_n , с	0,3	0,15	0,04	0,04

В табл. 12.2 приведены основные параметры АСТРО*УЗО, выпускаемых ЗАО «АСТРО*УЗО» МЭИ.

Таблица 12.2
Основные параметры УЗО

Параметр	Номинальное значение
Номинальный ток нагрузки I_n , А	16, 25, 40, 63, 80, 100, 125
Номинальный отключающий дифференциальный ток (установка) $I_{\Delta n}$, мА	10, 30, 100, 300
Номинальный неотключающий дифференциальный ток $I_{\Delta no}$	0,5 $I_{\Delta n}$
Включающая и отключающая (коммутационная) способность I_m , А	1500
Условный расчетный ток короткого замыкания при последовательно включенной плавкой вставке 63 А I_{nc} , кА	10
Время отключения при номинальном дифференциальном токе T_n , мс	Не более 30

Устройство защитного отключения используется как для однофазных электроприемников (двуухполюсные УЗО), так и для трехфазных электроприемников (четырехполюсные УЗО). На рис. 12.3 показаны электрические схемы УЗО с условными обозначениями основных функциональных блоков УЗО.

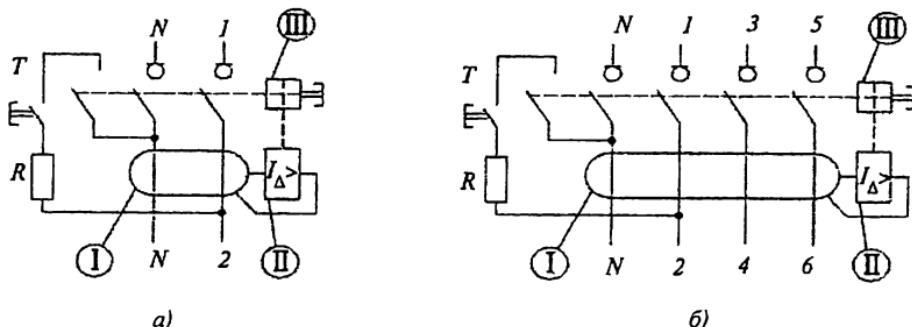


Рис. 12.3. Электрические схемы устройств защитного отключения:
а — двухполюсное УЗО; б — четырёхполюсное УЗО; I — дифференциальный трансформатор тока; II — блок сравнения дифференциального тока с уставкой; III — блок отключения; Т — кнопка тестирования работоспособности УЗО; R — сопротивление в цепи тестирования

Принципиальные электрические схемы наносятся на лицевую панель устройства защитного отключения.

Принцип действия УЗО в трехфазных сетях

Принцип действия УЗО для трехфазных электроприемников точно такой же, как и для однофазных электроприемников. Только в них торOIDальный магнитопровод охватывает три фазных проводника, а при необходимости и нулевой рабочий проводник, например, в сетях с глухозаземленной нейтралью. Для этого используются четырехполюсные УЗО.

При этом устройство защитного отключения любого типа включает в себя датчик входного сигнала, пороговый элемент и исполнительный механизм, отключающий электроустановку. В настоящей работе исследуется эффективность УЗО, реагирующего на *ток нулевой последовательности* — векторную сумму фазных токов утечки на землю.

Примечание. При условии, что нагрузка соединена по схеме «звезда» или «треугольник» и не имеет электрической связи с землей, векторная сумма рабочих токов (токов, текущих через нагрузку в нормальном режиме) всегда равна нулю.

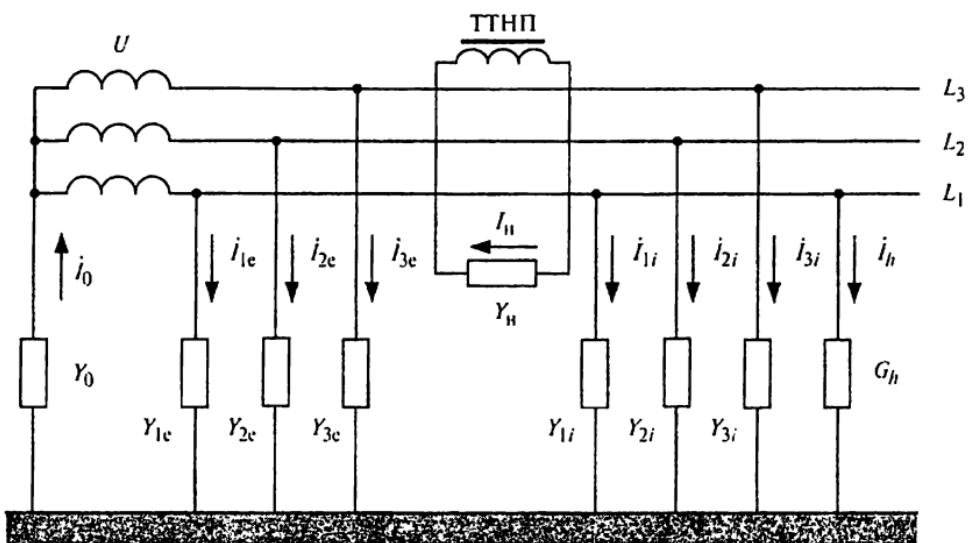


Рис. 12.4. Схема для расчета уставки

Устройство защитного отключения этого типа могут применяться в сетях напряжением 127, 220, 380, 660 В независимо от режима нейтрали, однако наиболее эффективно их использование в сетях глухозаземленной нейтралью.

Схема сети с таким УЗО приведена на рис. 12.4, где введены следующие обозначения:

U — фазное напряжение; Y_{1e}, Y_{2e}, Y_{3e} — проводимости фазных проводников сети относительно земли вне зоны защиты УЗО; Y_{1i}, Y_{2i}, Y_{3i} — проводимости фазных проводников сети относительно земли в зоне защиты УЗО; Y_0 — проводимость нейтральной (нулевой) точки источника питания сети относительно земли; G_h — общая проводимость тела человека, обуви, пола; $\dot{I}_{1e}, \dot{I}_{2e}, \dot{I}_{3e}$ — комплексные значения токов утечки вне зоны защиты; $\dot{I}_{1i}, \dot{I}_{2i}, \dot{I}_{3i}$ — комплексные значения токов утечки в зоне, защиты; \dot{I}_0 — комплексное значение тока, протекающего через проводимость Y_0 ; \dot{I}_h — комплексное значение тока, протекающего через человека, прикосноввшегося к фазе I в зоне защиты УЗО.

При этом:

$$Y_{1e} = 1/r_{1e} + j \omega C_{1e}; \quad Y_{2e} = 1/r_{2e} + j \omega C_{2e}; \quad Y_{3e} = 1/r_{3e} + j \omega C_{3e};$$

$$Y_{1i} = 1/r_{1i} + j \omega C_{1i}; \quad Y_{2i} = 1/r_{2i} + j \omega C_{2i}; \quad Y_{3i} = 1/r_{3i} + j \omega C_{3i};$$

$$Y_0 = 1/r_0; \quad C_h = 1/R_{h\text{ц}}; \quad R_{h\text{ц}} = R_h + R_\pi;$$

где r_{1e}, r_{2e}, r_{3e} — активные сопротивления изоляции фазных проводников сети вне зоны защиты УЗО; C_{1e}, C_{2e}, C_{3e} — емкости этих проводников относительно земли; r_{1i}, r_{2i}, r_{3i} — активные сопротивления изоляции фазных проводников сети в зоне защиты УЗО; C_{1i}, C_{2i}, C_{3i} — емкости этих проводников относительно земли; r_0 — активное сопротивление заземления нейтрали; R_h — сопротивление тела человека; R_n — переходное сопротивление между человеком и землей (обуви, пола и т.п.); $R_{hц}$ — сопротивление току, протекающему через человека по цепи, включающей сопротивление тела человека и переходное сопротивление.

Емкости фазных проводников относительно земли приблизительно одинаковы, а в зоне защиты, поскольку, как правило, она невелика, они к тому же еще и малы, т.е. $C_{1i} = C_{2i} = C_{3i} = 0$.

Поэтому можно считать, что $Y_{1i} = 1/r_{1i}$; $Y_{2i} = 1/r_{2i}$; $Y_{3i} = 1/r_{3i}$.

В исправной трехфазной сети при равенстве (симметрии) проводимостей фазных проводников относительно земли векторная сумма фазных токов равна нулю. При нарушении указанных условий эта сумма становится отличной от нуля — возникает суммарный ток несимметрии \dot{I}_Σ , являющийся током нулевой последовательности.

Действующее значение тока \dot{I}_Σ на защищаемом участке служит входным сигналом для датчика УЗО — трансформатора тока нулевой последовательности (ТТНП). Значение тока \dot{I}_Σ сравнивается с уставкой I_y в усилителе-преобразователе, который при $\dot{I}_\Sigma \geq I_y$ выдает управляющий сигнал $U_{\text{упр}}$ на исполнительный орган УЗО для отключения защищаемого участка от сети.

Трансформатор ТТНП имеет торOIDальный магнитопровод, на котором намотана вторичная обмотка, подключенная к входному сопротивлению усилителя-преобразователя. Первичными обмотками трансформатора служат фазные проводники, пропущенные через окно магнитопровода. Если сеть трехфазная четырехпроводная (с нулевым проводником) и если при этом наряду с трехфазной имеется и однофазная, например, осветительная нагрузка, то через окно магнитопровода пропускается также и нулевой рабочий проводник.

В качестве пускового органа используется магнитоэлектрическое реле или электронный усилитель, имеющий релейную характеристику.

В качестве исполнительного органа используется контактная группа УЗО. В отдельных случаях для отключения применяют контакторы, магнитные пускатели и другие коммутирующие аппараты.

Устройство защитного отключения рассматриваемого типа будет срабатывать при неравенстве проводимостей фазных проводников относительно земли в зоне защиты, которое может возникнуть:

1) в случае неравенства сопротивлений изоляции фазных проводников;

2) при прикосновении человека к любому фазному проводнику или корпусу изолированного от земли оборудования, на который замкнулся фазный проводник;

3) в случае замыкания любого фазного проводника на землю или на корпус заземленного оборудования.

Кроме того, устройство защитного отключения срабатывает при замыкании фазного проводника на зануленный корпус электроустановки, а также при сочетании указанных причин.

Естественно, во всех перечисленных случаях должно выполняться условие $I_{\Sigma} \geq I_y$.

Основная задача устройства защитного отключения — обеспечить безопасность человека при прикосновении к одной фазе или к корпусу электроустановки, оказавшемуся под опасным напряжением. Это достигается за счет быстродействия УЗО и соответствующего значения уставки.

Таким образом, время срабатывания и уставка являются основными характеристиками устройства защитного отключения.

При прикосновении к одной фазе защита считается эффективной, если УЗО срабатывает за время, в течение которого ток, проходящий через человека, не превышает значение допустимого тока, соответствующего ГОСТ 12.1.038—2 (см. табл. 1.2 к лабораторной работе №1).

Для исправной сети в случае прикосновения человека к фазе I в соответствии с первым законом Кирхгофа (см. рис. 12.4).

$$I_0 = I_{1e} + I_{2e} + I_{3e} + I_{1i} + I_{2i} + I_{3i} + I_h.$$

Обозначив $I_{\Sigma} = I_{1i} + I_{2i} + I_{3i} + I_h$, получим:

$$I_{\Sigma} = I_0 - I_{1e} - I_{2e} - I_{3e} - I_h.$$

Из схемы, представленной на рис. 12.4, видно, что ТТНП будет реагировать только на токи утечки в зоне защиты. Следовательно, устройство защитного отключения, реагирующее на ток нулевой последовательности, является селективной защитой. При этом входной

сигнал равен векторной сумме токов утечки в зоне защиты и тока, проходящего через тело человека, т.е.

$$\dot{I}_{\Sigma} = \dot{I}_{1i} + \dot{I}_{2i} + \dot{I}_{3i} + \dot{I}_h. \quad (12.3)$$

Ток в нагрузке ТТНП будет равен

$$\dot{I}_h = k \dot{I}_{\Sigma}. \quad (12.4)$$

где k — коэффициент трансформации ТТНП.

Аналитическое выражение (12.3) подтверждает, что при равенстве токов утечки в зоне защиты до прикосновения человека к фазе ($I_h = 0$) входной сигнал УЗО будет равен нулю ($\dot{I}_{\Sigma} = 0$). После прикосновения человека к фазе входной сигнал УЗО будет определяться протекающим через человека током. При пофазном неравенстве токов утечки входной сигнал в случае прикосновения человека к разным фазам будет различным. При большой пофазной разнице токов утечки входной сигнал может превысить уставку и вызвать срабатывание УЗО без прикосновения человека к фазе.

На основании первого закона Кирхгофа с учетом выражений (12.3) и (12.4) запишем:

$$\dot{I}_h = k \left[\dot{I}_0 - (\dot{I}_{1e} + \dot{I}_{2e} + \dot{I}_{3e}) \right]. \quad (12.5)$$

Выразив токи, входящие в это выражение, через напряжения и проводимости для сети, где $Y_{1i} = Y_{2i} = Y_{3i} = Y_i$ и $Y_{1e} = Y_{2e} = Y_{3e} = Y_e$, получим:

$$\dot{I}_h = k U G_h \frac{Y_0 + 3Y_e}{Y_0 + 3Y_e + 3Y_i + G_h}. \quad (12.6)$$

Из выражения (12.6) видно, что входной сигнал зависит от соотношения проводимостей Y_0, Y_i, Y_e, G_h .

В сети с изолированной нейтралью, где $Y_0 = 0$ (с учетом выражения 12.4).

$$\dot{I}_{\Sigma} = I_h \frac{3Y_e}{3Y_e + 3Y_i + G_h}. \quad (12.7)$$

Из выражения (12.7) видно, что в сети с изолированной нейтралью уставка должна выбираться в зависимости от соотношения проводимостей Y_e и Y_i , т.е. в зависимости от места расположения датчика вдоль сети. Если датчик будет установлен у источника питания, где $Y_e = 0$, то входной сигнал будет равен нулю при любых значениях тока через человека. Следовательно, устройство этого типа в сети с

изолированной нейтралью может применяться только для защиты отдельных ее участков.

В сети с заземленной нейтралью, где $Y_0 \gg Y_e, Y_i, G_h$

$$I_{\Sigma} = UG_h = I_h.$$

Из этого выражения видно, что в сети с заземленной нейтралью входной сигнал УЗО не зависит от места установки датчика. Следовательно, устройство может применяться как для защиты всей сети, так и отдельных ее участков. Уставка при этом должна иметь значение, соответствующее длительно допустимому току через человека.

Время срабатывания УЗО определяется функцией $I_{h\text{ доп}} = f(T)$, где T , с — время воздействия электрического тока на человека. Для токов промышленной частоты (50 Гц) эта зависимость задана таблицей в ГОСТе 12.1.038—82 (см. табл. 1.2 к лабораторной работе № 1).

Защита считается эффективной, если УЗО срабатывает за время, в течение которого для человека допустим максимально возможный в данной сети ток. Максимальный ток, проходящий через человека, в сети (с учетом условия поражения) зависит от напряжения сети и режима ее нейтрали.

В сети с изолированной нейтралью при однополюсном прикосновении в аварийном режиме (см. рис. 2.3 к лабораторной работе № 2, с. 18):

$$I_{h\text{ max}} = \frac{\sqrt{3}U}{R_h} = \sqrt{3}UG_h,$$

в сети с заземленной нейтралью (см. рис. 2.4 к лабораторной работе № 2, с. 19):

$$I_{h\text{ max}} = \frac{U}{R_h} = UG_h,$$

где R_h — сопротивление тела человека (расчетное значение 1000 Ом).

Если время срабатывания УЗО выбрано по максимально возможному в данной сети току через человека, то для любых других значений I_h время срабатывания защиты также будет соответствовать требованиям электробезопасности.

Таким образом, если уставка УЗО выбрана по длительно допустимому току через человека, а время срабатывания по максимально возможному в данной сети току через человека, то при любых значениях тока нулевой последовательности, превышающих уставку, будут обеспечены требования электробезопасности.

Применяемое оборудование

Лабораторная установка представляет собой модель электрической сети с источником питания, электроприёмником, подключенным в зоне защиты УЗО, средствами защиты (занулением, защитным заземлением), измерительными приборами и устройством, имитирующим сопротивление тела человека. Мнемоническая схема установки показана на рис. 12.5.

В качестве источника питания используется трехфазный разделятельный трансформатор. Включение сети осуществляется выключателем B_1 . При этом загораются фазные сигнальные лампы.

Установка позволяет исследовать сети с заземленной и изолированной нейтралями. Режим нейтрали изменяется переключателем B_2 . Положение «ВКЛ» соответствует заземленной нейтрали.

Проводимости фазных проводников относительно земли смоделированы сосредоточенными сопротивлениями $r_{1e}, r_{2e}, r_{3e}, r_{1i}, r_{2i}, r_{3i}$ и емкостями $C_{1e}, C_{2e}, C_{3e}, C_{1i}, C_{2i}, C_{3i}$. Значения указанных проводимостей изменяются соответствующими клавишными переключателями.

В работе используется трехполюсное УЗО, реагирующее на ток нулевой последовательности. Устройство имеет кнопки «ПУСК», «СТОП», «КОНТРОЛЬ». Для измерения входного сигнала, превышающего значение уставки, выключателем B_3 отключают исполнительный орган УЗО.

Установка позволяет проверить работоспособность УЗО при режимах, соответствующих заземленному (зз), зануленному (зн) и изолированному от земли электроприёмнику (Э). Выбор соответствующего режима осуществляется переключателем B_4 . Кнопка K_2 позволяет осуществить замыкание на корпус.

Проводимость цепи человека смоделирована переменными сопротивлениями R_h и R_p (R_p — переходное сопротивление между человеком и землей: пол, обувь и т.п.). Эти сопротивления подключаются к сети гибким проводником через гнездо Γ_2 , а при измерении T_{cp} через гнездо Γ_1 и кнопку K_1 . Кнопка K_1 замыкает цепь через R_h с одновременным подключением секундомера. Прикосновение человека к различным частям электроустановки, находящимся под напряжением, моделируется с помощью гибкого проводника, включаемого

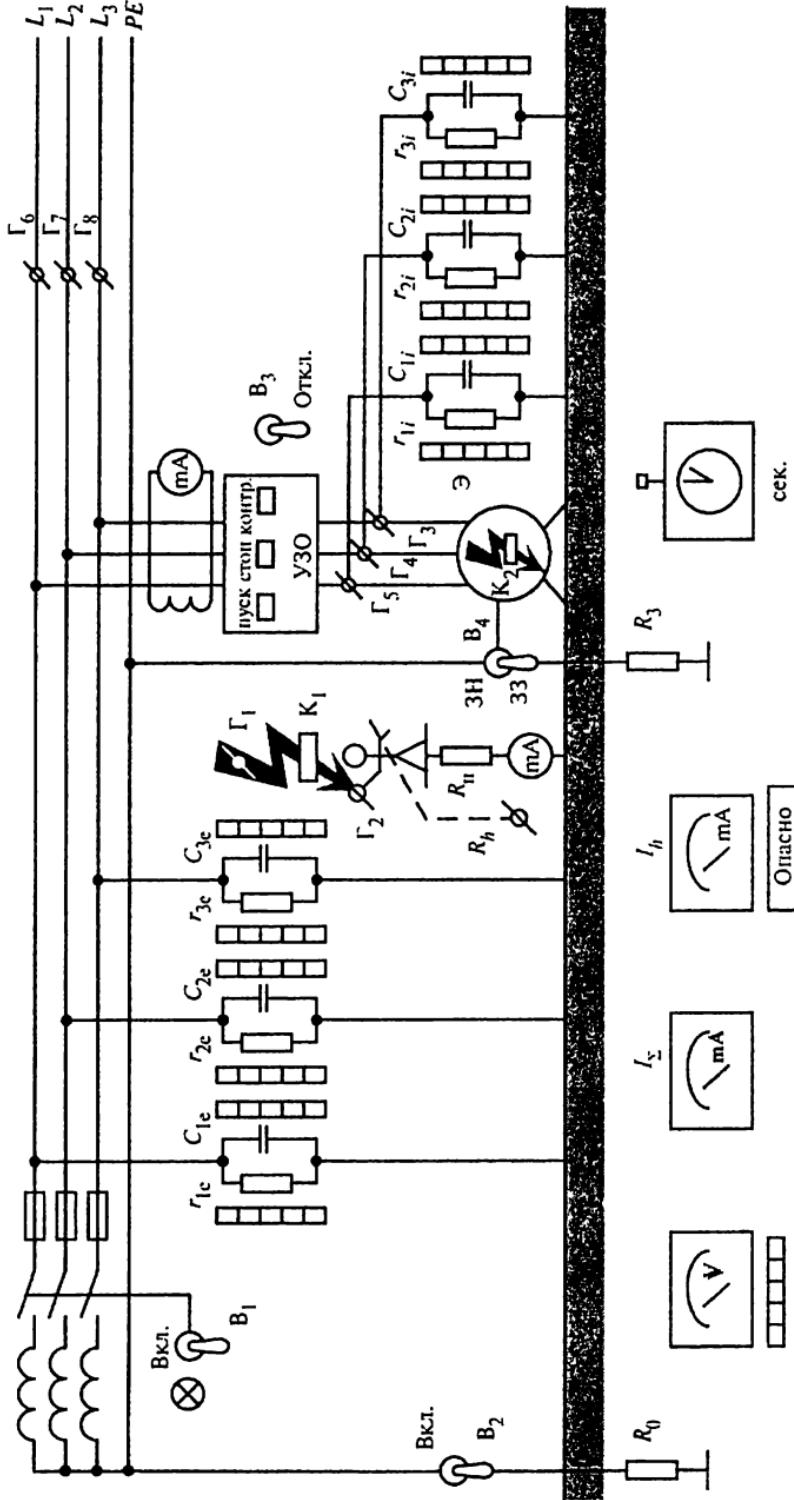


Рис. 12.5. Лицевая панель лабораторной установки

в гнезда Γ_3 — Γ_5 в случае прикосновения в зоне защиты и Γ_6 — Γ_8 — вне зоны защиты.

На лицевой панели стенда имеется четыре измерительных прибора, которые позволяют измерять:

миллиамперметр I_h — ток в цепи человека, мА;

миллиамперметр I_Σ — ток нулевой последовательности, мА;

вольтметр U — фазное напряжение сети, В;

секундомер — время срабатывания УЗО, с.

Схемы включения миллиамперметров и вольтметра показаны на лицевой панели стенда. Установка нуля отсчета секундомера производится кнопкой «УСТАНОВКА НУЛЯ».

Указания по технике безопасности

1. Для проведения работы стенд должен быть исправен. Если замечена какая-либо неисправность, то работа должна быть немедленно прекращена и о неисправности сообщено преподавателю.

2. Запрещается прикасатьсяся к токоведущим частям электроустановки. Наличие напряжения на стенде показывает сигнальная лампа, расположенная в верхнем левом углу передней панели.

3. Запрещается включать электроды гибкого проводника в гнезда Γ_3 — Γ_8 до включения одного из электродов этого проводника в гнездо Γ_1 или Γ_2 .

4. После выполнения работы необходимо отключить исследуемую сеть.

Порядок проведения работы

1. Оценка эффективности УЗО в сети с заземленной нейтралью.

1.1. Получите у преподавателя параметры сети, занесите их в табл. 12.3 и установите на стенде.

Таблица 12.3
Параметры сети по заданию

№ п/п	Сопротивление изоляции и емкости проводников относительно земли											
	r_{1e} , кОм	r_{2e} , кОм	r_{3e} , кОм	C_{1e} , мкФ	C_{2e} , мкФ	C_{3e} , мкФ	r_{1i} , кОм	r_{2i} , кОм	r_{3i} , кОм	C_{1i} , мкФ	C_{2i} , мкФ	C_{3i} , мкФ
1.1												
1.9							те же значения, что и в п. 1.1					

1.2. Смоделируйте сеть с заземленной нейтралью, для чего тумблер B_2 поставьте в положение «ВКЛ».

1.3. Ручку потенциометра R_h поверните в крайнее левое положение, отключите исполнительный орган тумблером B_3 , поставив его в положение «ОТКЛ», а тумблер B_4 поставьте в среднее положение, отключив электроприемник от систем зануления и заземления.

1.4. Получите у преподавателя разрешение на включение установки и включите ее тумблером B_1 .

О включении установки свидетельствует загорание трех контрольных лампочек на панели стенда.

1.5. Измерьте фазное напряжение сети U , В, и занесите в табл. 12.4. В дальнейшем используйте табл. 12.4 для записи результатов расчета и измерения по пп. 1.6; 1.7; 1.10; 1.11

Таблица 12.4
Характеристики УЗО

Параметр	Пункты проведения работы				
	1.5	1.6	1.7	1.10	1.11
U , В	I_h^{\max} , мА	$T_{\text{откл}}^{\text{норм}}$, с	$I_{h\text{дд}}$, мА	I_y , мА	$T_{\text{откл}}^{\text{изм}}$, с
Измеренное значение					

1.6. Рассчитайте I_h^{\max} , мА, и определите соответствующее значение времени отключения $T_{\text{откл}}^{\text{норм}}$, с, по ГОСТ 12.1.038—82 (см. табл. 1.2, лаб. раб. № 1) и занесите результаты в табл. 12.4.

1.7. Смоделируйте прикосновение человека к токоведущим частям в зоне защиты, для чего один конец гибкого проводника подключите к потенциометру R_l через гнездо Γ_2 , а другой — к гнезду Γ_3 . Включите УЗО нажатием кнопки «ПУСК» (до загорания ее подсветки).

Поворачивая ручку потенциометра R_h по часовой стрелке, добейтесь загорания табло «ОПАСНО» и определите при этом значение длительно допустимого тока $I_{h\text{дд}}$, проходящего через человека. После отсчета $I_{h\text{дд}}$ ручку R_h поверните влево до упора. Занесите результаты в табл. 12.4.

1.8. Определите зависимости $I_{\Sigma} = f(I_h)$ при прикосновении человека к различным фазам в зоне защиты. Для этого второй конец гибкого проводника поочередно подключите к гнездам Γ_5 , Γ_4 , Γ_3 , рукоят-

кой R_h измените ток I_h и через каждые 5 мА фиксируйте значения тока I_{Σ} , результаты занесите в табл. 12.5. При этом будут получены три зависимости $I_{\Sigma} = f(I_h)$. Ручку потенциометра R_h поверните влево до упора.

В дальнейшем используйте табл. 12.5 для записи результатов измерений по пп. 2.3 и 2.4

Таблица 12.5

Исследование зависимости $I_{\Sigma} = f(I_h)$

Ток, мА	Сеть с заземленной нейтралью (пп.1.8 и 1.9)						Сеть с изолированной нейтралью (пп.2.3 и 2.4)					
	0	5	10	15	20	25	0	5	10	15	20	25
I_h												
$I_{\Sigma 1}$												
$I_{\Sigma 2}$												
$I_{\Sigma 3}$												
$I'_{\Sigma 3}$												

1.9. Измените произвольным образом параметры сети r_{1e}, r_{2e}, r_{3e} и C_{1e}, C_{2e}, C_{3e} вне зоны защиты и занесите их в табл. 12.3. Смоделируйте прикосновение человека к фазе 3 (к гнезду Γ_3) и измерьте зависимость $I'_{\Sigma 3} = f(I_h)$. Результаты занесите в табл. 12.5 и сделайте заключение о влиянии параметров сети вне зоны защиты на ток I_{Σ} . Ручку потенциометра R_h поверните влево до упора.

1.10. Определите уставку УЗО. Для этого смоделируйте прикосновение человека к одной из фаз в зоне защиты (например, к фазе 3). Включите исполнительный орган УЗО тумблером B_3 . При этом возможно непроизвольное срабатывание УЗО с погасанием подсветки «ПУСК». Повторно включите УЗО нажатием кнопки «ПУСК».

Поворачивая ручку R_h по часовой стрелке, следите за изменением тока I_{Σ} . Наименьшее значение I_{Σ} , при котором произойдет срабатывание защиты, будет соответствовать уставке УЗО. Занесите результаты измерений в табл. 12.4.

1.11. Определите время срабатывания УЗО. Для этого смоделируйте прикосновение человека к одной из фаз в зоне защиты через гнездо Γ_1 и кнопку K_1 . Тумблер B_3 поставьте в положение «ОТКЛ», ручку потенциометра R_h поверните вправо до упора (чтобы обеспечить сра-

батывание УЗО $I_{\Sigma} > I_y$). Включите тумблер B_3 и нажмите кнопку «ПУСК» (до загорания ее подсветки). Выставьте секундомер в нулевое положение и запустите его нажатием кнопки K_1 . При этом УЗО сработает, а секундомер покажет время $T_{\text{откл}}^{\text{изм}}$. Занесите результаты измерений в табл. 12.4.

1.12. Проверьте срабатывает ли УЗО при замыкании фазы на изолированный от земли или зануленный корпус электроприёмника. Замыкание фазы на корпус осуществляется нажатием кнопки K_2 , зануление корпуса — переключателем B_4 . Результаты (УЗО сработает или не сработает) занесите в табл. 12.6. В дальнейшем используйте табл. 12.6 для записи результатов по п. 2.5.

Таблица 12.6

Оценка срабатывания УЗО

Сеть с заземленной нейтралью п. 1.12		Сеть с изолированной нейтралью п. 2. 5	
Корпус:	УЗО	Корпус:	УЗО
изолирован		изолирован	
занулен		заземлен	

2. Оценка эффективности работы УЗО в сети с изолированной нейтралью (выполняется по указанию преподавателя)

2.1. Смоделируйте сеть с изолированной нейтралью, для чего тумблер B_2 поставьте в нижнее положение (выкл).

2.2. Ручку потенциометра R_h поверните в крайнее левое положение, тумблер B_3 , поставьте в положение «ОТКЛ», а тумблер B_4 — в среднее положение.

2.3. При тех же параметрах, что и в случае с заземленной нейтралью (см. табл. 12.3, п. 1.1), определите зависимость $I_{\Sigma} = f(I_h)$ при прикосновении человека к различным фазам в зоне защиты по методике, изложенной в п. 1.8. Занесите результаты измерений в табл. 12.5.

2.4. Определите влияние параметров сети вне зоны защиты на ток I_{Σ} по методике, изложенной в п. 1.9. Занесите результаты измерений в табл. 12.5.

2.5. Проверьте работоспособность УЗО в данной сети при замыкании фазы на изолированный от земли и заземленный корпус электроприемника в зоне защиты. Замыкание фазы на корпус осуществляется нажатием кнопки K_2 , а заземление корпуса — тумблером B_4 . Результаты (УЗО сработает или не сработает) занесите в табл. 12.6.

Содержание отчета

1. Схема исследуемой сети с обозначением ее параметров (по заданию).
2. Результаты расчетов и измерений, сведенные в таблицы.
3. Графики $I_{\Sigma} = f(I_h)$ — раздельно для сетей с заземленной и изолированной нейтралями с указанием на них значений длительно допустимого тока $I_{hд.д}$ и I_y .
4. Выводы по работе с анализом эффективности исследуемого УЗО в различных сетях и его эффективности при работе совместно с защитным заземлением и занулением.

Контрольные вопросы

1. Объясните назначение и принцип действия УЗО, реагирующего на ток нулевой последовательности.
2. Перечислите основные технические параметры УЗО и объясните, как они определяются.
3. Перечислите случаи, при которых срабатывает УЗО данного типа.
4. Объясните, при каких условиях поражения (схемах включения человека в цепь тока) обеспечивается безопасность с помощью УЗО данного типа.
5. Объясните влияние значения уставки УЗО на эффективность защиты.
6. Можно ли компенсировать увеличение уставки УЗО (без изменения эффективности защиты) его быстродействием?
7. Поясните, как зависит эффективность УЗО от параметров сети и режима ее работы?
8. Поясните особенности использования УЗО данного типа совместно с занулением и защитным заземлением.

Библиографический список

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Знак, 2000. С. 263—267.
2. Монахов А.Ф. Защитные меры электробезопасности в электроустановках. М.: Энергосервис, 2006. С. 85—109.
3. Охрана труда / под ред. Б.А. Князевского. — 2-е изд.. М.: Высш. шк. 1982. С. 191—197.
4. Монаков В.К. УЗО. Теория и практика. М.: Энергосервис, 2007. С. 88—126.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ ЗЕМЛИ

Цель работы

Освоение методики определения и расчета удельного электрического сопротивления многослойной земли.

Содержание работы

1. Измерение сопротивления растеканию тока контрольного зонда при погружении его в землю на разную глубину (ступенями).
2. Вычисление измеренных и расчетных значений удельных сопротивлений слоев грунта, соответствующих ступеням погружения зонда.
3. Выполнение приведения многослойной земли к двухслойной и вычисление расчетных удельных сопротивлений обоих слоев земли.

Сопротивление многослойной земли

При расчете заземлителей обычно принимают допущения, что земля во всем своем объеме однородна, т.е. в любой точке обладает одинаковым удельным сопротивлением ρ , Ом·м.

В действительности земля имеет слоистое строение, хотя в большинстве случаев явно выраженных границ между слоями нет. Слои земли расположены практически горизонтально и представляют собой грунты различного рода, с разным минеральным составом, разной структурой, пористостью, плотностью и температурой, а также с различным содержанием влаги, солей и пр. Поэтому удельные сопротивления различных слоев земли неодинаковы и могут значительно отличаться друг от друга. Обычно верхние слои имеют большее удельное сопротивление по сравнению с нижележащими. В отдельных случаях бывает наоборот, например, когда под поверхностью земли находятся горные породы, обладающие, как правило, весьма малой проводимостью.

Кроме того, значение ρ верхних слоев земли колеблется в течение года, причем в значительных пределах в связи с изменением погодных условий, влекущих за собой изменение температуры грунта, содержания в нем влаги, солей и т.п. Эти изменения принято называть

сезонными, а толщину слоя земли, подверженного сезонным изменениям, принято называть слоем сезонных изменений и обозначать буквой H_c .

Глубоко лежащие слои земли, как менее подверженные воздействию погодных условий, имеют обычно незначительные сезонные колебания удельного сопротивления.

Для практических расчетов ПУЭ вводят термин эквивалентное удельное сопротивление земли с неоднородной структурой. Под этим термином понимают удельное электрическое сопротивление земли с однородной структурой, в которой сопротивление заземляющего устройства имеет то же значение, что и в земле с неоднородной структурой.

В последние годы все шире начинает внедряться в практику метод расчета заземлителей, при котором условно принимается, что земля имеет два слоя, обладающих каждый своим удельным сопротивлением ρ_b и ρ_n (рис. 13.1). При этом верхний слой обладает, как правило, большим сопротивлением и толщина (или как принято говорить, мощность) верхнего слоя H_b может быть равной или быть больше мощности слоя сезонных изменений H_c . Следовательно, верхний слой (весь или частично) подвержен непосредственному воздействию погодных условий и его удельное сопротивление ρ_b имеет значительные сезонные колебания, которые подлежат учету при расчетах заземлителей.

С одной стороны, учет неоднородности земли, т.е. наличия в ней горизонтальных слоев с разными сопротивлениями значительно усложняет экспериментальное определение удельного сопротивления слоев земли и расчет заземлителей. С другой стороны, учет слоистости земли значительно повышает точность расчета заземлителей и, следовательно, удешевляет их сооружение.

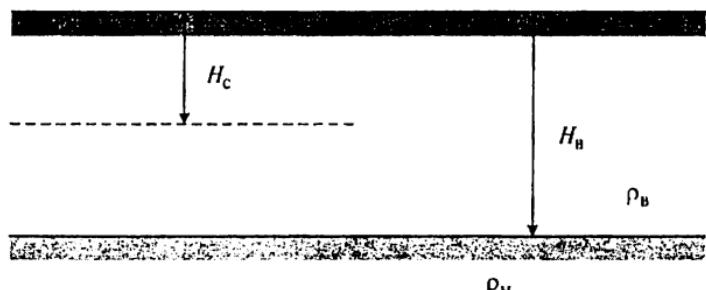


Рис. 13.1. Двухслойная модель земли:

ρ_b и ρ_n — удельные сопротивления верхнего и нижнего слоев земли; H_b — мощность (толщина) верхнего слоя; H_c — мощность слоя сезонных изменений

Удельное сопротивление многослойной земли определяется методом послойного или ступенчатого зондирования с помощью контрольного зонда (электрода) — сплошного стержня или трубы диаметром 4—5 см с острым наконечником. При глубоком зондировании 4—5 м и более целесообразно в качестве контрольного электрода использовать прутковую сталь диаметром не менее 10 мм. Контрольный зонд погружается в землю вертикально не сразу на всю длину, а в несколько приемов участками (ступенями), каждый из которых имеет длину $h_n = 0,5—1,5$ м (рис. 13.2). Здесь индекс n означает порядковый номер измерения сопротивления (погружения) ступени. Каждая такая ступень представляет собой отдельный слой земли, подлежащий измерению. После очередного погружения измеряется сопротивление растеканию зонда R_n , Ом, при данной глубине его погружения, т.е. длине погруженной в землю части зонда L_n , м. Затем для каждого значения R_n вычисляется измеренное удельное сопротивление земли, соответствующее данной глубине погружения зонда, Ом·м,

$$\rho_{L_n} = R_n \frac{2\pi L_n}{\ln \frac{4L_n}{d}}, \quad (13.1)$$

где d — диаметр зонда, м.

Формула (13.1) получена из формулы для вычисления сопротивления стержневого заземлителя круглого сечения

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}. \quad (13.2)$$

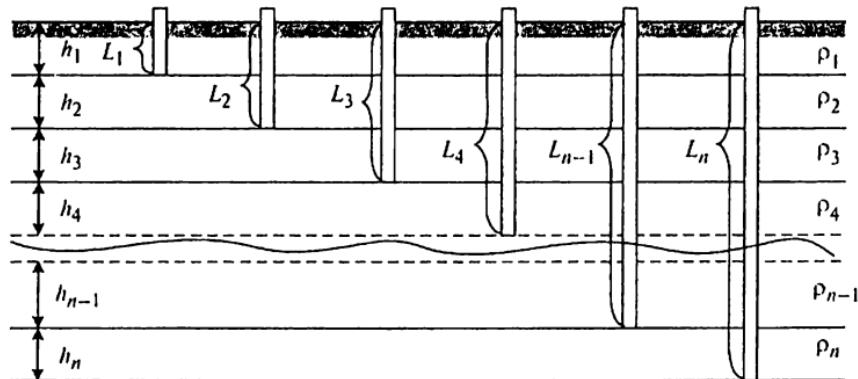


Рис. 13.2. Схема размещения контрольного зонда в земле для измерения ее удельного сопротивления методом послойного (ступенчатого) зондирования:

L — глубина погружения зонда; ρ — удельное сопротивление данного слоя земли; h — толщина слоя земли

Используя значения ρ_{Ln} , можно определить удельное сопротивление каждого слоя (ступени) земли $\rho_{n\text{изм}}$, Ом·м, по выражению:

$$\rho_{n\text{изм}} = \frac{h_n}{\frac{L_n}{\rho_{Ln}} - \frac{L_{(n-1)}}{\rho_{L(n-1)}}}, \quad (13.3)$$

где h_n — толщина слоя, м; $L_{(n-1)}$ — глубина погружения зонда при предыдущем измерении (т.е. суммарная толщина вышележащих слоев земли), м; $\rho_{L(n-1)}$ — измеренное удельное сопротивление соседнего вышележащего слоя земли, Ом·м.

Эквивалентное удельное сопротивление земли с неоднородной структурой — удельное электрическое сопротивление земли с однородной структурой, в которой сопротивление заземляющего устройства имеет то же значение, что и в земле с неоднородной структурой.

Эквивалентное удельное сопротивление многослойной земли определяется по формуле

$$\rho_3 = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \dots + \frac{h_n}{\rho_n}}. \quad (13.4)$$

Для определения сопротивления заземлителя в многослойной земле в формуле (13.2) заменяем удельное сопротивление однородной земли ρ на удельное эквивалентное сопротивление многослойной земли ρ_3 , при этом учтем, что $h_1 + h_2 + \dots + h_n = L$ (т.е. учитываем только те слои, в которых находится заземлитель):

$$R_{\text{мн}} = \frac{\rho_3 \ln \frac{4L}{d}}{2\pi L} = \frac{\ln \frac{4L}{d}}{2\pi \left(\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \dots + \frac{h_n}{\rho_n} \right)}. \quad (13.5)$$

Сезонные изменения удельного сопротивления учитываются с помощью так называемого коэффициента сезонных изменений, значение которого зависит от климатической зоны данной местности и состояния (увлажненности) земли во время измерений. Климатическая зона находится по табл. 13.1, после чего по табл. 13.2 определя-

ется толщина слоя сезонных изменений H_c и коэффициент сезонности Ψ .

Таблица 13.1
Признаки климатических зон для определения коэффициента сезонности Ψ

Характеристика климатической зоны	Климатические зоны			
	I	II	III	IV
Средняя многолетняя низшая температура (январь), °C	От -20 до -15	От -14 до -10	От -10 до 0	От 0 до +5
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °C	От +16 до +18	От +18 до +22	От +22 до +24	От +24 до +26
Среднегодовое количество осадков, см	~ 40	~ 50	~ 50	30—50
Продолжительность замерзания воды, дни	190—170	150	100	0

Таблица 13.2
Коэффициенты сезонности Ψ для слоя сезонных изменений
в многослойной земле

Климатическая зона по табл. 13.1	Условная толщина слоя сезонных изменений H_c , м	Влажность земли во время измерений ее сопротивления		
		повышенная	нормальная	малая
I	2,2	7	4	2,7
II	2	5	2,7	1,9
III	1,8	4	2	1,5
IV	1,6	2,5	1,4	1,1

Примечание. Земля считается *повышенной влажности*, если измерению ее сопротивления предшествовало выпадение большого количества (свыше нормы) осадков (дождей); *нормальной* (средней) влажности — если измерению предшествовало выпадение, близкое к норме осадков; *малой влажности* — если земля сухая, количество осадков в предшествующий измерению период было ниже нормы.

Расчетные значения удельных сопротивлений верхних слоев грунта, т.е. лежащих в пределах H_c , определяются умножением вычисленных по формуле (13.3) ρ_n на коэффициент Ψ :

$$\rho_n = \rho_{n\text{изм}} \Psi. \quad (13.6)$$

Все остальные слои, лежащие ниже H_c , считаются не подверженными сезонным изменениям, поэтому их расчетные значения ρ_n оказываются равными измеренным, т.е.

$$\rho_n = \rho_{n\text{изм}}.$$

Приведение многослойной земли к двухслойной производится отнесением к верхнему слою тех слоев (ступеней), у которых ρ_n имеют большие значения, а к нижнему слою — малые значения. При этом расчетные удельные сопротивления верхнего ρ_B и нижнего ρ_H ($\text{Ом} \cdot \text{м}$) слоев двухслойной земли определяются решением следующих уравнений:

$$\rho_B = \frac{\frac{h_1 + h_2 + \dots + h_k}{\rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_k}}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \dots + \frac{h_k}{\rho_k}}; \quad (13.7)$$

$$\rho_H = \frac{\frac{h_{k+1} + h_{k+2} + \dots + h_n}{\rho_{k+1} + \rho_{k+2} + \dots + \rho_n}}{\frac{h_{k+1}}{\rho_{k+1}} + \frac{h_{k+2}}{\rho_{k+2}} + \dots + \frac{h_n}{\rho_n}}. \quad (13.8)$$

В уравнении (13.7) индексы 1, 2 ... k означают номера слоев (ступеней), вошедших в верхний слой двухслойной земли.

Аналогично в уравнении (13.8) индексами $(k+1), (k+2) \dots n$ обозначены слои (ступени), вошедшие в нижний слой. При этом $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_k; \rho_{k+1}, \dots, \rho_n$ — расчетные значения удельных сопротивлений соответствующих слоев земли.

Применяющее оборудование

Работа выполняется на лабораторном стенде, лицевая панель которого показана на рис. 13.3.

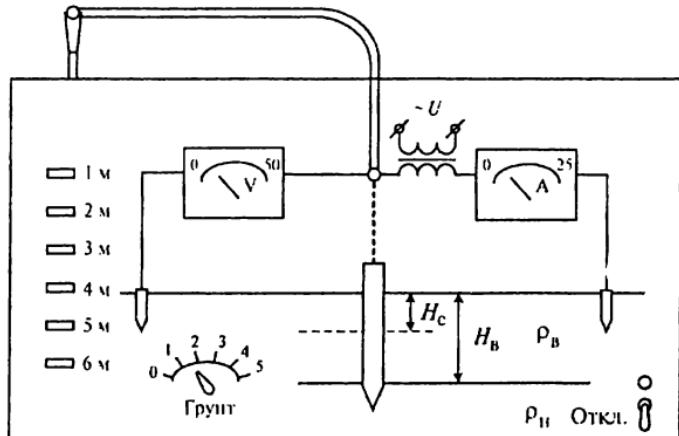


Рис. 13.3. Лицевая панель стендса

На стенде имитируется погружение в землю контрольного зонда (электрода) на разную глубину — ступенями для измерения сопротивления погруженной в землю части зонда. Погружение зонда осуществляется вручную с помощью рукоятки, выступающей над поверхностью стенда.

При достижении требуемой глубины погружения загорается соответствующий данной глубине световой сигнал.

Измерение сопротивления производится методом амперметра-вольтметра. Эти приборы смонтированы на панели стенда и включены в мнемоническую схему измерения, в которой верхняя часть контрольного зонда изображена пунктиром. В левой, нижней части панели размещен переключатель родов грунта. В правом нижнем углу находится тумблер для включения и отключения схемы измерения.

Лабораторный стенд подключается к сети 220 В с помощью штепсельной вилки.

Указания по технике безопасности

1. Перед включением стенда необходимо:

а) привести включающий тумблер в отключенное положение;

б) проверить наличие зануления стенда (соединение гибким проводом корпуса стенда с нулевым защитным проводником-шиной, проложенным по стене лаборатории).

2. При обнаружении во время работы какой-либо неисправности необходимо прекратить работу, отключить стенд тумблером и сообщить о случившемся преподавателю или лаборанту.

3. По окончании работы отключить стенд тумблером, опустить с помощью рукоятки контрольный зонд в нижнее положение и сообщить об окончании работ лаборанту для отключения стендов от щита управления.

Порядок проведения работы

1. Получите у преподавателя задание на работу.

Задание должно содержать: значение диаметра контрольного зонда d ; количество ступеней погружения зонда d ; глубину каждого погружения L_n (или длину каждой ступени погружения h_n); номер грунта; признаки климатической зоны, в которой производится измерение; состояние (увлажненность) земли во время измерений.

2. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 13.3.

Результаты измерений и вычислений

Параметр	Значение используемых параметров, соответствующее порядковому номеру слоя n (считая сверху)					
	1	2	3	4	5	6
L_n , м						
h_n , м						
R_n , Ом						
ρ_{L_n} , Ом·м						
$\rho_{\text{глазм}}$, Ом·м						
ρ_n , Ом·м						

3. Заполните в табл. 13.3 верхние две графы, т.е. внесите значения L_n и h_n .

4. На отключеннном от сети стенде поднимите контрольный зонд в крайнее положение, переключатель «Грунт» установите на нуль.

5. Включите стенд с помощью тумблера. При этом должна загореться сигнальная лампочка над тумблером.

6. В соответствии с заданием преподавателя для каждой глубины погружения контрольного зонда L_n измерьте ток I , протекающий через зонд, и приложенное к зонду напряжение U , а затем, разделив U на I , вычислите сопротивление растеканию зонда R_n . Результаты занесите в табл. 13.3.

7. Для каждого значения R_n по формуле (13.1) вычислите измеренное удельное сопротивление земли ρ_{L_n} , соответствующее данной глубине погружения зонда L_n , а затем по формуле (13.3) — измеренные значения удельных сопротивлений каждого слоя ρ_{L_n} . Результаты занесите в табл. 13.3.

8. По заданным климатическим признакам, пользуясь табл. 13.1, определите климатическую зону местности, где производятся измерения, а затем по табл. 13.2 — толщину слоя сезонных изменений H_c и коэффициент сезонности ψ .

9. По формуле (13.3) или (13.4) вычислите расчетные удельные сопротивления ρ_n слоев земли, находящихся в пределах H_c . Результаты вычисления, а также значения ρ_n слоев земли, находящихся ниже H_c , запишите в табл. 13.3.

10. Пользуясь значениями ρ_n приведите многослойную землю к двухслойной. При этом к верхнему слою двухслойной земли отнесите слои многослойной земли, которые имеют значительно большие значения ρ_n .

11. По формулам (13.7) и (13.8) вычислите значения расчетных удельных сопротивлений верхнего и нижнего слоев двухслойной земли $\rho_{\text{в}}$ и $\rho_{\text{н}}$.

Содержание отчета

1. Схема размещения контрольного зонда (электрода) в земле для измерения ее удельного сопротивления методом послойного (ступенчатого) зондирования.

2. Элементарная схема измерения сопротивлений заземлителей растеканию тока методом амперметра-вольтметра.

3. Результаты измерений и вычислений, сведенные в табл.13.3.

4. Обоснование приведения многослойной земли к двухслойной.

5. Вычисление расчетных удельных сопротивлений верхнего и нижнего слоев двухслойной земли.

6. Выводы о целесообразности учета неоднородности земли при расчетах заземлителей.

7. Выводы о влиянии коэффициента сезонности на удельное сопротивление и сопротивление стержневого заземлителя.

8. Результаты решений задач, приведенных ниже:

а) для заданных значений сопротивлений вертикального стержневого заземлителя (4 и 10 Ом) рассчитайте его длину для случая четырехслойной земли, используя результаты измерений;

б) используя полученные значения $\rho_{\text{в}}$ и $\rho_{\text{н}}$, рассчитайте сопротивление растеканию тока для вертикально расположенной трубы длиной 10 м и диаметрах — 16, 25, 32, 50 и 100 мм. Расчет проведите без учета и с учетом коэффициента ψ . При расчете следует использовать понятия эквивалентного удельного сопротивления земли.

Контрольные вопросы

1. Почему разные слои земли имеют разные удельные сопротивления?

2. Что такое слой сезонных изменений земли, каково его значение?

3. От каких факторов зависит значение сопротивления заземлителя растеканию тока в многослойной земле?

4. Что такое эквивалентное удельное сопротивление многослойной земли?

5. Каковы достоинства и недостатки метода расчета заземлителей с учетом слоистости земли?

Библиографический список

Долин И.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Знак, 2000. С. 139—154.

ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЧ-ДИАПАЗОНА

Цель работы

Изучение способов защиты человека от электромагнитного излучения диапазона сверхвысоких частот (СВЧ).

Содержание работы

1. Измерение интенсивности СВЧ-излучения при различном расстоянии от источников излучения.
2. Определение минимального расстояния до источника излучения, на котором возможно безопасное пребывание человека.
3. Измерение эффективности ослабления СВЧ-излучения экранами из различных материалов.

Действие СВЧ-излучения на организм человека

Санитарные правила и нормы (СанПиН) устанавливают предельно-допустимые уровни электромагнитного излучения радиочастотного диапазона в интервале от 30 кГц до 300 ГГц.

В санитарных нормах диапазоны радиочастот подразделяются следующим образом:

- $$\begin{aligned}3 \cdot 10^4 &— 3 \cdot 10^7 \text{ — высокие частоты;} \\3 \cdot 10^7 &— 3 \cdot 10^8 \text{ — ультравысокие частоты;} \\3 \cdot 10^8 &— 3 \cdot 10^{11} \text{ — сверхвысокие частоты.}\end{aligned}$$

Взаимодействие электромагнитного излучения (ЭМИ) с биологическим объектом, в том числе и с человеком, приводит к частичному поглощению энергии. При этом любой определяемый эффект, возникновение которого приписывается ЭМИ, является следствием присвоения этой части энергии излучения, т.е. только присвоенная энергия может вызвать названный эффект. СВЧ-излучение, попадая на человека, частично отражается от его поверхности, остальное проникает вглубь тела и поглощается его тканями. Коэффициент отражения зависит от частоты поля и составляет 0,6—0,65 на частотах 0,3—1 ГГц и 0,40—0,45 на частотах 30—50 ГГц. Глубина проникновения поля в биологической ткани зависит от частоты поля и характера ткани. В тканях с большим содержанием воды (мышцы, печень, кожа) погло-

щение поля сильнее и глубина проникновения меньше, чем в тканях с относительно небольшим содержанием воды (жир, кость, костный мозг). Излучение миллиметрового диапазона поглощается в основном поверхностными слоями кожи; сантиметрового — кожей и подкожной клетчаткой; дециметрового — внутренними органами, где глубина проникновения составляет 10—15 см. СВЧ-излучение не является ионизирующим и воздействует только на уже имеющиеся в составе человека свободные заряды или диполи.

Диапазон сверхвысоких частот простирается от 300 МГц до 300 ГГц^{*}, включая в себя дециметровые, сантиметровые и миллиметровые волны. Для этого диапазона характерно то, что электромагнитное поле формируется достаточно близко к излучателю и в пространстве, где находится человек, существует уже сформированный поток мощности, характеризуемый плотностью потока энергии^{**} $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Электромагнитное поле имеет свои особенности формирования в пространстве излучателя и которое делится на ближнюю, среднюю и дальние зоны. Поток электромагнитной энергии (вектор Пойнтинга), характеризующийся плотностью потока энергии ($\text{Вт}/\text{м}^2$), формируется на расстоянии $L \geq \lambda/2\pi$ (λ — длина волны СВЧ-излучения). Для СВЧ-излучения $L = 0,17 \text{ м} = 0,17 \text{ мм}$. Практически для СВЧ-диапазона человек всегда находится в дальней зоне формирования электромагнитного поля излучателя и поэтому в ней нормируется плотность потока энергии ППЭ ($\text{Вт}/\text{м}^2$). Для определенной частоты источника излучения f , МГц, граничное значение L , м, определяется следующим соотношением:

$$L = \frac{300}{2\pi \cdot f}.$$

Различают тепловое и информационное биологическое действие СВЧ-излучения на человека.

Тепловое действие проявляется в нагреве тканей. Пороговый уровень тепловой чувствительности человеческого тела составляет около $10 \text{ мВт}/\text{см}^2$ ($100 \text{ Вт}/\text{м}^2$). При превышении этого уровня системы терморегуляции человеческого организма не полностью выполняют свои

* В технике радиосвязи СВЧ-диапазон определен лишь для частот 3—30 ГГц, называемый сантиметровым диапазоном.

** При нормировании плотности потока энергии используют единицы измерения $1 \text{ мкВт}/\text{см}^2$ или $\text{мВт}/\text{см}^2$; $1 \text{ Вт}/\text{м}^2 = 10^2 \text{ мкВт}/\text{см}^2 = 10^{-1} \text{ мВт}/\text{см}^2$.

функции и происходит перегрев клеток тканей тела. При локальном нагреве отдельных частей тела за счет кровотока тепло отводится от нагреваемого места и распределяется по всему телу, тем самым несколько нейтрализуя вредное действие СВЧ-излучения.

Некоторые органы имеют очень мало кровеносных сосудов (хрусталик глаза, семенники) и их повреждение (например, катаракта глаза) может произойти при плотности потока энергии, близкой к пороговой.

В общем виде поглощенную мощность СВЧ-облучения $P_{\text{п}}$ можно оценить по формуле

$$P_{\text{п}} = \frac{\sqrt{\epsilon} - 1}{\sqrt{\epsilon} + 1} \Pi_0 S,$$

где ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость ткани; Π_0 — плотность потока энергии у поверхности ткани, Вт/м²; S — площадь облучаемой поверхности, м².

Поглощенная мощность убывает с глубиной проникновения r , м, по экспоненциальному закону.

Информационное действие СВЧ-излучения наблюдается при плотности потока энергии ниже теплового порога. Здесь механизм определяется действием СВЧ-излучения на электрическую по своей природе нервную сигнальную систему человека.

В нижней области СВЧ-излучения важную роль в информационном воздействии играет низкочастотная модуляция сигнала, а в верхней части СВЧ-диапазона (миллиметровый диапазон) — основное так называемое информационное действие оказывает высокочастотная составляющая на уровне биологической клетки, где она играет роль объемного резонатора.

Электромагнитное поле действует как стрессор, вызывая повышенную утомляемость, чувство разбитости, головную боль. Наблюдаются уменьшение частоты сердечных сокращений, повышение кровяного давления. Проявляется синергетическое действие СВЧ-излучения, т.е. человек хуже переносит другие неблагоприятные факторы: шум, вибрацию, повышенную температуру и т.п. Информационное действие СВЧ-излучения на человека проявляется начиная с плотности потока энергии 10 мкВт/см² (0,1 Вт/м²).

При импульсном или прерывистом действии электромагнитных волн наблюдается их кумулятивное действие, т.е. суммарный биоло-

гический эффект оказывается приблизительно пропорциональным общей поглощенной энергии за все время облучения.

Предельно допустимые уровни электромагнитных полей диапазона частот 30 кГц — 300 ГГц

Санитарные правила устанавливают предельно допустимые уровни электромагнитных излучений отдельно для персонала, профессионально связанного с эксплуатацией и обслуживанием источников электромагнитных полей (СанПиН 2.2.4.1191—03) и для населения (СанПиН 2.1.8/2.2.4.1382—03).

Согласно СанПиН 2.2.4.1191—03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» оценка и нормирование ЭМП диапазона частот 30 кГц — 300 ГГц осуществляются по величине энергетической экспозиции (ЭЭ).

Энергетическая экспозиция в диапазоне частот 30 кГц — 300 МГц рассчитывается по формулам:

$$\text{ЭЭ}_E = E^2 T, (\text{В/м})^2 \cdot \text{ч};$$

$$\text{ЭЭ}_H = H^2 T, (\text{А/м})^2 \cdot \text{ч},$$

где E — напряженность электрического поля, В/м; H — напряженность магнитного поля, А/м; T — время воздействия за смену, ч.

Энергетическая экспозиция в диапазоне частот 300 МГц — 300 ГГц рассчитывается по формуле

$$\text{ЭЭ}_{\text{плэ}} = \text{ППЭ} \cdot T, (\text{Вт/м}^2) \cdot \text{ч}, (\text{мк Вт/см}^2) \cdot \text{ч},$$

где ППЭ — плотность потока энергии (Вт/м^2 , мк Вт/см^2).

Предельно допустимые уровни (ПДУ) энергетических экспозиций (ЭЭ_{пду}) на рабочих местах за смену представлены в табл. 14.1.

Таблица 14.1

Предельно допустимые уровни энергетических экспозиций ЭМП диапазона частот 30 кГц — 300 ГГц

Параметр	ПДУ энергетических экспозиций ЭМП в диапазонах частот, МГц				
	0,03—3	3—30	30—50	50—300	300—300 000
ЭЭ _E , (В/м) ² ·ч	20 000	7 000	800	800	—
ЭЭ _H , (А/м) ² ·ч	200	—	0,72	—	—
ЭЭ _{плэ} , (мк Вт/см^2)·ч	—	—	—	—	200

Максимальные допустимые уровни напряженности электрического и магнитного полей, плотности потока энергии ЭМП не должны превышать значений, представленных в табл. 14.2.

Таблица 14.2

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

Параметр	Максимальные ПДУ напряженности и плотности потока энергии ЭМП в диапазонах частот, МГц				
	0,03—3	3—30	30—50	50—300	300—300 000
E , В/м	500	300	80	80	—
H , А/м	50	—	3	—	—
ППЭ, мкВт/см ²	—	—	—	—	1000
ППЭ*, мкВт/см ²	—	—	—	—	5 000*

* Для условия локального облучения кистей рук.

Для случаев облучения от устройств с перемещающейся диаграммой излучения (вращающиеся и сканирующие антенны с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 20) и локального облучения рук при работах с микрополосковыми устройствами предельно допустимый уровень плотности потока энергии (ППЭ) для соответствующего времени облучения рассчитывается по формуле

$$\text{ППЭ}_{\text{пду}} = K \cdot \mathcal{E}_{\text{Эпду}} / T,$$

где К — коэффициент снижения биологической активности воздействий; К = 10 — для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн; К = 12,5 — для случаев локального облучения кистей рук (при этом уровни воздействия на другие части тела не должны превышать 10 мкВт/см²).

Даже при кратковременном действии плотность потока энергии не должна превышать 1 мВт/см² (10 Вт/м²). В противном случае необходимо пользоваться индивидуальными средствами защиты.

Для населения согласно СанПиН 2.1.8/2.2.4.1382—03 в радиочастотном диапазоне предельно допустимый уровень плотности потока энергии равен 10 мкВт/см².

Меры защиты от СВЧ-излучения

Меры защиты от СВЧ-излучения делят на организационные, технические и индивидуальные. Организационные меры применяют при

организации производства, рабочего места и режима работы. Существуют «защита расстоянием» от источника излучения до рабочего места и «защита временем» пребывания человека в электромагнитном поле. «Защита расстоянием» основана на том, что ППЭ точечного источника излучения в дальней зоне убывает обратно пропорционально квадрату расстояния r , м, т.е.:

$$\text{ППЭ} = P/4\pi r^2,$$

где P — излучаемая мощность, Вт.

Из условия, что облучение будет допустимым $\text{ППЭ} = \text{ППЭ}_{\text{пду}}$, находится расстояние $r_{\text{доп}}$ от источников излучения до рабочего места:

$$r_{\text{доп}} \geq \sqrt{\frac{P}{4\pi \cdot \text{ППЭ}_{\text{пду}}}}.$$

Для защиты населения от СВЧ-излучения телецентров, радиопередающих центров, радиолокационных станций организуются санитарно-защитные зоны.

Защита ограничением времени пребывания человека в рабочей зоне используется при отсутствии других возможностей снизить интенсивность излучения до допустимого уровня.

К коллективным мерам защиты относятся экранирование аппаратуры, источников излучения и производственных помещений, использование радиопоглощающих покрытий. Конструкция дверей шкафов с аппаратурой, смотровых и вентиляционных отверстий, фланцевых соединений волноводных линий передачи СВЧ-мощности должна обеспечивать безопасность персонала от воздействия излучения. В производственных помещениях для защиты персонала используются сплошные экраны, полностью окружающие источник излучения, а также экраны — ширмы, защищающие рабочее место. Конструкции экранов и используемые материалы должны обеспечивать надежную защиту персонала от облучения, не нарушая нормальной работы аппаратуры. Степень ослабления экрана определяется материалом конструкции и зависит от частоты излучения. Экранирующее действие применяемых материалов основано на поглощении части проходящей через них энергии (композиционные материалы), либо на отражающих и поглощающих свойствах (металлы).

Наилучшими экранирующими свойствами обладают сплошные металлические экраны из меди, алюминия. Толщина экрана Δ , мкм,

которая ослабляет плотность потока СВЧ-энергии в $e^{-2} \approx 8$ раз, называется скин-слоем:

$$\Delta = \frac{503}{\sqrt{\mu f \sigma}},$$

здесь σ — проводимость металла, МСм/м (для меди $\sigma = 58$ МСм/м, для алюминия $\sigma = 35$ МСм/м); f — частота СВЧ-сигнала, МГц; μ — абсолютная магнитная проницаемость.

$$\mu = \mu_r \mu_0,$$

где μ_r — относительная магнитная проницаемость; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнитная постоянная.

Ослабление потока СВЧ-мощности χ для сплошного металлического экрана толщиной d вычисляется по следующим формулам:

- общий случай:

$$\chi = 10 \cdot \lg \frac{8R_2^2}{(120\pi)^2 (\sin^2 \frac{d}{\Delta} + \cosh^2 \frac{d}{\Delta})},$$

где $R_2 = 1/\sigma\Delta$ — активная составляющая волнового сопротивления металла экрана. Для более частных случаев расчеты упрощаются:

- для тонкого экрана, $d < 0,5\Delta$:

$$\chi = 10 \cdot \lg \frac{(120\pi\sigma d)^2}{4}.$$

- для толстого экрана, $d > 2\Delta$:

$$\chi = 10 \cdot \lg \frac{32 R_2^2}{(120\pi)^2} e^{-\frac{2d}{\Delta}}.$$

Рассчитанное по приведенным формулам ослабляющее действие металлических экранов из меди разной толщины d для электромагнитного поля с частотой 1000 МГц приведено ниже:

d , мкм	0,5	2	20
χ , дБ	-74,7	-87	-161,5

Высокое защитное действие даже очень тонких экранов свидетельствует о том, что недостаточная степень защиты чаще всего обу-

словлена наличием отверстий, щелей или других дефектов в экране, а не малой его толщиной.

Экранирующими свойствами обладают металлические сетки. Их преимущество состоит в том, что они просматриваются и вентилируются. Для расчета ослабления поля сетчатыми экранами при нормальном падении волны и направлении вектора электрической напряженности параллельно проволокам сетки одного из направлений можно пользоваться формулой

$$\chi = 10 \cdot \lg \frac{1 + 4 \frac{b}{\lambda} \lg \frac{b}{\pi D}}{4 \frac{b}{\lambda} \lg \frac{b}{\pi D}},$$

где b — шаг сетки (размер ячейки); D — диаметр проволоки сетки; λ — длина волны СВЧ-излучения.

В случаях, когда экраны могут исказить распределение поля и нарушить нормальную работу радиоустановки (например, при измерении характеристик антенн), должны применяться радиопоглощающие экраны и покрытия. В радиотехнической практике применяются радиопоглощающие покрытия на основе проводящей резины, пенополиуретана (поролона), пенополистирола (пенопласта) с электропроводящими добавками. Для уменьшения коэффициента отражения поверхность таких покрытий делается гофрированной или пористой.

Для защиты персонала в зоне облучения конструкция зданий должна обеспечивать достаточное ослабление электромагнитных волн. В этом отношении наилучшими являются железобетонные стены. Кирпичные и деревянные стены также ослабляют СВЧ-излучение. Кирпичная стена толщиной 70 см ослабляет излучение сантиметрового диапазона волн на 20 дБ. Наличие окон существенно снижает экранирующее действие стен. Тем не менее окно с двойным остеклением ослабляет излучение на 6—7 дБ. Для защиты населенных пунктов от мощных радиостанций используют лесонасаджения, обеспечивающие затухание от 3 до 10 дБ.

Индивидуальные средства защиты используются в тех случаях, когда организационные и коллективные меры защиты оказываются недостаточными. К индивидуальным средствам защиты относятся: защитная одежда из специальной ткани с металлическими нитями и защитные очки с металлической сеткой или стеклом, покрытым светопроводящим слоем металла. Защитная одежда и очки должны обеспечивать ослабление поля в СВЧ-диапазоне на 20—30 дБ.

Для контроля уровня излучения в производственных помещениях используются разработанные специально для этих целей приборы ПО-1 ПЗ-9, ПЗ-19, ПЗ-20, позволяющие измерять в диапазоне до 300 МГц напряженность электрического и магнитного полей, а на более высоких частотах плотность потока энергии.

Описание лабораторной установки и приборов

Схема лабораторной установки представлена на рис. 14.1. Исследования проводятся в 3-сантиметровом диапазоне волн СВЧ. Сигнал СВЧ от генератора 1 на диоде Ганна через ферритовый вентиль 2 излучается через рупорную антенну 3. Вся конструкция укреплена на выдвижной штанге 4.

Включение генератора осуществляется тумблером «СЕТЬ» на источнике питания. При этом вольтметр на передней панели прибора должен показывать напряжение на диоде Ганна, равное 8,5 В.

Измерение плотности потока энергии СВЧ-излучения производится прибором ПЗ-9. Он включает в себя измерительную приемную антенну 6, термисторную головку 7 и измеритель мощности 8. Расстояние между излучающей и приемной антенными может изменяться с помощью ходового винта, врачающегося рукояткой 9 и посредством

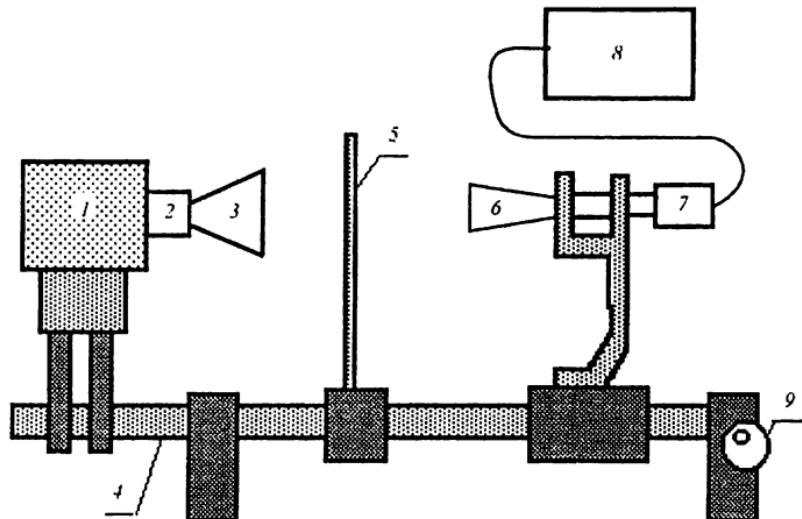


Рис. 14.1. Схема измерительной установки:

1 — генератор на диоде Ганна; 2 — ферритовый вентиль; 3 — излучающая антenna; 4 — выдвижная штанга; 5 — экран; 6 — приемная антenna; 7 — термисторный преобразователь; 8 — термисторный мост; 9 — рукоятка для перемещения приемной антенны

выдвижной штанги 4. Между излучающей и приемной антеннами могут располагаться защитные экраны 5 различных типов: из фанеры; фанеры, покрытой слоем резины; из радиопоглощающего материала ХВ4, из металлической сетки.

Прибор ПЗ-9 предназначен для измерения мощности и плотности потока энергии СВЧ-излучения в диапазоне от 300 МГц до 37,5 ГГц. В его комплект входят несколько сменных измерительных антенн различных диапазонов волн, соответствующие им термисторные преобразователи и термисторный мост Я2М-20А. В данной установке используется рупорная антенна П6-17А и термисторный преобразователь М5-38 с рабочим диапазоном частот 5,64—16,7 ГГц.

Прибор ПЗ-9 работает следующим образом: СВЧ-излучение улавливается приемной антенной и подается на термисторный преобразователь, с помощью которого производится измерение мощности. Внешний вид передней панели прибора показан на рис. 14.2.

Упрощенная принципиальная схема представлена на рис. 14.3. Основой измерительной схемы является двойной уравновешенный мост. На диагональ внешнего моста M_1 подается постоянное напряжение от источников E_1 и E_2 , включенных таким образом, что токи от них, через термистор текут во встречных направлениях. Кроме того, на термистор подается переменное напряжение частотой 50 кГц от генератора Γ для подогрева термистора, чтобы его сопротивление поддерживалось постоянным независимо от температуры окружающей среды.

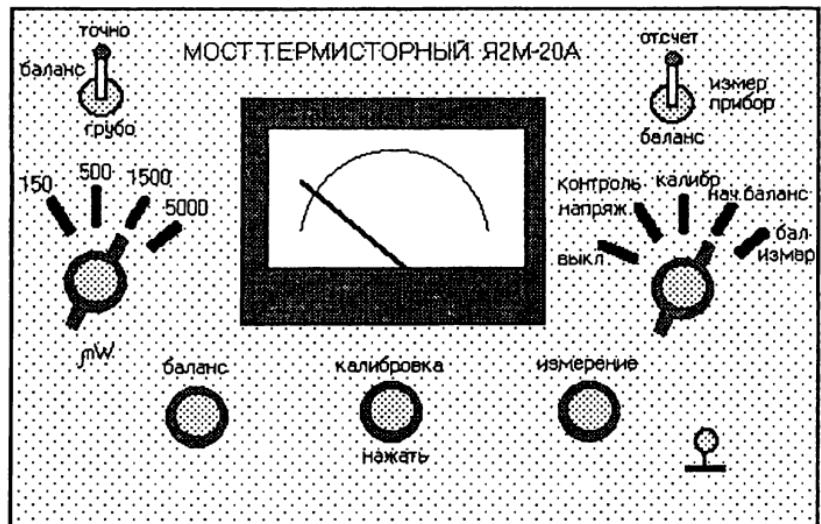


Рис. 14.2. Передняя панель прибора ПЗ-9

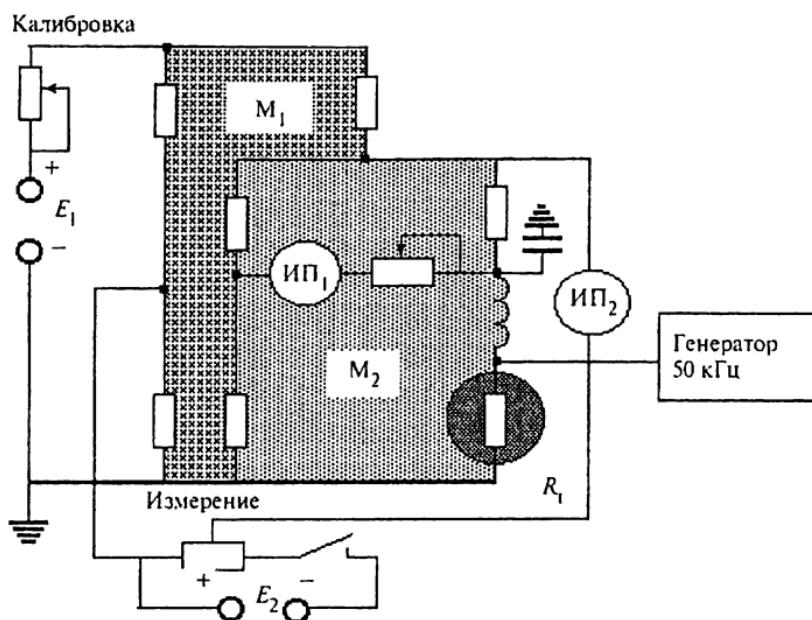


Рис. 14.3. Упрощенная принципиальная схема термисторного моста

В процессе подготовки прибора к работе перед измерением СВЧ-мощности осуществляется калибровка и начальный баланс двойного моста. Для этого к термистору подводится постоянное напряжение от источника E_1 и переменное напряжение от генератора Г. Сначала ручкой «КАЛИБРОВКА» ток через термистор от источника E_1 устанавливается таким образом, чтобы на термисторе выделялась постоянная мощность 5,5 мВт. Затем в режиме начального баланса ручкой «БАЛАНС» регулируется напряжение подогрева термистора от ВЧ-генератора с таким расчетом, чтобы его сопротивление R_t стало равным 240 Ом, для этого термистор включен в одно из плеч моста M_2 , который при требуемом значении должен быть сбалансированным. Индикатором баланса моста является измерительный прибор ИП₁, включенный в диагональ моста. Все остальные резисторы схемы отрегулированы таким образом, что мост M_1 при этом также оказывается сбалансированным.

При подаче СВЧ-энергии сопротивление термистора изменяется и мосты оказываются разбалансированными, что регистрируется прибором ИП₁. Переключатель рода работ прибора переводится в положение «баланс измерений». При этом включается источник компенсации E_2 , ток которого уменьшает мощность постоянного тока, рас-

сеиваемую в термисторе, так как токи от источников E_1 и E_2 направлены навстречу друг другу. Ток от источника E_2 устанавливается таким, чтобы снова сбалансировать мост, но уже при включенном источнике СВЧ-энергии. После этого тумблер «ИЗМЕР. ПРИБОР» переводится в положение «ОТСЧЕТ» и прибором ИП₂ измеряется ток от источника E_2 . Однозначная функциональная связь между измеряемой мощностью и током через термистор от источника компенсации E_2 , соответствующим вторичному балансу моста, позволяет программируировать шкалу измерительного прибора в значениях измеряемой мощности.

Для определения плотности потока энергии необходимо измеренную мощность P разделить на эффективную поверхность приемной антенны:

$$\text{ППЭ} = P_{\text{изм}} / S.$$

Эффективная поверхность, используемой в данной работе приемной антенны П6-17А, равна 10 см^2 .

Указания по технике безопасности

При работе с данной установкой следует соблюдать следующие правила:

- 1) СВЧ-генератор включать только на время выполнения измерений;
- 2) не располагаться напротив излучающей рупорной антенны;
- 3) не заглядывать внутрь антенны при включенном генераторе;
- 4) все манипуляции руками в промежутке между антеннами производить при выключенном генераторе;
- 5) в случае обнаружения неисправности немедленно выключить аппаратуру и сообщить об этом преподавателю.

Порядок проведения работы

1. Подготовьте прибор ПЗ-9 к работе. Для этого перед включением его в сеть обе ручки потенциометра «ИЗМЕРЕНИЕ» поставьте в крайнее левое положение, переключатель «РОД РАБОТЫ» — в положение «ВЫКЛ.» Тумблер «БАЛАНС» поставьте в положение «Грубо», тумблер «ИЗМЕР. ПРИБОР» — в положение баланс. Переключатель « μW » поставьте в положение 5000, переключатель сопротивления термистора на задней панели прибора — в положение 240, раскрыв измерительной антенны закрыть крышкой.

2. Включите прибор ПЗ-9 в сеть тумблером на задней стенке и дайте прогреться 10 мин.

3. Поставьте переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение «КАЛИБР», ручкой «КАЛИБРОВКА» (при регулировании нажать на эту ручку) установите стрелку прибора на правый край шкалы.

4. Поставьте переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение «НАЧ. БАЛАНС». Установите тумблер «БАЛАНС» в положение «ГРУБО» и произведите регулировку установкой стрелки прибора на нуль. Переключите тумблер «БАЛАНС» в положение «ТОЧНО» и произведите точную регулировку установкой стрелки прибора на нуль.

5. Установите расстояние между излучающей и приемной антеннами 20 см. Экран между антеннами не ставьте. Откройте крышку на раскрыве приемного рупора. Включите СВЧ-генератор двумя тумблерами на передней панели блока питания генератора. Стрелка прибора должна отклониться, что свидетельствует о наличии сигнала СВЧ.

6. Переключатель рода работы поставьте в положение «БАЛ. ИЗМЕР». Ручкой «ИЗМЕРЕНИЕ» установите стрелку прибора на нулевое положение. Поставьте тумблер «ИЗМЕР. ПРИБОР» в положение «ОТСЧЕТ». Запишите показания прибора по нижней шкале прибора 5mW. Рассчитайте значение ППЭ, полагая эффективную поверхность приемной антенны равной 10 см². Результаты занесите в табл. 14.3.

7. Установите между антennами один из защитных экранов. Повторите измерение ППЭ, для чего снова поставьте тумблер «ИЗМЕР. ПРИБОРОВ» в положение «БАЛАНС», после чего повторите действия согласно пп. 6, 7.

8. Повторите измерения ППЭ с экранами других типов. Результаты занесите в табл. 14.3.

9. Рассчитайте ослабление поля, создаваемое экранами различных типов, используя для этого формулу:

$$\chi = -10 \cdot \lg(\text{ППЭ с экраном} / \text{ППЭ без экрана}).$$

Результаты занесите в табл. 14.3.

Таблица 14.3

Ослабление ППЭ различными экранами

Измеряемые параметры	Без экрана	Экран 1	Экран 2	Экран 3	Экран 4
ППЭ, мкВт/см ²					
χ, дБ					

Для сетчатого экрана рассчитайте теоретически ожидаемую величину ослабления. Сравните с экспериментальным значением.

10. Уберите экран. Повторите измерения ППЭ при расстоянии между излучающей и приемной антеннами 0,3; 0,4; 0,5; 0,7 м. Результаты измерений занесите в табл. 14.4.

11. По результатам измерений, занесенным в табл. 14.4, постройте график зависимости ППЭ от расстояния до излучающей антенны. Сделайте вывод о величине безопасного расстояния, на котором допускается находиться человеку:

в течение всего рабочего времени;

в течение одного часа.

Таблица 14.4

Зависимость ППЭ от расстояния

Измеренный параметр	Расстояние между излучающей и приемной антеннами, м				
	0,20	0,30	0,40	0,50	0,70
ППЭ, мкВт/см ²					

12. Выключите СВЧ-генератор и прибор ПЗ-9. Все органы управления ПЗ-9 поставьте в исходное положение.

Содержание отчета

1. Схема измерительной установки.

2. Результаты измерения защитных свойств экранов различных типов (см. табл. 14.3).

3. Выводы о том, какие типы экранирующих материалов целесообразно применять в данной лабораторной установке.

4. Результаты измерения ППЭ в зависимости от расстояния до излучающей антенны (см. табл. 14.4).

5. Вывод о безопасном расстоянии, на котором допускается находиться: а) в течение рабочего дня; б) в течение времени выполнения данной лабораторной работы.

6. Расчет коэффициента ослабления для металлической сетки по данным табл. 14.5.

Таблица 14.5

Номер бригады	Параметр		
	b, мм	D, мм	λ, см
1	1,5	0,5	1
2	0,8	0,4	1
3	0,6	0,3	2
4	0,4	0,2	2
5	0,4	0,1	3
6	0,5	0,2	3

Контрольные вопросы

1. В чем состоит биологическое действие СВЧ-излучения? При каких уровнях ППЭ проявляется его тепловое действие?
2. В чем состоит информационное действие электромагнитных волн?
3. Назовите нормируемые параметры электромагнитного излучения.
4. Каковы нормы предельно допустимых уровней электромагнитного излучения в СВЧ-диапазоне?
5. Чем определяется применение тех или иных способов и средств защиты?
6. Каковы основные организационные меры защиты персонала и населения от электромагнитных излучений?
7. Каковы недостатки «защиты временем пребывания» персонала в рабочей зоне? Какими путями можно осуществить эту задачу?
8. Что относится к коллективным мерам защиты от электромагнитных излучений?
9. Назначение защитных экранов. Чем определяется их эффективность?
10. Перечислите достоинства и недостатки сетчатых и сплошных экранов.
11. Каковы основные технические приемы, позволяющие уменьшить до безопасного уровня излучение ЭМП из смотровых и вентиляционных отверстий аппаратуры, из фланцевых соединений, дверц, щелей и других элементов аппаратуры?
12. Для чего и из какого материала изготавливаются радиопоглощающие покрытия?
13. В каких случаях необходимы индивидуальные средства защиты от электромагнитного СВЧ-излучения?

Библиографический список

1. Карташева Н.Н. Вопросы инженерной экологии при производстве и эксплуатации: М.: Издательство МЭИ, 1993. 88 с.
2. Монахов А.Ф. Защита от электромагнитных полей технологических установок в электронной промышленности. М.: Издательство МЭИ, 1992. С. 41—48.
3. СанПиН 2.2.4.1191—03. Электромагнитные поля в производственных условиях. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. 24 с.

Справочные материалы к лабораторным работам № 2—4**ЗАЗЕМЛЕНИЕ И ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ
ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ****(Правила устройства электроустановок, гл.1.7)****Область применения. Термины и определения**

1.7.1. Настоящая глава Правил распространяется на все электроустановки переменного и постоянного тока напряжением до 1 кВ и выше и содержит общие требования к их заземлению и защите людей и животных от поражения электрическим током как в нормальном режиме работы электроустановки, так и при повреждении изоляции.

Дополнительные требования приведены в соответствующих главах ПУЭ.

1.7.2. Электроустановки в отношении мер электробезопасности разделяются на следующие:

- электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях в глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью;
- электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор или резистор нейтралью;
- электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью;
- электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью.

1.7.3. Для электроустановок напряжением до 1 кВ приняты следующие обозначения:

с и с т е м а TN — система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников;

с и с т е м а $TN-C$ — система TN , в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении (рис. 1.7.1);

с и с т е м а $TN-S$ — система TN , в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении (рис. 1.7.2);

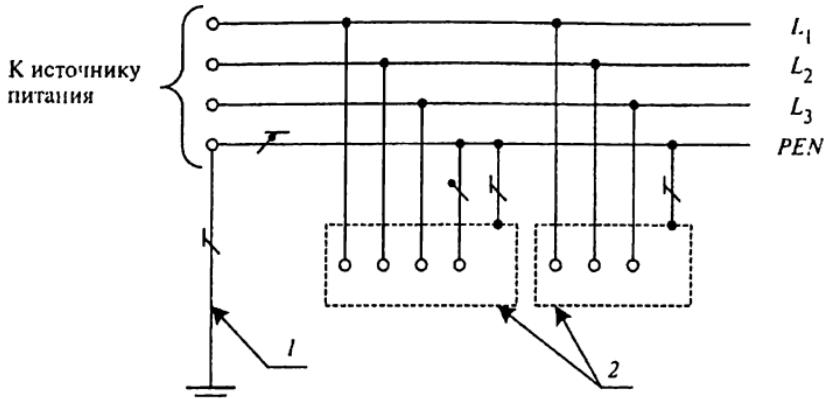


Рис. 1.7.1. Система TN-C переменного тока:

Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике: 1 — заземлитель нейтрали (средней точки) источника питания; 2 — открытые проводящие части

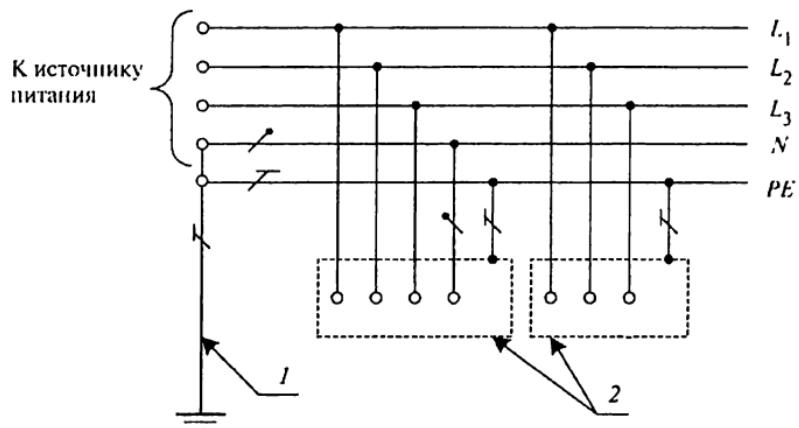


Рис. 1.7.2. Система TN-S переменного тока:

Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены: 1 — заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 — открытые проводящие части

система TN-C-S — система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания (рис. 1.7.3);

система IT — система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены (рис. 1.7.4);

система TT — система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки

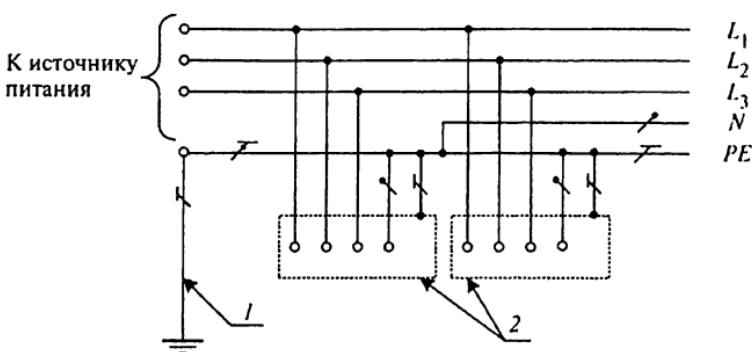


Рис. 1.7.3. Система *TN-C-S* переменного тока:

Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике в части системы: 1 — заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 — открытые проводящие части; 3 — источник питания

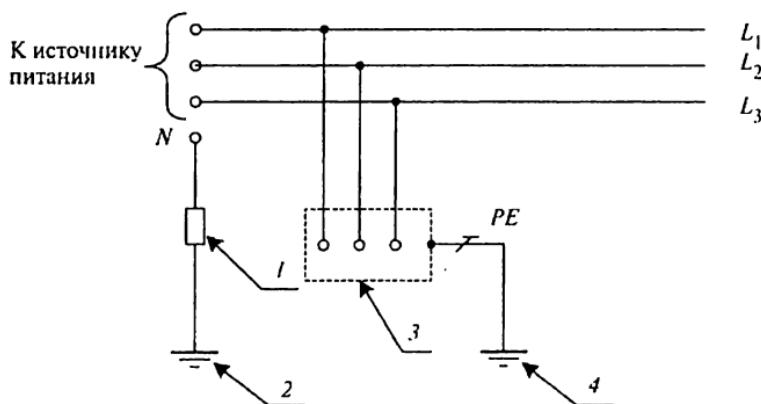


Рис. 1.7.4. Система *IT* переменного тока:

Открытые проводящие части электроустановки заземлены. Нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через большое сопротивление: 1 — сопротивление заземления нейтрали источника питания (если имеется); 2 — заземлитель; 3 — открытые проводящие части; 4 — заземляющее устройство электроустановки

заземлены с помощью заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника (рис. 1.7.5).

В приведенной буквенной системе обозначений первая буква характеризует состояние нейтрали источника питания относительно земли:

T — заземленная нейтраль;

I — изолированная нейтраль.

Вторая буква — состояние открытых проводящих частей относительно земли:

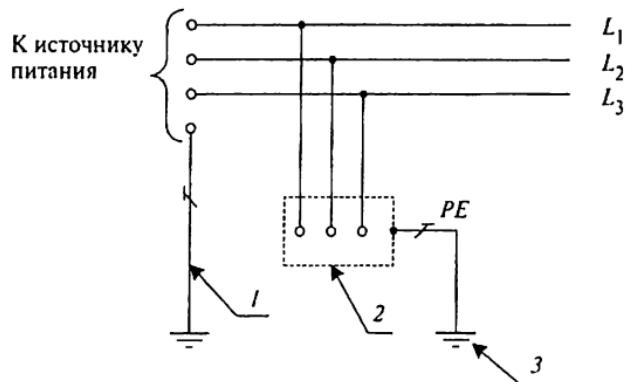
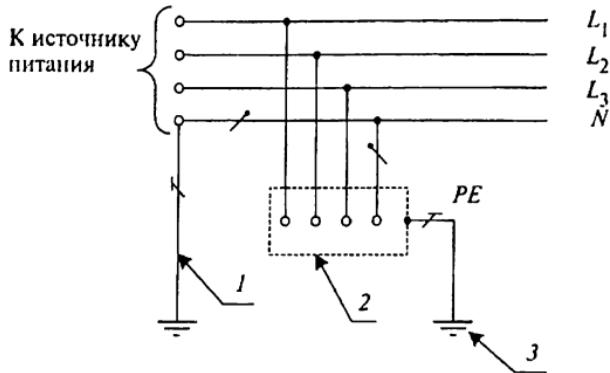


Рис. 1.7.5. Система ТТ переменного тока:

Открытые проводящие части электроустановки заземлены с помощью заземления, электрически независимого от заземлителя нейтрали: 1 — заземлитель нейтрали источника переменного тока; 2 — открытые проводящие части; 3 — заземлитель открытых проводящих частей электроустановки; 4 — источник питания

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

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

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

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

C — функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (*PEN*-проводник);

N — — нулевой рабочий (нейтральный) проводник;

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

PEN — — совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводники.

1.7.4. Электрическая сеть с эффективно заземленной нейтралью — трехфазная электрическая сеть напряжением выше 1 кВ, в которой коэффициент замыкания на землю не превышает 1,4.

Коэффициент замыкания на землю в трехфазной электрической сети — отношение разности потенциалов между неповрежденной фазой и землей в точке замыкания на землю другой или двух других фаз к разности потенциалов между фазой и землей в этой точке до замыкания.

1.7.5. Глухозаземленная нейтраль — нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная непосредственно к заземляющему устройству. Глухозаземленным может быть также вывод источника однофазного переменного тока или полюс источника постоянного тока в двухпроводных сетях, а также средняя точка в трехпроводных сетях постоянного тока.

1.7.6. Изолированная нейтраль — нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная, к нему через большое сопротивление приборов сигнализации, измерения, защиты и других аналогичных им устройств.

1.7.7. Проводящая часть — часть, которая может проводить электрический ток.

1.7.8. Токоведущая часть — проводящая часть электроустановки, находящаяся в процессе ее работы под рабочим напряжением, в том числе нулевой рабочий проводник (но не *PEN*-проводник).

1.7.9. Открытая проводящая часть — доступная прикосновению проводящая часть электроустановки, не находящаяся под напряжением (при соответствии характеристик изоляции нормируемым значениям), но которая может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

1.7.10. Сторонняя проводящая часть — проводящая часть, не являющаяся частью электроустановки.

1.7.11. Прямое прикосновение — электрический контакт людей или животных с токоведущими частями, находящимися под напряжением.

1.7.12. Косвенное прикосновение — электрический контакт людей или животных с открытыми проводящими частями, оказывающимися под напряжением при повреждении изоляции.

1.7.13. Защита от прямого прикосновения — защита для предотвращения прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением.

1.7.14. Защита от косвенного прикосновения — защита от поражения электрическим током при прикосновении к открытым проводящим частям, оказавшимся под напряжением при повреждении изоляции.

Термин **повреждение изоляции** следует понимать как единственное повреждение изоляции.

1.7.15. Заземлитель — проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

1.7.16. Искусственный заземлитель — заземлитель специально выполненный для целей заземления.

1.7.17. Естественный заземлитель — сторонняя проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемая для целей заземления.

1.7.18. Заземляющий проводник — проводник, соединяющий заземляемую часть (точку) с заземлителем.

1.7.19. Заземляющее устройство — совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

1.7.20. Зона нулевого потенциала (относительная земля) — часть земли, находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземлителя, электрический потенциал которой принимается равным нулю.

1.7.21. Зона растекания (локальная земля) — зона земли между заземлителем и зоной нулевого потенциала.

Термин **земля**, используемый в главе, следует понимать как земля в зоне растекания.

1.7.22. Замыкание на землю — случайный электрический контакт между токоведущими частями, находящимися под напряжением, и землей.

1.7.23. Напряжение на заземляющем устройстве — напряжение, возникающее при стекании тока с заземлителя в землю между точкой ввода тока в заземлитель и зоной нулевого потенциала.

1.7.24. Напряжение прикосновения — напряжение между двумя проводящими частями или между проводящей частью и землей при одновременном прикосновении к ним человека или животного.

Ожидаемое напряжение прикосновения — напряжение между одновременно доступными прикосновению проводящими частями, когда человек или животное их не касается.

1.7.25. Напряжение шага — напряжение между двумя точками на поверхности земли, на расстоянии 1 м одна от другой, которое принимается равным длине шага человека.

1.7.26. Сопротивление заземляющего устройства — отношения напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

1.7.27. Эквивалентное удельное сопротивление земли с неоднородной структурой — удельное электрическое сопротивление земли с однородной структурой, в которой сопротивление заземляющего устройства имеет то же значение, что и в земле с неоднородной структурой.

Термин удельное сопротивление, используемый в главе для земли с неоднородной структурой, следует понимать как эквивалентное удельное сопротивление.

1.7.28. Заземление — преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

1.7.29. Защитное заземление — заземление, выполняемое в целях электробезопасности.

1.7.30. Рабочее (функциональное) заземление — заземление точки или точек токоведущих частей электроустановки, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях электробезопасности).

1.7.31. Защитное зануление в электроустановках напряжением до 1 кВ — преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

1.7.32. Уравнивание потенциалов — электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов.

Защитное уравнивание потенциалов — уравнивание потенциалов, выполняемое в целях электробезопасности.

Термин уравнивание потенциалов, используемый в главе, следует понимать как защитное уравнивание потенциалов.

1.7.33. Выравнивание потенциалов — снижение разности потенциалов (шагового напряжения) на поверхности земли или пола с помощью защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности и присоединенных к заземляющему устройству, или применением специальных покрытий земли.

1.7.34. Защитный *PE* проводник — проводник, предназначенный для целей электробезопасности.

Защитный заземляющий проводник — защитный проводник, предназначенный для защитного заземления.

Защитный проводник уравнивания потенциалов — защитный проводник, предназначенный для защитного уравнивания потенциалов.

Нулевой защитный проводник — защитный проводник в электроустановках до 1 кВ, предназначенный для присоединения открытых проводящих частей к глухозаземленной нейтрали источника питания.

1.7.35. Нулевой рабочий (нейтральный) проводник *N* — проводник в электроустановках до 1 кВ, предназначенный для питания электро приемников и соединенный с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока.

1.7.36. Совмещенные нулевой защитный и нулевой рабочий *PEN* проводники — проводники в электроустановках напряжением до 1 кВ, совмещающие функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников.

1.7.37. Главная заземляющая шина — шина, являющаяся частью заземляющего устройства электроустановки до 1 кВ и предназначенная для присоединения нескольких проводников в целях заземления и уравнивания потенциалов.

1.7.38. Защитное автоматическое отключение питания - автоматическое размыкание цепи одного или нескольких фазных проводников (и, если требуется, нулевого рабочего проводника), выполняемое в целях электробезопасности.

Термин автоматическое отключение питания, используемый в главе, следует понимать как защитное автоматическое отключение питания.

1.7.39. Основная изоляция — изоляция токоведущих частей, обеспечивающая в том числе защиту от прямого прикосновения.

1.7.40. Дополнительная изоляция — независимая изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, выполняемая дополнительно к основной изоляции для защиты при косвенном прикосновении.

1.7.41. Двойная изоляция — изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, состоящая из основной и дополнительной изоляций.

1.7.42. Усиленная изоляция — изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, обеспечивающая степень защиты от поражения электрическим током, равноценную двойной изоляции.

1.7.43. Сверхнизкое (малое) напряжение (СНН) — напряжение, не превышающее 50 В переменного и 120 В постоянного тока.

1.7.44. Разделительный трансформатор — трансформатор, первичная обмотка которого отделена от вторичных обмоток с помощью защитного электрического разделения цепей.

1.7.45. Безопасный разделительный трансформатор — разделительный трансформатор, предназначенный для питания цепей сверхнизким напряжением.

1.7.46. Защитный экран — проводящий экран, предназначенный для отделения электрической цепи и/или проводников от токоведущих частей других цепей.

1.7.47. Защитное электрическое разделение цепей — отделение одной электрической цепи от других цепей в электроустановках напряжением до 1 кВ с помощью:

- двойной изоляции;
- основной изоляции и защитного экрана;
- усиленной изоляции.

1.7.48. Непроводящие (изолирующие) помещения, зоны, площадки — помещения, зоны, площадки, в которых (на которых) защита при косвенном прикосновении обеспечивается высоким сопротивлением пола и стен и в которых отсутствуют заземленные проводящие части.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Лабораторная работа № 1. Определение электрического сопротивления тела человека</i>	5
<i>Лабораторная работа № 2. Оценка опасности поражения током в трехфазных электрических сетях напряжением до 1000 В</i>	15
<i>Лабораторная работа № 3. Оценка эффективности защитного заземления</i>	28
<i>Лабораторная работа № 4. Оценка эффективности системы зануления</i>	39
<i>Лабораторная работа № 5. Оказание первой доврачебной медицинской помощи человеку, пораженному электрическим током (основные правила сердечно-легочной реанимации)</i>	52
<i>Лабораторная работа № 6. Исследование запыленности воздуха в производственных помещениях</i>	61
<i>Лабораторная работа № 7. Оценка эффективности экранов для защиты от теплового излучения</i>	74
<i>Лабораторная работа № 9. Оценка эффективности производственного освещения</i>	85
<i>Лабораторная работа № 10. Определение параметров микроклимата в производственном помещении</i>	101
<i>Лабораторная работа № 11. Измерение звуковой мощности источника шума</i>	118
<i>Лабораторная работа № 12. Оценка эффективности устройства защитного отключения</i>	132
<i>Лабораторная работа № 13. Определение электрического сопротивления многослойной земли</i>	151
<i>Лабораторная работа № 14. Защита от электромагнитного излучения СВЧ-диапазона</i>	160
<i>Приложение. Справочные материалы к лабораторным работам № 2—4</i>	175

Г а л о в.