

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ОБРАЗОВАНИЯ**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ «МЭИ»**

Бурдюков Д.А., Королев И.В., Копылова Л.Н., Иванов А.В., Павлова
Г.И., Медведев В.Т., Боровкова А.М., Малышев В.С., Каралюнец А.В.,
Чувирова С.А., Щербачева О.С., Федорова Е.В., Озерова Н.В.,
Кондратьева О.Е., Монахов А.Ф.

Безопасность жизнедеятельности

Лабораторный практикум

Для студентов обучающихся в МЭИ

по всем направлениям подготовки

Под редакцией: Кондратьевой О.Е.

Лабораторная работа №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Цель работы

Используя физическую модель, определить зависимость сопротивления тела человека от некоторых параметров электрической цепи (напряжения, рода и частоты тока) и параметры элементов его эквивалентной схемы.

Содержание работы

1. Определить значения пороговых ощутимых, неотпускающих и фибрилляционных токов - переменного с частотой 50 Гц, постоянного и выпрямленных - однополупериодного и двухполупериодного.
2. Определить зависимость сопротивления тела человека от частоты приложенного напряжения.
3. Определить зависимость сопротивления тела человека от значения приложенного напряжения.
4. Определить значения параметров эквивалентной схемы сопротивления тела человека, используя результаты экспериментов.

Действие электрического тока на организм человека

Тело человека является проводником электрического тока. Проводимость живой ткани в отличие от обычных проводников обусловлена не только её физическими свойствами, но и сложнейшими биохимическими и биофизическими процессами, присущими лишь живой материи.

В живой ткани нет свободных электронов и поэтому она не может быть уподоблена металлическому проводнику, электрический ток в котором представляет собой упорядоченное движение свободных электронов.

Большинство тканей тела человека содержит значительное количество воды (до 65% по весу). Поэтому живую ткань можно рассматривать как электролит, т. е. раствор, разлагающийся химически при прохождении по нему тока, и, таким образом, считать, что она обладает ионной проводимостью. Помимо этого, в живой ткани имеет место явление межклеточной миграции (перемещения) энергии, т. е. резонансный перенос энергии электронного возбуждения между возбуждённой и невозбуждённой клетками. Поэтому можно

предположить, что живая ткань обладает также электронно-дырочной проводимостью, свойственной полупроводникам.

Таким образом, тело человека можно рассматривать как проводник особого рода, имеющий переменное сопротивление и обладающий в какой-то мере свойствами проводников первого рода (полупроводники) и второго рода (электролиты).

А это значит, что сопротивление тела человека является переменной величиной, имеющей нелинейную зависимость от множества факторов: состояния кожи (сухая, влажная, чистая и т.п.); площади контактов (т.е. площади электродов, приложенных к телу человека); места приложения электродов; значения силы тока, протекающего через человека; значения приложенного напряжения; рода и частоты тока и продолжительности его воздействия.

Проходя через организм человека, электрический ток производит следующие виды действия:

- **термическое действие** – проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве до высоких температур внутренних тканей человека, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства;
- **электролитическое действие** – проявляется в разложении органической жидкости, в том числе и крови, что вызывает значительные нарушения их физико-химического состава;
- **механическое действие** – приводит к разрыву тканей и переломам костей;
- **биологическое действие** – проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей в организме, а также в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, присущих нормально действующему организму; с биологической точки зрения исход поражения человека электрическим током может быть следствием тех физиологических реакций, которыми ткани отвечают на протекание через них электрического тока.

Человек начинает ощущать действие проходящего через него тока малого значения $0,6 \div 1,5$ мА при переменном токе с частотой 50 Гц и $5 \div 8$ мА при постоянном токе. Эти значения являются границами или порогами, с которых начинаются области ощутимых токов, и носят название пороговых ощутимых токов. Выпрямленные токи одно- и двухполупериодные содержат постоянную и переменную составляющие, каждая из которых оказывает специфическое действие на организм человека, но измерительный прибор на стенде показывает значение лишь для постоянной составляющей.

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 значения их 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. Пороговый фибрилляционный ток зависит от многих факторов, в том числе от массы тела человека и колеблется в пределах $50 \div 400$ мА (при 50 Гц). Среднее его значение принято считать равным 100 мА при 50 Гц и 300 мА при постоянном токе.

Значения пороговых токов являются исходными данными для разработки критериев электробезопасности в первую очередь – допустимых значений напряжений прикосновения и токов, проходящих через тело человека.

При прикосновении к токоведущим или токопроводящим частям электроустановок, находящимся под напряжением, человек включается в электрическую цепь и может рассматриваться как элемент этой цепи.

Значение сопротивления тела человека требуется знать при разработке защитных мер от поражения электрическим током, анализе условий электробезопасности, а также расследований несчастных случаев.

Электрическое сопротивление различных тканей тела человека неодинаково: кожа, кости, жировая ткань, сухожилия и хрящи имеют относительно большое сопротивление, а мышечная ткань, кровь, лимфа и особенно спинной и головной мозг – малое сопротивление. Например, удельное объёмное сопротивление сухой кожи составляет $3 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^4$ Ом·м, а крови 1 – 2 Ом·м при частоте тока 50 Гц.

Сопротивление тела человека (рис.1.1а) можно условно считать состоящим из трёх последовательно включённых сопротивлений: двух одинаковых сопротивлений наружного слоя кожи (эпидермиса) – $2 \cdot Z_n$, которые в совокупности составляют так называемое наружное сопротивление тела человека, и одного – внутреннего сопротивления тела R_B , которое включает в себя сопротивление внутренних слоёв кожи и сопротивление внутренних тканей тела.

Сопротивление каждого наружного слоя кожи состоит из двух параллельно включённых сопротивлений: активного

$$R_H = \rho_H \frac{d}{S} \quad (1.1)$$

зависящего от удельного объёмного сопротивления эпидермиса, значения которого находятся в пределах $10^4 - 10^5$ Ом·м, а также от площади

электрода S (м²) и толщины эпидермиса d (м) и ёмкостного, которое обусловлено тем, что в месте прикосновения электрода к телу человека образуется как бы конденсатор с некоторой ёмкостью C_H , мкФ (рис.1.1б). Обкладками этого конденсатора являются электрод и хорошо проводящие ток ткани тела человека, лежащие под наружным слоем кожи, а диэлектриком, разделяющим обкладки, является эпидермис.

Обычно это плоский конденсатор, ёмкость которого зависит от площади электрода S (м²), толщины эпидермиса d (м) и диэлектрической проницаемости эпидермиса ε , которая в свою очередь зависит от многих факторов: частоты приложенного напряжения, температуры кожи, наличия в коже влаги и др. При токе 50 Гц значения ε находятся в пределах от 100 до 200. Ёмкость конденсатора, Ф:

$$C_H = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{d} \quad (1.2)$$

где: $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная.

Как показывают опыты, C_H колеблется в пределах от нескольких сотен пикофард до нескольких микрофард.

Значение *активной составляющей внутреннего сопротивления* R_B Ом, зависит от длины и поперечного сечения участка тела, по которому проходит ток, а также от удельного объёмного сопротивления внутренних тканей организма r_v , усреднённое значение которого при токе с частотой до 1000 Гц составляет 1,5 – 2,0 Ом·м.

Внутреннее ёмкостное сопротивление. Живую клетку можно представить себе, как оболочку с весьма малой проводимостью, заполненную жидкостью, хорошо проводящей ток. Эта клетка окружена такой же жидкостью. Очевидно, что в этом случае образуется элементарный конденсатор, который и обуславливает ёмкостную проводимость клетки. Однако эта проводимость оказывается незначительной по сравнению с довольно большой ионной проводимостью клетки и ею без особой погрешности можно пренебречь.

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

$$Z_h = 2Z_H + R_B = \frac{2}{\frac{1}{R_H} + j\omega C_H} + R_B \quad (1.3)$$

а в действительной форме

$$Z_h = \sqrt{\frac{4R_H(R_H + R_B)}{1 + \omega^2 R_H^2 C_H^2}} + R_B^2 \quad (1.4)$$

Здесь: Z_H – полное сопротивление наружного слоя кожи в комплексной форме, Ом; $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, 1/с; f – частота тока, Гц.

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 слоёв эпидермиса и внутренних тканей тела:

$$Z_h = 2R_H + R_B = R_{h0} \quad (1.5)$$

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

С ростом частоты Z_h уменьшается (за счёт уменьшения ёмкостного сопротивления) и при $f = 2,5 \div 5$ кГц незначительно отличается от внутреннего сопротивления, а при 10 кГц можно считать, что наружный слой кожи практически утрачивает сопротивление электрическому току, и, следовательно,

$$Z_h = R_B \quad (1.6)$$

Эквивалентную схему (рис. 1.1б) можно упростить, представив сопротивление тела человека как параллельное соединение $R_h = 2R_H + R_B$ и ёмкости $C_h = 0,5C_H$, которые назовём соответственно активным сопротивлением и ёмкостью тела человека (рис. 1.1в).

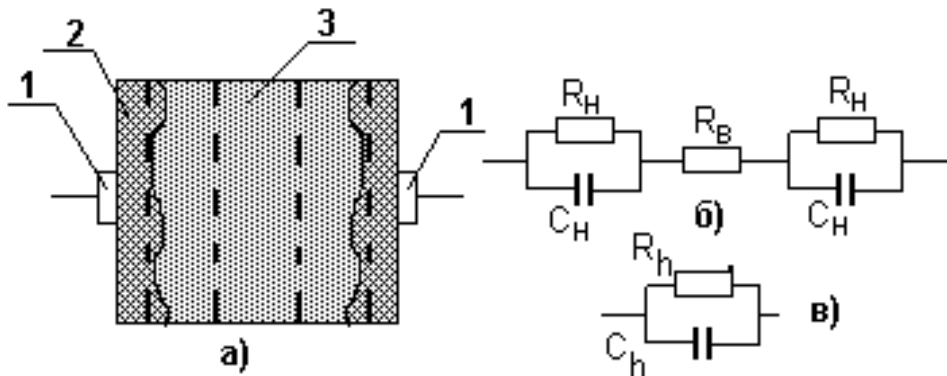


Рис.1.1. К определению электрического сопротивления тела человека:

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

В этом случае выражение полного сопротивления тела человека в действительной форме будет, кОм,

$$Z_h = \frac{R_h}{\sqrt{1 + (2\pi f C_h R_h)^2}} \quad (1.7)$$

Из этого выражения можно определить значение C_H , мкФ,

$$C_H \approx 2C_h = \frac{\sqrt{R_h^2 - Z_h^2}}{\pi f R_h Z_h} \quad (1.8)$$

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_B . Уменьшение Z_h происходит в основном за счёт 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

Работа выполняется на лабораторном стенде. Включение стенда осуществляется нажатием красной кнопки «Вкл». О готовности стенда к работе свидетельствует загорание сигнальной лампы после включения стенда.

Род тока, время воздействия и частота переменного тока устанавливаются нажатием кнопок «Род тока», «Т» и «F», а напряжение, приложенное к телу человека, и ток, проходящий через человека по пути «рука-рука», измеряются соответственно вольтметром и миллиамперметром, размещёнными на лицевой панели стенда.

По окончании работы стенд отключается нажатием кнопки «Вкл».

Указания по технике безопасности

1. Запрещается включать стенд без предварительной проверки схемы преподавателем или лаборантом.

2. При обнаружении неисправностей в работе стенда следует немедленно прекратить работу, отключить стенд от сети и сообщить об этом преподавателю.

Порядок выполнения работы

1. Определение пороговых ощутимых, неотпускающих и фибрилляционных токов.

После включения стенда установите с помощью кнопки «I» род тока «~», затем с помощью кнопки «F» значение частоты «50 Гц». Кнопкой «T» установите значение времени «∞».

Смоделируйте включение человека в электрическую цепь с помощью кнопки «Прикосновение».

При помощи кнопки «↑» увеличивайте значение приложенного напряжения до тех пор, пока не загорится зелёная лампочка «Ощутимый» на изображении тела человека. Значение тока, зафиксированное в этот момент, внесите в табл. 1.1.

Продолжайте (при помощи кнопки «↑») увеличивать значение приложенного напряжения до момента включения красной лампочки «Неотпускающий» на изображении тела человека. Значение тока, зафиксированное в этот момент, внесите в табл. 1.1.

Продолжайте (при помощи кнопки «↑») увеличивать значение приложенного напряжения до момента включения жёлтой лампочки «Фибрилляционный» на изображении тела человека. Значение тока, зафиксированное в этот момент, внесите в табл. 1.1.

Нажмите кнопку «Сброс».

Проведите аналогичные измерения для всех (постоянного, выпрямленных – одно- и двухполупериодных) родов тока. После завершения каждого эксперимента не забывайте нажимать кнопку «Сброс».

2. Определение зависимости сопротивления тела человека от частоты приложенного напряжения.

Установите с помощью кнопочных переключателей «I» – род тока «~» и «T» – время «∞». С помощью кнопки «↑» установите величину напряжения « $n \cdot 10$ » (где n – номер бригады).

Смоделируйте включение человека в электрическую цепь с помощью кнопки «Прикосновение».

Изменяя частоту тока от 50 Гц до 5 кГц с помощью переключателя «F» и поддерживая значение напряжения, равное « $n \cdot 10$ », записывайте показания амперметра при каждом значении частоты. Измеренные

значения I_h и вычисленные величины $Z_h = U_h / I_h$ для каждой точки замера заносятся в табл.1.2.

Нажмите кнопку «Сброс».

3. Определение зависимости сопротивления тела человека от значения приложенного напряжения.

Установите с помощью кнопочных переключателей «I» род тока «~» и «Т» – время «∞», а переключатель «F» – в положение «50 Гц».

Смоделируйте включение человека в электрическую цепь с помощью кнопки «Прикосновение».

Изменяя величину приложенного к телу человека напряжения с помощью кнопки «↑» от n (n – номер бригады) до 220 В с шагом 10 В, записывать показания миллиамперметра, т.е. значения тока I_h , протекающего через тело человека в табл. 1.3. Рассчитайте значения $Z_h = U_h / I_h$ для каждой точки замера и внести их в табл.1.3.

Нажмите кнопку «Сброс».

4. Определение параметров эквивалентной схемы сопротивления тела человека R_B , R_H , C_H производить в следующем порядке:

а) активное сопротивление наружного слоя кожи R_H определяется экспериментально. Для этого:

Нажмите кнопку «Сброс».

Переключатель «I» установите в положение «=».

Смоделируйте включение человека в электрическую цепь с помощью кнопки «Прикосновение».

Увеличивая напряжение, приложенное к телу человека, кнопкой «↑» установите значение тока через тело человека $I_h = 2,2$ мА и запишите значение U_h .

Вычислите $R_H = U_h / I_h$

б) сопротивление внутренних тканей R_B определить по выражению (1.6), для чего из табл. 1.2 взять значение Z_h , соответствующее частоте тока $f = 5$ кГц;

Используя значение R_H (п. 4а) и R_B (п. 4б), по выражению (1.5) вычислите R_{h0} .

в) ёмкость C_H определить для двух значений частоты 50 и 500 Гц или других, указанных преподавателем, по выражению (1.8), в котором значение Z_h взять из табл.1.2, а значение R_h принять равным R_{h0} (см. п. 4б).

Полученные результаты сводятся в табл.1.4.

Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

1. Принципиальную схему включения человека в цепь электрического тока.

2. Измеренные значения пороговых ощутимых, неотпускающих и фибрилляционных токов.

Таблица 1.1

Измеренные значения пороговых ощутимых токов

Род тока, проходящего через человека				
Измеренное значение порогового ощутимого тока, мА				
Измеренное значение порогового неотпускающего тока, мА				
Измеренное значение порогового фибрилляционного тока, мА				

3. Измеренные и вычисленные значения U_h и I_h , необходимые для определения зависимости сопротивления тела человека от частоты тока, протекающего через него, сведённые в табл.1.2, и график $Z_h=f(f)$, построенный на полулогарифмической сетке.

Таблица 1.2

Частота тока f , кГц	0.05	0.1	0.5	1	5
$lg f$	1.7	2.0	2.7	3.0	3.7
I_h , мА при $U_h = n \cdot 10$, В					
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, сведённые в табл.1.3 и график $Z_h=f(U_h)$.

Таблица 1.3

U_h , В											
I_h , мА											
Z_h , кОм											

5. Эквивалентную схему сопротивления тела человека, основные расчётные выражения и результаты расчёта параметров этой схемы для двух значений частоты тока (табл.1.4).

Таблица 1.4

R_B , кОм	R_H , кОм	R_{h0} , кОм	$f=50$ Гц		$f=500$ 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?

Литература

Основы охраны труда и техники безопасности в электроустановках: учебник для вузов / В.Т. Медведев, Е.С. Колечицкий, О.Е. Кондратьева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015, с.21 – 27.

Лабораторная работа №2

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ В ТРЁХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В.

Цель работы

Оценить опасность прикосновения человека к токоведущим частям трёхфазных сетей напряжением до 1000 В.

Изучить влияние параметров сетей (режима нейтрали, сопротивлений изоляции и ёмкости фазных проводников относительно земли) на опасность поражения человека электрическим током.

Содержание работы

1. Оценить опасность прямого прикосновения человека к токоведущим частям трёхфазных сетей напряжением до 1000 В с изолированной и глухозаземлённой нейтралью при различных сопротивлениях изоляции и ёмкостях, фазных проводников относительно земли. Провести сравнение опасности для двух режимов работы сетей – нормального и аварийного (т.е. при замыкании на землю одного из фазных проводников сети через малое активное сопротивление).

2. При нормальном режиме работы сетей определить ток, проходящий через человека при прикосновении к фазному проводнику в зависимости от:

а) сопротивлений изоляции фазных проводников симметричной сети (когда сопротивления изоляции и ёмкости фазных проводников относительно земли одинаковы) при постоянной ёмкости этих проводников относительно земли,

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

Анализ опасности поражения током в электрических сетях

Согласно Правилам устройства электроустановок [2] прямое прикосновение – электрический контакт людей или животных с токоведущими частями, находящимися под напряжением.

Токоведущая часть – проводящая часть электроустановки, находящаяся в процессе её работы под рабочим напряжением, в том числе нулевой рабочий проводник (но не PEN-проводник) [2].

Тяжесть поражения человека электрическим током определяется *напряжением прикосновения*.

Напряжение прикосновения – напряжение между двумя проводящими частями или между проводящей частью и землёй 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.

Опасность прикосновения, оцениваемая током (I_h), проходящим через тело человека, или напряжением прикосновения (U_{np}), зависит от ряда факторов: схемы включения человека в электрическую цепь, напряжения сети, а также сопротивлений изоляции и ёмкостей фазных проводников относительно земли. В данной работе исследуется прямое прикосновение человека к фазному проводу трёхфазной сети напряжением до 1000 В.

Для электроустановок напряжением до 1000 В 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 глухозаземлённой 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 её протяжении (рис. 2.1);

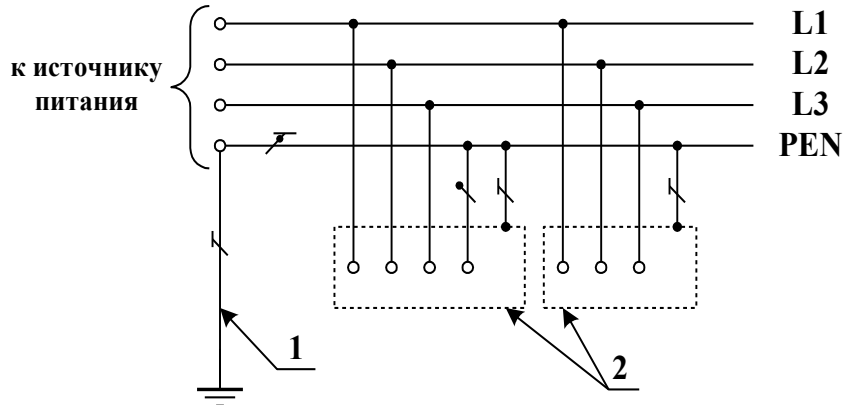


Рис. 2.1. Система $TN-C$ переменного тока.

1 - заземлитель нейтрали (средней точки) источника питания; 2 – открытые проводящие части.

с и с т е м а $TN-S$ – система TN , в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем её протяжении (рис. 2.2);

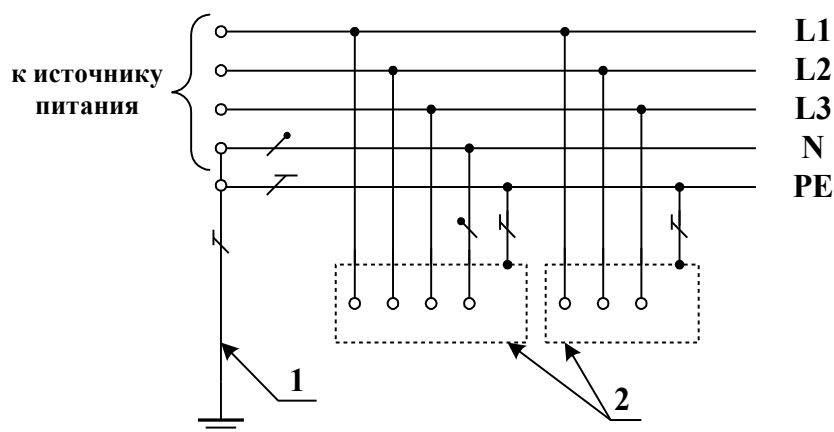


Рис. 2.2. Система *TN-S* переменного тока.

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 её части, начиная от источника питания (рис. 2.3);

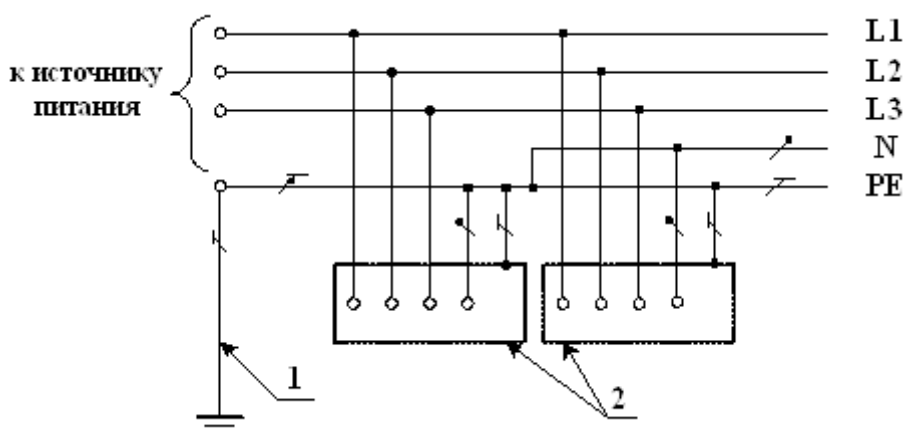


Рис. 2.3. Система *TN-C-S* переменного тока.

1 – заземлитель нейтрали источника переменного тока; *2* – открытые проводящие части, *3* – источник питания

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. 2.4);

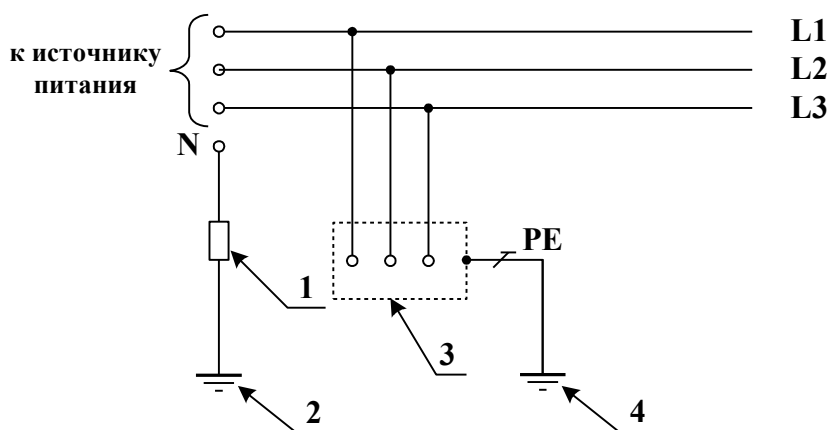


Рис. 2.4. Система IT переменного тока.

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;

система *TT* – система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземлённой нейтрали источника (рис. 2.5).

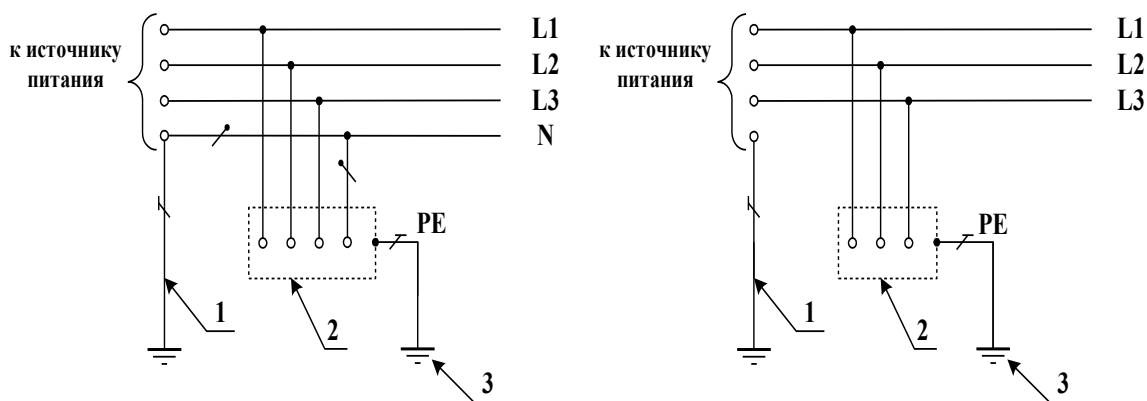


Рис. 2.5. Система TT переменного тока.

Открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземления, электрически независимого от заземлителя нейтрали:

Первая буква – состояние нейтрали источника питания относительно земли:

T – заземлённая нейтраль;

I – изолированная нейтраль.

Вторая буква – состояние открытых проводящих частей относительно земли:

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 глухозаземлённой 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- / – совмещённый нулевой защитный и нулевой рабочий проводники.

В данной работе рассматриваются прямое прикосновение человека к фазным проводникам сетей напряжением до 1000 В с изолированной (система IT) и глухозаземлённой (система TN-C) 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.2.6) и при равенстве между собой сопротивлений изоляции и ёмкостей проводников относительно земли ток через человека, касающегося фазного проводника определяется выражением:

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

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.

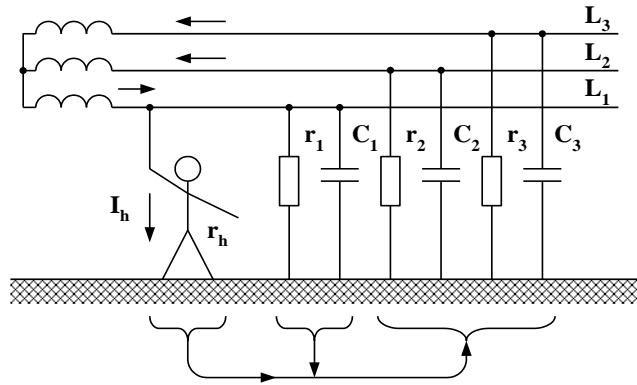


Рис. 2.6. Прикосновение человека к фазному проводнику сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме её работы.

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 – ёмкость 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 ёмкостей 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 протяжённости ток, проходящий через человека, будет определяться как:

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

При равенстве ёмкостей и весьма больших сопротивлениях изоляции фазных проводников относительно земли, т. е. при $r_1=r_2=r_3=r$ и $C_1=C_2=C_3=C$, 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.

Таким образом, в сети с изолированной нейтралью опасность для человека, прикоснувшегося к одному из фазных проводов при нормальном режиме работы сети, зависит от сопротивлений и ёмкостей фазных проводов относительно земли (рис. 2.7).

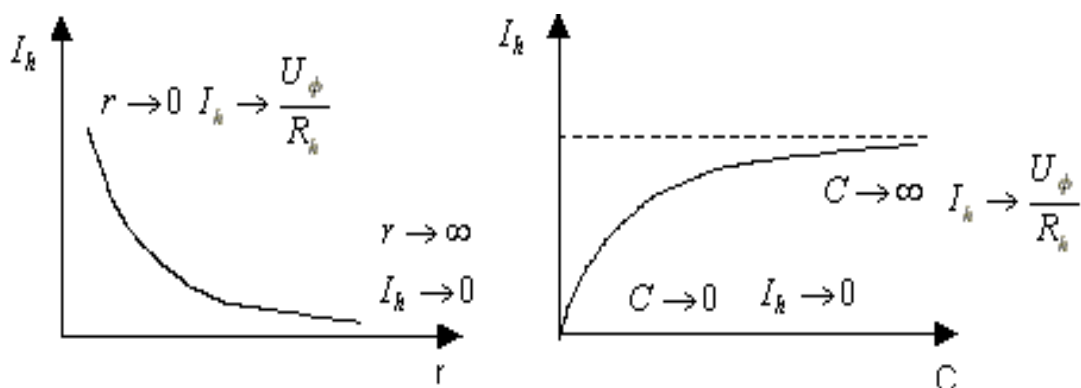


Рис. 2.7. Зависимость тока через тело человека от параметров (сопротивлений изоляции и ёмкостей фазных проводов относительно земли) системы IT

При аварийном режиме работы сети системы IT (замыкание фазы на землю через малое активное сопротивление r_{3M}), проводимости двух других фаз можно принять равными нулю.

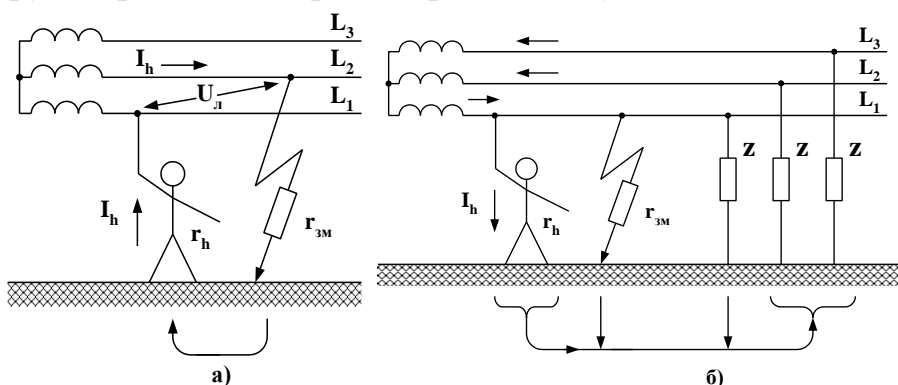


Рис.2.8. Прикосновение человека к фазному проводнику сети с изолированной нейтралью при аварийном режиме:
а) прикосновение к исправному проводнику,
б) прикосновение к замкнувшемуся проводнику.

Если человек при этом касается исправного провода сети (рис. 2.8 а), то получим ток через тело человека:

$$I_h = \frac{U_\phi \sqrt{3}}{R_h + r_{3M}} \quad (2.5)$$

а напряжение прикосновения:

$$U_{np} = U_{\phi} \sqrt{3}, \text{ т.к. } r_{3M} \ll R_h. \quad (2.6)$$

Если человек прикоснулся к проводу, который замкнулся на землю (рис. 2.8 б), то:

$$U_{np} = U_{3M} = I_3 r_{3M} \alpha_1 \alpha_2 \quad (2.7)$$

$$I_3 = \frac{U_{\phi}}{r_{3M} + \frac{r}{3}} \quad (2.8)$$

$$I_h = \frac{I_3 r_{3M} \alpha_1 \alpha_2}{R_h} \quad (2.9)$$

$$r_{3M} \ll R_h, \text{ то } I_h \approx 0$$

В сети с глухозаземлённой нейтралью при нормальном режиме работы (рис. 2.9а) ток, проходящий через человека равен:

$$I_h = \frac{U_{\phi}}{R_h + r_0} \quad (2.10)$$

где r_0 – сопротивление заземлителя нейтрали, Ом.

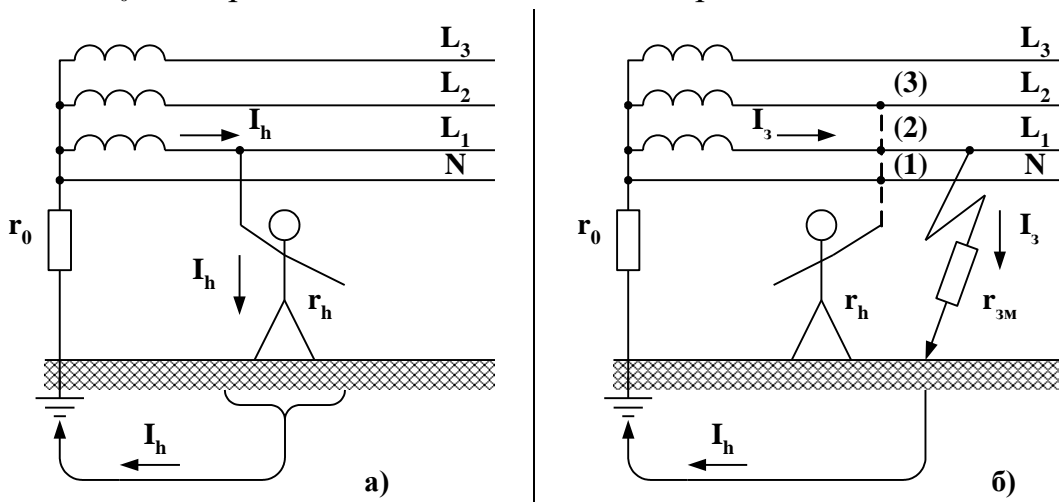


Рис.2.9. Прикосновение человека к фазному проводнику четырёх проводной сети с глухозаземлённой нейтралью:
а) нормальный режим, б) аварийный режим

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. Следовательно, без большой ошибки в (2.10) можно пренебречь значением r_0 .

Из выражений (2.1) и (2.10) следует, что прикосновение к фазному проводнику сети с глухозаземлённой нейтралью в нормальном режиме работы опаснее, чем прикосновение к проводнику сети с изолированной нейтралью, т.к. человек в этом случае попадает практически под фазное напряжение независимо от значений сопротивления изоляции и ёмкости проводников относительно земли.

Сеть с глухозаземлённой нейтралью – аварийный режим.

Если человек касается замкнувшегося на землю (L1) проводника (рис. 2.9, б), то ток через него намного меньше и определяется напряжением:

$$U_{np} = U_{3M} \alpha_1 \alpha_2 = I_3 r_{3M} \alpha_1 \alpha_2 \quad (2.11)$$

где:

$$I_3 = \frac{U_\phi}{r_{3M} + r_0} \quad (2.12)$$

$$I_h = \frac{U_{np}}{R_h} = \frac{I_3 r_{3M} \alpha_1 \alpha_2}{R_h} \quad (2.13)$$

Тогда напряжение нулевой точки сети относительно нейтрали и нулевого проводника

$$U_0 = I_3 r_0 \quad (2.14)$$

При аварийном режиме, когда один из фазных проводов сети (например, провод L1 (рис. 2.9 б), замкнут на землю через относительно малое активное сопротивление R_{3M} , а человек прикасается к исправному фазному проводу (например, L3), напряжение прикосновения в действительной форме имеет вид

$$U_{np} = U_\phi R_h \frac{\sqrt{R_{3M}^2 + 3R_{3M}R_0 + (R_0\sqrt{3})^2}}{R_{3M}R_0 + R_h(R_{3M} + R_0)} \quad (2.15)$$

Учитывая, что

$$3R_{3M}R_0 \approx 2\sqrt{3}R_{3M}R_0 \quad (2.16)$$

При этом ток, проходящий через тело человека, будет определяться выражением:

$$I_h = U_\phi \frac{R_{зм} + R_0 \sqrt{3}}{R_{зм} R_0 + R_h (R_{зм} + R_0)} \quad (2.17)$$

Рассмотрим два характерных случая.

Если принять, что сопротивление замыкания фазного провода на землю $R_{зм}$ равно нулю, то напряжение прикосновения

$$U_{np} = \sqrt{3} U_\phi \quad (2.18)$$

Следовательно, в данном случае человек окажется практически под воздействием линейного напряжения сети.

Если принять равным нулю сопротивления заземления нейтрали R_0 , то

$$U_{np} = U_\phi \quad (2.19)$$

т.е. напряжение, под которым окажется человек, будет практически равно фазному напряжению.

Однако в реальных условиях сопротивления $R_{зм}$ и R_0 всегда больше нуля, поэтому напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправному фазному проводу трёхфазной сети с глухозаземлённой нейтралью, т.е. напряжение прикосновения U_{np} всегда меньше линейного, но больше фазного, то есть

$$\sqrt{3} U_\phi > U_{np} > U_\phi \quad (2.20)$$

С учётом того, что всегда $R_{зм} > R_0$, напряжение прикосновения U_{np} в большинстве случаев незначительно превышает значение фазного напряжения, что менее опасно для человека, чем в аналогичной ситуации в сети типа IT.

Указания по технике безопасности

1. Перед выполнением данной работы необходимо ознакомиться с инструкцией по безопасности, вывешенной на стенде.
2. Во время работы запрещается производить переключения в электрических схемах под напряжением, оставлять без надзора включённый стенд.

3. 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. 2.10. Стенд позволяет моделировать любую из рассмотренных сетей трёхфазного тока.

Вместо реально существующих распределённых сопротивлений изоляции и ёмкости проводов относительно земли на стенде предусмотрены сосредоточенные сопротивления ($R1, R2, R3$) и ёмкости ($C1, C2, C3$) меняя значения которых, можно получить сеть с нужными параметрами.

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

Встроенный цифровой вольтметр (V) служит для контроля напряжений фазных проводов относительно земли.

Для измерения тока, протекающего через человека I_h служит миллиамперметр (mA), включённый между основанием на котором стоит человек и землёй.

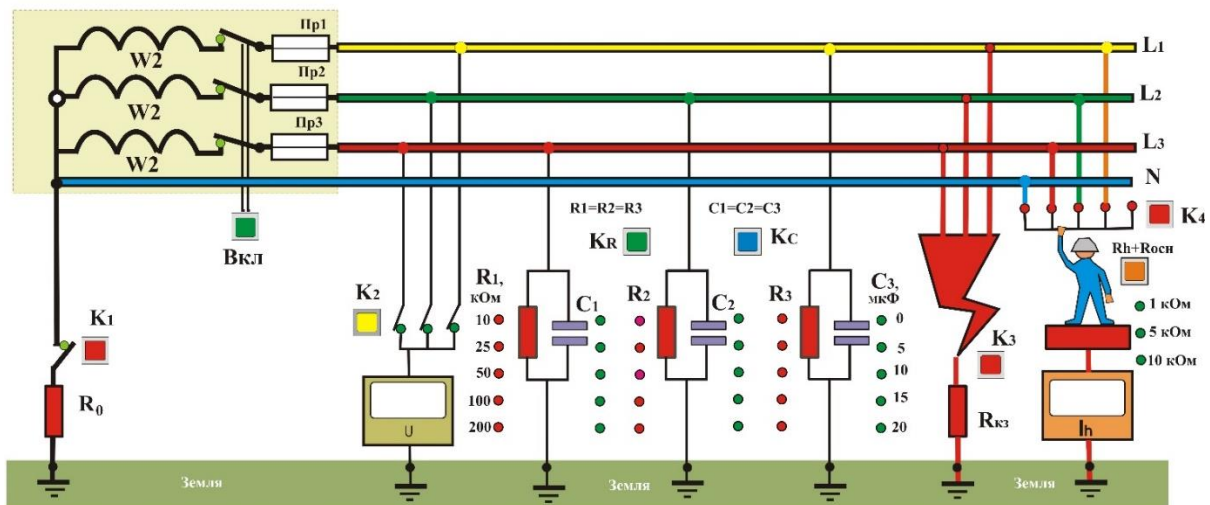


Рис.2.10. Схема лицевой панели стенда

Порядок проведения работы

1. Включить питание стенда кнопкой «Вкл».
2. Выставить:
 - нажатием кнопки K_R сопротивления изоляции фазных проводников относительно земли в соответствии с заданием, приведённым в табл.2.1.

- нажатием кнопки K_C ёмкости фазных проводников относительно земли в соответствии с заданием, приведённым в табл.2.1.

- нажатием кнопки $R_h + R_{осн}$ сопротивление тела человека и дополнительное сопротивление основания растеканию тока в соответствии с заданием, приведённым в табл.2.1.

Таблица 2.1

№ бригады	1	2	3	4	5	6	7
$R_1 = R_2 = R_3$, кОм	10	25	50	100	200	10	50
$R_h + R_{осн}$, кОм	1	5	10	1	5	10	5
$C1 = C2 = C3$, мкФ	0	5	10	15	20	0	5

3. Оценить опасность прямого прикосновения человека к проводникам трёхфазных сетей с изолированной нейтралью в нормальном режиме работы:

- изолировать нейтраль (кнопка $K1$);
- имитируя прикосновение человека к фазным проводникам последовательным нажатием кнопки $K4$ (над блоком $R_h + R_{осн}$) измерить I_h . Показания миллиамперметра занести в табл.2.2.

Таблица 2.2

№	Электрическая сеть	Режим работы	Сопротивление изоляции фазных проводников, кОм			Сопротивление замыкания, Ом	Ток через человека при поочерёдном прикосновении к проводникам, мА			
			R_1	R_2	R_3		I_{h1}	I_{h2}	I_{h3}	I_N
1	с изолированной нейтралью	нормальный				100				
2	с изолированной нейтралью	аварийный								
3	с глухозаземлённой нейтралью ($r_0 = 4$ Ом)	нормальный								
4	с глухозаземлённой нейтралью ($r_0 = 4$ Ом)	аварийный								

4. Оценить опасность прямого прикосновения человека к проводникам трёхфазных сетей с изолированной нейтралью в аварийном режиме работы:

- нажатием на кнопку K_3 замкнуть один из фазных проводников на землю через малое активное сопротивление R_{K3} (сопротивление в месте контакта проводника с землёй имитируется резистором 100 Ом, которое установлено в схеме стенда);

- имитируя прикосновение человека к фазным проводникам последовательным нажатием кнопки $K4$ (над блоком $R_h + R_{осн}$) измерить I_h . Результаты измерений занести в табл.2.2.

5. Оценить опасность прямого прикосновения человека к проводникам трёхфазной сети с глухозаземлённой нейтралью в нормальном режиме работы:

- заземлить нейтраль (кнопка К1);
- имитируя прикосновение человека к фазным проводникам последовательным нажатием кнопки К4 (над блоком $R_h + R_{осн}$) измерить I_h . Результаты измерений занести в табл.2.2.

6. Оценить опасность прямого прикосновения человека к проводникам трёхфазных сетей с глухозаземлённой нейтралью в аварийном режиме работы:

- нажатием на кнопку К3 замкнуть один из фазных проводников на землю через малое активное сопротивление $R_{кз}$ (сопротивление в месте контакта проводника с землёй имитируется резистором 100 Ом, которое установлено в схеме стенда);
- имитируя прикосновение человека к фазным проводникам последовательным нажатием кнопки К4 (над блоком $R_h + R_{осн}$) измерить I_h . Результаты измерений занести в табл.2.2.

7. При нормальном режиме работы сети с изолированной нейтралью определить ток, проходящий через тело человека при, его прикосновении к любому из фазных проводников в зависимости от сопротивлений изоляции фазных проводников сети относительно земли при постоянной ёмкости этих проводников относительно земли.

Постоянное значение ёмкости C взять из табл.2.1, в соответствии с номером вашей бригады.

Изменяя сопротивления изоляции фазных проводников относительно земли $R_1=R_2=R_3$ в соответствии с табл.2.3, снять зависимость $I_h(R)$. В табл.2.4 указать значения $C_1=C_2=C_3$, при которых проводились измерения.

Результаты измерений занести в табл. 2.3.

Таблица 2.3

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

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

8. При нормальном режиме работы сети с изолированной нейтралью определить ток, проходящий через тело человека, при его прикосновении к любому из фазных проводников в зависимости от ёмкостей фазных проводников сети относительно земли при постоянном сопротивлении изоляции.

Постоянное значение сопротивлений изоляции фазных проводников относительно земли R взять из табл.2.1, в соответствии с номером вашей бригады.

Изменяя значения ёмкостей фазных проводников относительно земли $C=C_1=C_2=C_3$ в соответствии с табл.2.4, снять зависимость $I_h(C)$. В табл. 2.4. указать значения $R_1=R_2=R_3$, при которых проводились измерения. Результаты измерений занести в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Зависимость тока через человека от ёмкости проводников относительно земли в трёхфазной сети с изолированной нейтралью

$C_1=C_2=C_3$, мкФ	0	5	10	15	20	$R_1=R_2=R_3$, кОм
I_h , мА						

9. При нормальном режиме работы сети с глухозаземлённой нейтралью определить ток, проходящий через тело человека при, его прикосновении к любому из фазных проводников в зависимости от сопротивлений изоляции фазных проводников сети относительно земли при постоянной ёмкости этих проводников относительно земли.

Постоянное значение ёмкости C взять из табл.2.1, в соответствии с номером вашей бригады.

Сопротивление заземлителя нейтрали $R_0=4$ Ом.

Изменяя сопротивления изоляции фазных проводников относительно земли $R_1=R_2=R_3$ в соответствии с табл.2.5, снять зависимость $I_h(R)$. В табл.2.5 указать значения $C_1=C_2=C_3$, при которых проводились измерения.

Результаты измерений занести в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Зависимость тока через человека от сопротивления изоляции проводников в трёхфазной сети с глухозаземлённой нейтралью

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

10. При нормальном режиме работы сети с глухозаземлённой нейтралью определить ток, проходящий через тело человека, при его прикосновении к любому из фазных проводников в зависимости от ёмкостей фазных проводников сети относительно земли при постоянном сопротивлении изоляции.

Постоянное значение сопротивлений изоляции фазных проводников относительно земли R взять из табл.2.1, в соответствии с номером вашей бригады.

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

табл. 2.7. указать значения $R_1=R_2=R_3$, при которых проводились измерения. Результаты измерений занести в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Зависимость тока через человека от ёмкости проводников относительно земли в трёхфазной сети с глухозаземлённой нейтралью

$C_1=C_2=C_3$, мкФ	0	5	10	15	20	$R_1=R_2=R_3$, кОм
I_h , мА						

Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

1. Принципиальные схемы исследуемых сетей (но не схему лицевой панели стенда).
2. Результаты измерений в виде таблиц.
3. Зависимости I_h (R) и I_h (C) должны быть проиллюстрированы графиками.
4. Выводы об опасности прикосновения человека к токоведущим частям трёхфазных сетей напряжением до 1000 В и влиянии параметров сети (режима нейтрали, сопротивления изоляции и ёмкости фазных проводников относительно земли) на опасность поражения человека электрическим током как в нормальном, так и в аварийном режимах.

Контрольные вопросы и задачи

1. В каком случае (в трёхфазной сети с изолированной нейтралью или с глухозаземлённой 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 трёхфазной сети с изолированной нейтралью при увеличении ёмкости проводников относительно земли возрастает ток, проходящий через человека? Чем будет определяться данный ток при $C \rightarrow \infty$?
5. К какому фазному проводнику трёхфазной трёхпроводной сети с изолированной нейтралью прикосновение опаснее и почему, если проводники имеют разные сопротивления изоляции?

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

а) при $C_1 = C_2 = C_3 = 0$ и для сопротивлений изоляции фазных проводов $R = R_1 = R_2 = R_3 = 3$ кОм, 15 кОм, 30 кОм, 60 кОм.

б) при $R = R_1 = R_2 = R_3 = \infty$ и для значений ёмкостей фазных проводов $C_1 = C_2 = C_3 = C = 0,03$ мкФ, 0,2 мкФ, 1,0 мкФ, 1,5 мкФ.

7. Человек прикоснулся к фазному проводнику трёхфазной четырёхпроводной сети $U_\phi = 220$ В с заземлённой нейтралью. Определить I_h при следующих параметрах сети $r_o = 4$ 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 трёхфазной трёхпроводной сети с изолированной нейтралью в момент, когда другой фазный провод был замкнут на землю. Определить 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 $r_{зм} = 300$ Ом, 100 Ом, 30 Ом, 10 Ом.

Литература

1. Основы охраны труда и техники безопасности в электроустановках: учебник для вузов / В.Т. Медведев, Е.С. Колечицкий, О.Е. Кондратьева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015, с.191 – 208.

2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Седьмое издание. – М.: Изд. «НЦ ЭНАС», 1999 и 2002.

Лабораторная работа №3

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Цель работы

Оценка эффективности защитного заземления в трёхфазной трёхпроводной сети с изолированной нейтралью и в трёхфазной четырёхпроводной сети с глухозаземлённой нейтралью напряжением до 1000 В.

Содержание работы

1. Оценить эффективность защитного заземления в трёхфазной трёхпроводной сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В (система IT).

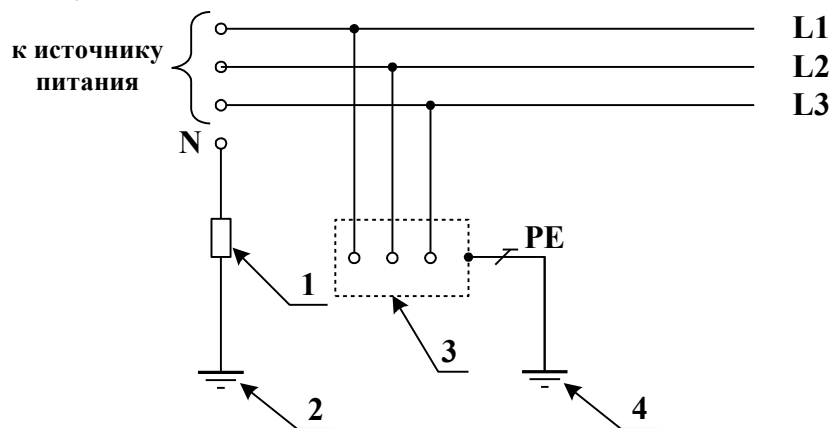


Рис.3.1. Система IT переменного тока. Открытые проводящие части электроустановки заземлены. Нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через большое сопротивление:

1 – сопротивление заземления нейтрали источника питания (если имеется); 2 – заземлитель; 3 – открытые проводящие части; 4 – заземляющее устройство электроустановки;

2. Оценить эффективность защитного заземления в сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В (система IT) при двойном замыкании на корпуса электроустановок, имеющие отдельные заземляющие устройства.

3. Оценить эффективность защитного заземления в трёхфазной четырёхпроводной сети с глухозаземлённой нейтралью напряжением до 1000 В (система TN).

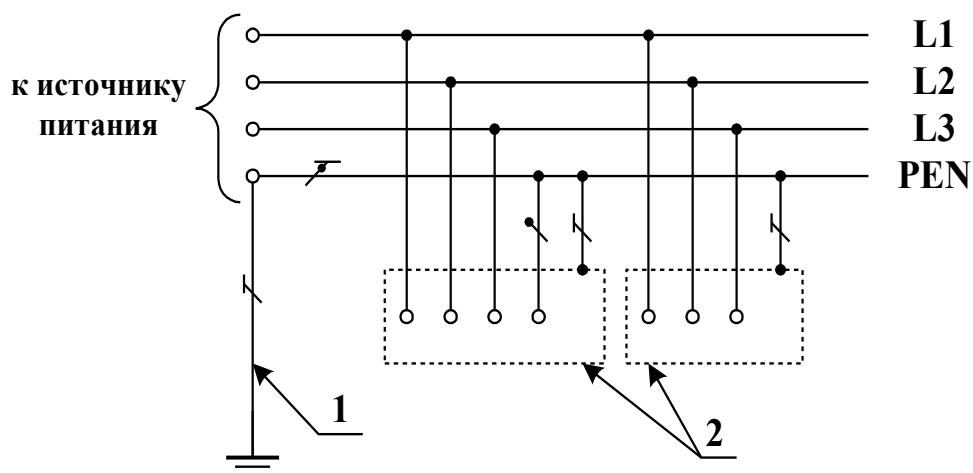


Рис. 3.2. Система *TN-C* переменного тока.

Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике:

- 1 – заземлитель нейтрали (средней точки) источника питания;
2 – открытые проводящие части.

Защитное заземление

Защитное заземление – заземление, выполняемое в целях электробезопасности [2].

Защитное заземление следует выполнять преднамеренным электрическим соединением металлических частей электроустановок с «землёй» или её эквивалентом [3].

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.).

Открытая проводящая часть – доступная прикосновению проводящая часть электроустановки, нормально не находящаяся под напряжением, но которая может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции [2].

Замыкание на корпус – случайный электрический контакт между токоведущими частями и открытыми проводящими частями электроустановки.

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

Причём, допустимые напряжения прикосновения и сопротивления заземляющих устройств должны быть обеспечены в любое время года [3].

Защитное заземление следует отличать от других видов заземления, например, рабочего заземления и заземления молниезащиты.

Рабочее заземление – преднамеренное соединение с землёй отдельных точек электрической цепи, например нейтральных точек обмоток генераторов, силовых и измерительных трансформаторов, дугогасящих аппаратов, реакторов поперечной компенсации в дальних линиях электропередачи, а также фазы при использовании земли в качестве фазного или обратного провода. Рабочее заземление предназначено для обеспечения надлежащей работы электроустановки в нормальных или аварийных условиях и осуществляется непосредственно (т. е. путём соединения проводником заземляемых частей с заземлителем) или через специальные аппараты – пробивные предохранители, разрядники, резисторы и т. п.

Заземление молниезащиты – преднамеренное соединение с землёй молниеприёмников и разрядников в целях отвода от них токов молнии в землю.

Принцип действия защитного заземления – снижение до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус и другими причинами. Это достигается путём уменьшения потенциала заземлённого оборудования (уменьшением сопротивления заземлителя), а также путём выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземлённого оборудования (подъёмом потенциала основания, на котором стоит человек, до значения, близкого к значению потенциала заземлённого оборудования).

Рассмотрим два случая. Корпус электроустановки не заземлён (рис.3.3). В этом случае прикосновение к корпусу электроустановки также опасно, как и прикосновение к фазному проводу сети.

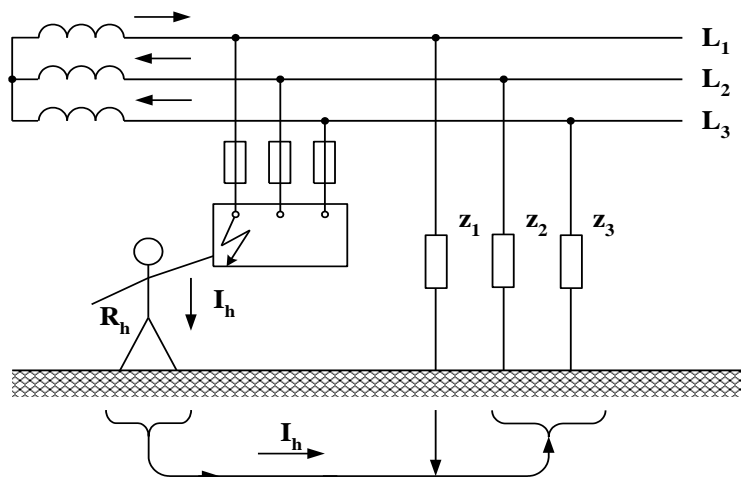


Рис. 3.3. Прикосновение человека к изолированному от земли корпусу при замыкании на него фазного проводника

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + \frac{Z}{3}} \quad (3.1)$$

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 ёмкость проводников относительно земли соответственно; ω – угловая частота, с⁻¹.

При малых значениях C (т.е. в коротких сетях) уравнение (3.1) принимает вид:

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

Корпус электроустановки заземлён (рис.3.2). В этом случае напряжение корпуса электроустановки относительно земли уменьшится и станет равным потенциалу заземлителя:

$$U_{корп} = \varphi_3 = I_3 R_3 \quad (3.4)$$

Напряжение прикосновения и ток через тело человека в этом случае будут определяться по формулам:

$$\begin{aligned} U_{пр} &= I_3 R_3 \alpha_1 \alpha_2 \\ I_h &= I_3 \frac{R_3}{R_h} \alpha_1 \alpha_2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

где $\alpha_1 = 1 - \frac{\phi_{осн}}{\phi_3}$ – коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий форму потенциальной кривой (распределение потенциала по поверхности земли при стекании тока;

$\alpha_2 = \frac{R_h}{R_h + R_{осн}}$ – коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий дополнительное сопротивление основания растеканию тока по поверхности земли.

Ток через тело человека, касающегося корпуса при самых неблагоприятных условиях ($\alpha_1 = \alpha_2 = 1$), будет равен:

$$I_h = \frac{\varphi_3}{R_h} \quad (3.6)$$

Уменьшая значение сопротивления заземлителя растеканию тока R_3 , можно уменьшить напряжение корпуса электроустановки относительно земли, в результате чего уменьшаются напряжение прикосновения и ток через тело человека.

Заземление будет эффективным лишь в том случае, если ток замыкания на землю I_3 практически не увеличивается с уменьшением сопротивления заземлителя. Такое условие выполняется в сетях с изолированной нейтралью (система IT) напряжением до 1 кВ, так как в них ток замыкания на землю в основном определяется сопротивлением изоляции проводов относительно земли, которое значительно больше сопротивления заземлителя (рис.3.4).

Область применения защитного заземления – трёхфазные трёхпроводные сети до 1000 В с изолированной нейтралью и выше 1000 В с любым режимом нейтрали.

Сопротивление заземляющего устройства выбирается таким, что бы напряжение прикосновения не превышало допустимых значений. Для сетей 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.

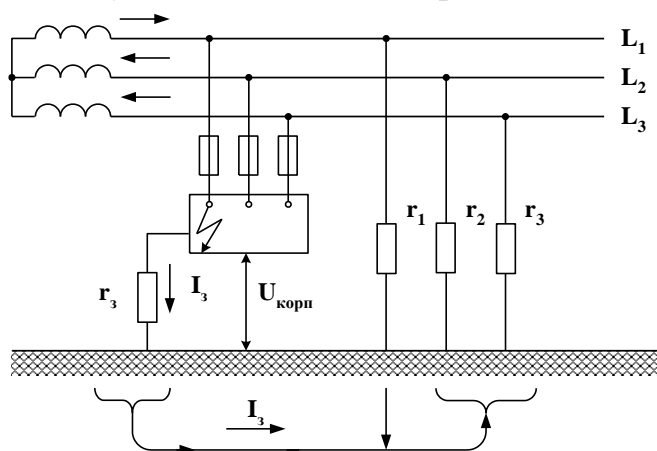


Рис.3.4. Принципиальная схема защитного заземления в сети с изолированной нейтралью (система IT)

При двойном замыкании на землю в сети трёхфазной трёхпроводной с изолированной нейтралью (система IT) до 1000 В, то есть замыкании двух фаз на два корпуса, имеющих отдельные заземлители (рис.3.5), эти и другие корпуса, присоединённые к указанным заземлителям, окажутся под напряжением относительно земли, равным: в установке 1 – $U_{з1} = I_3 r_{з1}$, в установке 2 – $U_{з2} = I_3 r_{з2}$ соответственно.

Сопротивление изоляции и ёмкости фазных проводников относительно земли в данном случае практически не влияют на значение тока замыкания на землю, цепь которого устанавливается через сопротивления заземлений $r_{з1}$ и $r_{з2}$. При этом $U_{з1} + U_{з2} = U_{л}$ ($U_{л}$ – линейное напряжение сети). При равенстве $r_{з1}$ и $r_{з2}$, $U_{з1} = U_{з2} = 0,5 U_{л}$. Наличие таких напряжений на заземлённых элементах установок является опасным для человека, тем более, что замыкание в сетях до 1000 В может существовать длительно.

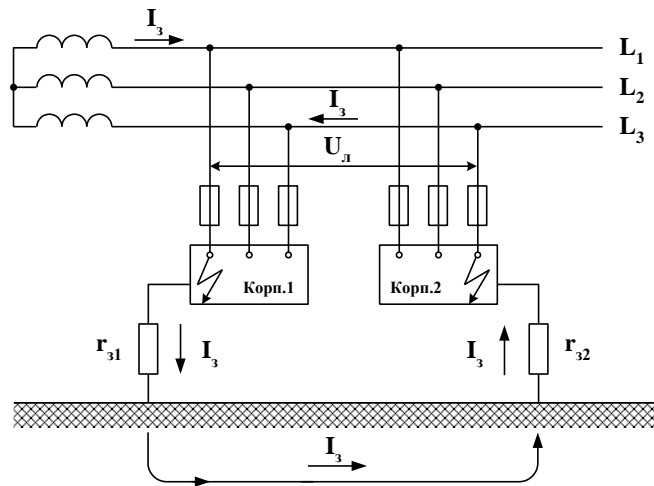


Рис.3.5 Принципиальная схема при двойном замыкании на землю (замыкание двух разных фаз сети на корпуса электроустановок, имеющие отдельные заземлители)

Если же заземлители, или корпуса электроустановок 1 и 2 соединить проводником достаточного сечения или эти заземлители выполнить как одно целое, то двойное замыкание на землю превратится в межфазное короткое замыкание, что вызовет быстрое отключение установок максимальной токовой защитой (предохранители, автоматические выключатели и т.п.), т.е. обеспечит кратковременность опасного режима.

В сети с глухозаземлённой нейтралью (рис.3.6) при замыкании фазного проводника на корпус по цепи, образовавшейся через землю, будет проходить ток

$$I_3 = \frac{U_{\phi}}{r_0 + r_3} \quad (3.7)$$

где r_0 – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

При этом фазное напряжение распределится между r_3 и r_0 , т.е.

$$U_3 = U_{\text{корп}} = I_3 r_3; U_0 = I_3 r_0; U_3 + U_0 = U_\phi \quad (3.8)$$

Таким образом, напряжение корпуса относительно земли зависит от соотношения сопротивлений r_0 и r_3 . При равенстве r_0 и r_3 напряжение на заземлённом корпусе будет

$$U_3 = U_0 = 0,5 \cdot U_\phi$$

Это напряжение является опасным для человека, поэтому в сети напряжением до 1000 В с глухозаземлённой нейтралью защитное заземление не применяется.

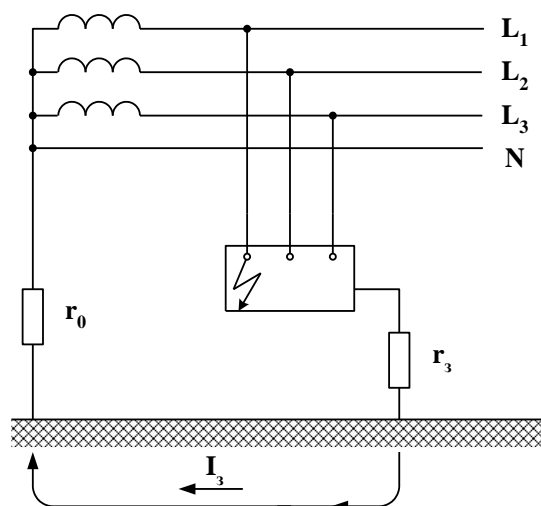


Рис.3.6. Принципиальная схема защитного заземления в сети с глухозаземлённой нейтралью (система TN)

В сетях с глухозаземлённой нейтралью и корпусами, имеющими отдельное заземление (система TT) обязательным согласно ПУЭ является дополнительное применение устройств защитного отключения на дифференциальном токе (рис.3.7).

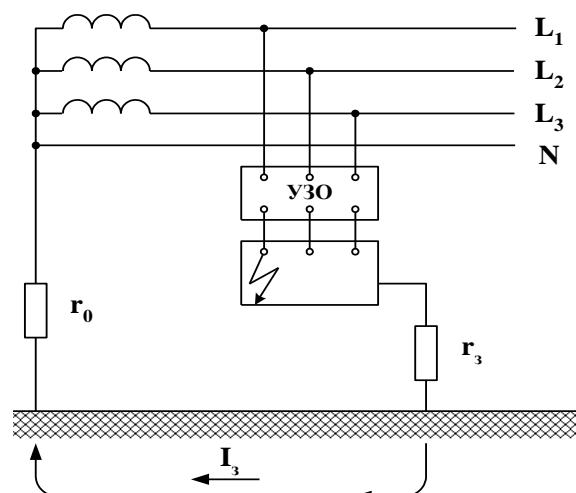


Рис.3.7. Защитное заземление в сети с глухозаземлённой нейтралью (система ТТ)

Применяемое оборудование

Лицевая панель стенда представлена на рис.3.8.

Стенд включается кнопкой «Вкл». Распределённые вдоль фазных проводников сопротивления изоляции относительно земли имитируются на стенде резисторами R_1 , R_2 и R_3 , величина этих сопротивлений 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 подсоединяется 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 заземлён.

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

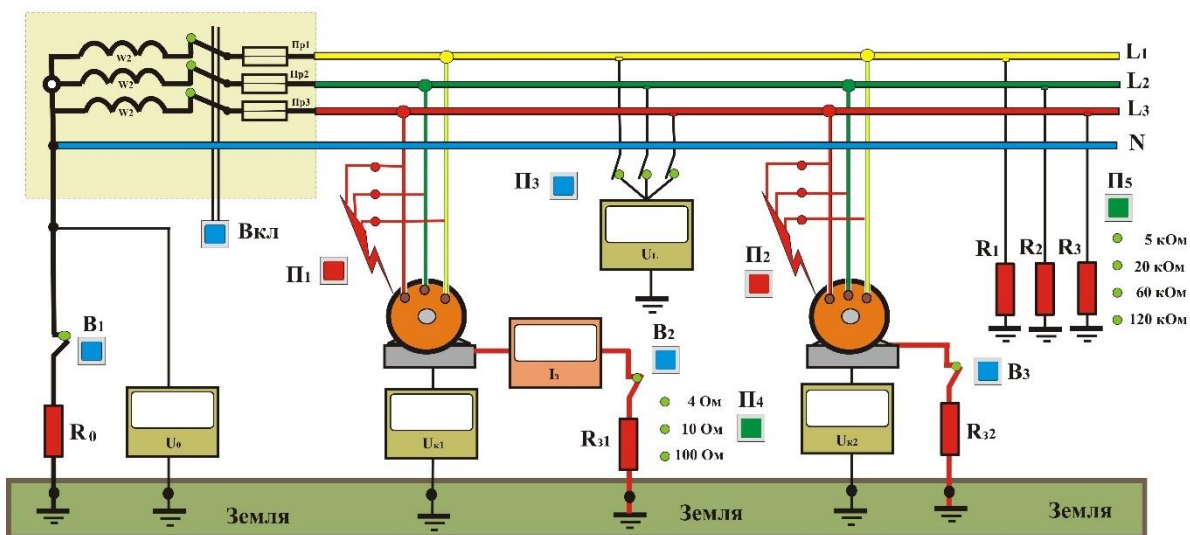


Рис. 3.8. Лицевая панель стенда

Указания по технике безопасности

При обнаружении в стенде какой-либо неисправности необходимо прекратить работу, отключить стенд и сообщить о случившемся преподавателю.

Порядок проведения работы

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

а) Корпус электроустановки не заземлён (изолирован).

1. Включить стенд.
2. В соответствии с табл.3.1 установить значения сопротивлений, имитирующих сопротивление изоляции проводников относительно земли.

Таблица 3.1

№ бригады	1	2	3	4	5	6	7
Сопротивление изоляции	5	20	60	120	5	20	60
Сопротивление заземлителя корпуса 1 (r_3), Ом	4	10	100	4	10	100	4

3. Отключить корпус первой электроустановки от защитного заземлителя.
4. Отключить нейтраль источника тока от рабочего заземлителя.
5. Произвести замыкание фазы L3 на корпус первой электроустановки, измерить напряжение этого корпуса относительно земли и

напряжения всех фазных проводников относительно земли. Результаты измерений занести в табл.3.2.

б) Корпус электроустановки заземлён.

1. Заземлить корпус первой электроустановки. Величину сопротивления заземлителя установить в соответствии с табл.3.1.

2. Произвести замыкание фазы L3 на корпус первой электроустановки, измерить напряжение этого корпуса относительно земли и напряжения всех фазных проводов относительно земли. Результаты измерений занести в табл.3.2.

3. Отключить стенд от сети.

II. Оценка эффективности защитного заземления в сети с изолированной нейтралью до 1000 В при двойном замыкании на землю.

1. Включить стенд нажатием на кнопку «Вкл».

2. Заземлить корпуса первой (нажатием кнопки «В2») и второй (нажатием кнопки «В3») электроустановок.

3. На корпус первой электроустановки замкнуть фазу L3 (нажатием кнопки «П1»), на корпус второй электроустановки – фазу L1 или фазу L2 (нажатием кнопки «П2»).

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

5. Отключить стенд от сети.

III. Оценка эффективности защитного заземления в четырёхпроводной сети с глухозаземлённой нейтралью напряжением до 1000 В.

1. Включить стенд нажатием на кнопку «Вкл».

2. Заземлить нейтраль источника тока четырёхпроводной сети (нажатием на кнопку «В1»).

3. Заземлить корпус первой (нажатием кнопки «В2»)

4. Замкнуть фазный провод L3 (нажатием кнопки «П1») на корпус первой электроустановки.

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

6. Отключить стенд.

Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

По теме 1. Оценка эффективности защитного заземления в сети с изолированной нейтралью.

1.1. Принципиальную схему защитного заземления в сети с изолированной нейтралью.

1.2. Результаты измерения в виде табл.3.2.

Таблица 3.2

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

По теме 2. Оценка эффективности защитного заземления в сети с изолированной нейтралью до 1000 В при двухфазном замыкании на заземлённые корпуса электроустановок.

2.1. Принципиальную схему двухфазного замыкания на заземлённые корпуса электроустановок.

2.2. Результаты измерений в виде табл.3.3.

Таблица 3.3

$U_{\phi}, \text{ В}$	$\sqrt{3} U_{\phi}, \text{ В}$	$U_{\text{корп1}}, \text{ В}$	$U_{\text{корп2}}, \text{ В}$	$I_3, \text{ А}$	Расчётные значения	
					$R_{31}, \text{ Ом}$	$R_{32}, \text{ Ом}$

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

По теме 3. Оценка эффективности защитного заземления в сети с глухозаземлённой нейтралью

3.1. Принципиальную схему защитного заземления в сети с глухозаземлённой нейтралью.

3.2. Результаты измерений в виде табл.4.

Таблица 3.4

$U_{\phi}, \text{ В}$	$U_0, \text{ В}$	$U_{\text{корп}}, \text{ В}$	$I_3, \text{ А}$	Расчётные значения	
				$R_{31}, \text{ Ом}$	$R_0, \text{ Ом}$

3.3. Результаты расчёта сопротивлений заземлителя корпуса 1 и заземлителя нейтральной точки.

4. Выводы:

4.1. Об эффективности защитного заземления в сети с изолированной нейтралью до 1000 В.

4.2. Об эффективности защитного заземления при двухфазном замыкании по результатам измерений.

4.3. Об эффективности защитного заземления в сети с глухозаземлённой нейтралью.

Контрольные вопросы и примеры

1. Назначение и область применения защитного заземления.
2. По какой формуле вычисляется ток, протекающий через человека в случае прикосновения к заземлённому корпусу, 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 заземлённой нейтралью?
5. Почему неэффективно применение защитного заземления в сети с заземлённой нейтралью напряжением до 1000 В?
6. В сети (рис.1 сопротивления изоляции и ёмкости 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 $U_\phi = 220 \text{ В}$. Определить 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) 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 (рис.4) произошло замыкание одного из фазных проводов на корпус электроустановки, которого касается человек. Сопротивление человека $R_h = 1000 \text{ Ом}$. Параметры сети: $r_0 = 4 \text{ Ом}$, $r_1 = r_2 = r_3 = 10 \text{ кОм}$; $C_1 = C_2 = C_3 = 0$, $U_\phi = 220 \text{ В}$. Определить 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.

Литература

1. Основы охраны труда и техники безопасности в электроустановках: учебник для вузов / В.Т. Медведев, Е.С. Колечицкий, О.Е. Кондратьева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015, с. 130-167, 226 – 230.
2. Заземление и защитные меры электробезопасности (Правила устройства энергоустановок, гл.1.7)
3. ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление».
4. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»

Лабораторная работа №4

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЗАНУЛЕНИЯ

Цель работы

Оценить эффективность системы зануления в трёхфазной четырёхпроводной сети с глухозаземлённой нейтралью напряжением до 1000 В.

Содержание работы

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

Зануление

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) *защитное зануление* (далее зануление) в электроустановках напряжением до 1000 В – это преднамеренное электрическое соединение открытых проводящих частей электроустановки с глухозаземлённой нейтралью генератора или трансформатора в сетях трёхфазного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Зануление следует выполнять электрическим соединением металлических частей электроустановок с заземлённой точкой источника питания электроэнергией при помощи нулевого защитного проводника [2].

В стационарных электроустановках трёхфазного тока в сети с заземлённой нейтралью или заземлённым выводом однофазного источника питания электроэнергией, а также с заземлённой средней точкой в трёхпроводных сетях постоянного тока должно быть выполнено зануление.

При занулении фазные и нулевые защитные проводники должны быть выбраны таким образом, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой проводник, возникал ток короткого замыкания, обеспечивающий отключение максимальной токовой защиты (МТЗ).

В цепи нулевых защитных проводников не должно быть разъединяющих приспособлений и предохранителей.

В цепи нулевых рабочих проводников, если они одновременно служат для целей зануления, допускается применение разъединительных

приспособлений, которые одновременно с отключением нулевых рабочих проводников отключают также все проводники, находящиеся под напряжением [2].

Таким образом, принцип действия зануления – превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание (КЗ) (т.е. замыкание между фазным и нулевым защитным (РЕ – проводником) проводниками) с целью вызвать ток короткого замыкания I_K , способный обеспечить срабатывание максимальной токовой защиты и тем самым автоматически отключить повреждённую электроустановку от питающей сети.

Принципиальная схема зануления показана на рис. 4.1.

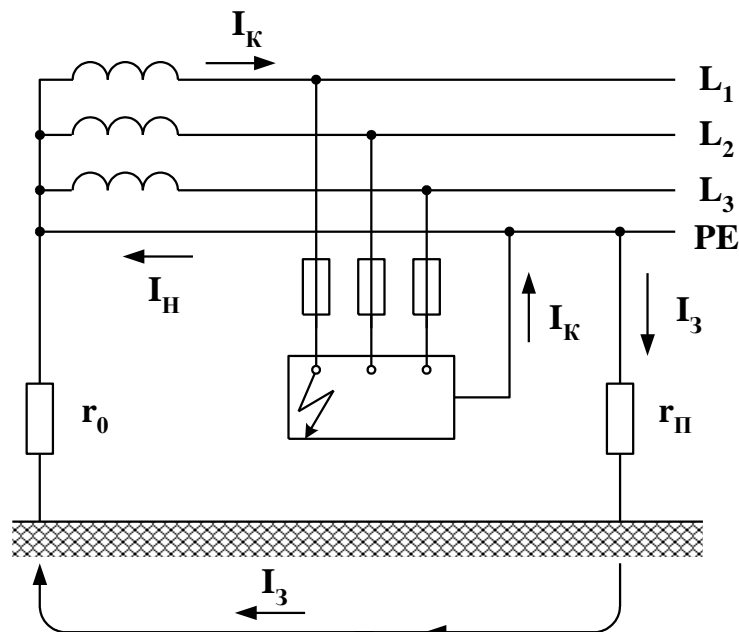


Рис.4.1. Принципиальная схема зануления

В качестве МТЗ используются:

плавкие предохранители или автоматы максимального тока, устанавливаемые для защиты от токов КЗ;

магнитные пускатели со встроенной тепловой защитой;

контакторы в сочетании с тепловыми реле, осуществляющие защиту от перегрузки;

автоматы с комбинированными расцепителями, осуществляющие защиту одновременно от токов КЗ и перегрузки.

На рис.4.2 представлена эквивалентная схема зануления. На этой схеме: Z_T , Z_ϕ , Z_n – полные сопротивления трансформатора, фазного и нулевого защитного проводников; X_Π – внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-ноль. С целью упрощения схемы сопротивлениями Z_T , X_ϕ , X_n , X_Π можно пренебречь. В дальнейшем при рассмотрении теоретической части и примеров расчёта принимаем, что

фазный и нулевой защитный проводники обладают лишь активными сопротивлениями R_ϕ , R_n .

В период с момента возникновения замыкания на корпус и до отключения повреждённой электроустановки все занулённые корпуса оказываются под напряжением относительно земли. Безопасность обеспечивается достаточно быстрым отключением повреждённой 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).

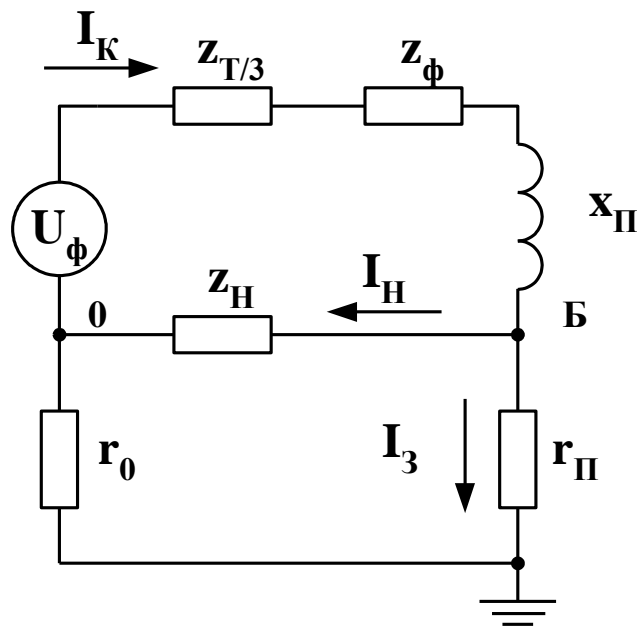


Рис.4.2. Эквивалентная схема замещения сети с занулением

Таблица 4.1

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения U_{np} и токов I_h при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1000В (ГОСТ 12.1.038-24)

Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t , с											
	Менее 0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Св. 1,0
U_{np} , В	390	340	310	240	165	125	100	88	82	76	73	65
I , мА	500	400	350	250	150	100	75	63	57	52	50	40

Если повторное заземление НЗП 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 О-Б.

$$U_{32} = U_{OB} = I_K \cdot R_H = \frac{U_\phi}{R_H + R_\phi} R_H = \frac{U_\phi}{1 + \frac{R_\phi}{R_H}} \quad (4.1)$$

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 больше 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 занулённых корпусов электроустановок за местом замыкания составит $U_3 = 147$ В. При времени действия электрического тока более 0,4 с это напряжение создаёт реальную опасность поражения людей (табл.4.1).

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

$$U'_{32} = I_3 \cdot r_{II} = \frac{U_{OB}}{r_n + r_o} \cdot r_{II} \quad (4.2)$$

где I_3 – ток, стекающий в землю через сопротивление r_{II} , А;

r_0 – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

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

$$U_0 = \frac{U_{OB}}{r_n + r_0} \cdot r_0 \quad (4.3)$$

В данном случае напряжение U_{OB} вычисляется по формуле $U_{OB} = I_H \cdot R_H$, где I_H ток, протекающий по НЗП, А. Этот ток является частью тока I_K другая часть которого 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 $U_{OB} = I_K \cdot R_H$.

На рис.4.3 показано распределение напряжения нулевого защитного проводника по его длине в сети без повторного заземления (I) и с повторным его заземлением (II) при $r_0 = r_{II}$. Графики распределения напряжения вдоль НЗП при замыкании фазы на какой-либо из занулённых корпусов позволяют определять напряжения относительно земли всех электроустановок, входящих в данную систему зануления.

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 присоединённых к нему корпусов, в том числе корпусов исправных электроустановок, окажется равным фазному напряжению сети. Это напряжение будет существовать длительно, поскольку повреждённая электроустановка автоматически не отключится и ее будет трудно обнаружить, чтобы отключать вручную.

Если же НЗП будет иметь повторное заземление, то при его обрыве, например, между корпусами 1 и 2 (рис.4.3), через r_{II} будет стекать ток I_3 в землю, благодаря чему напряжение занулённого корпуса 2 и других корпусов, находящихся за местом обрыва, снизится до значения

$$U_{32} = I_3 \cdot r_{II} = U_\phi \frac{r_{II}}{r_0 + r_{II}} \quad (4.4)$$

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

$$U_0 = I_3 \cdot r_0 = U_\phi \frac{r_0}{r_0 + r_{II}} \quad (4.5)$$

Следовательно, повторное заземление НЗП уменьшает опасность поражения током, возникшую в результате его обрыва и замыкания фазного проводника на корпус электроустановки за местом обрыва, но не

устраняет её полностью.

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

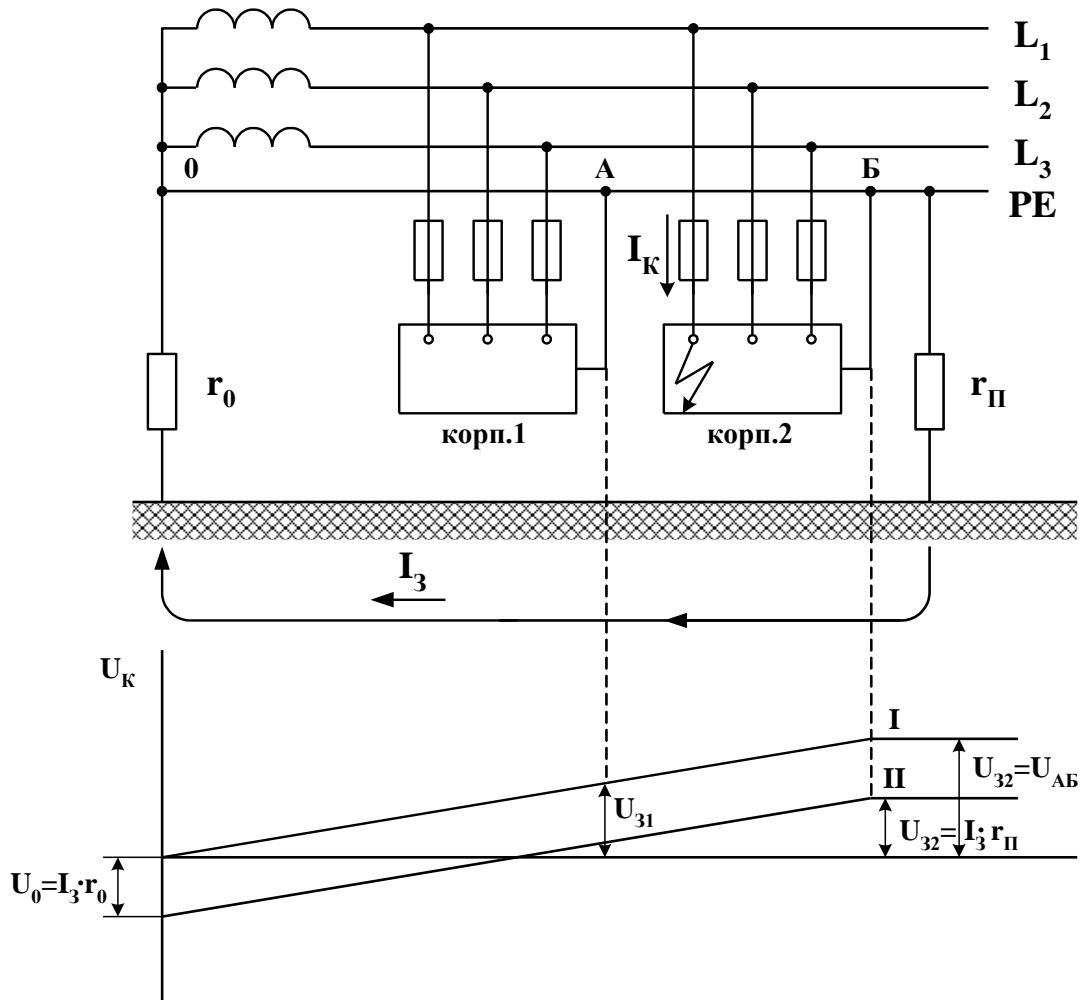


Рис.4.3. Распределение потенциала нулевого защитного проводника относительно земли по его длине при замыкании фазы на корпус второго электропотребителя:

I – без повторного заземления; II – с повторным заземлением

Применяемое оборудование

Лицевая панель стенда представлена на рис.4.4. В работе моделируется сеть с глухозаземлённой нейтралью и системой заземлений TN-S.

Подключение потребительской сети к трансформатору осуществляется кнопкой «Вкл». Два электроприемника подключаются к

сети через автоматические выключатели АВ1 и АВ2 (в дальнейшем автоматы)

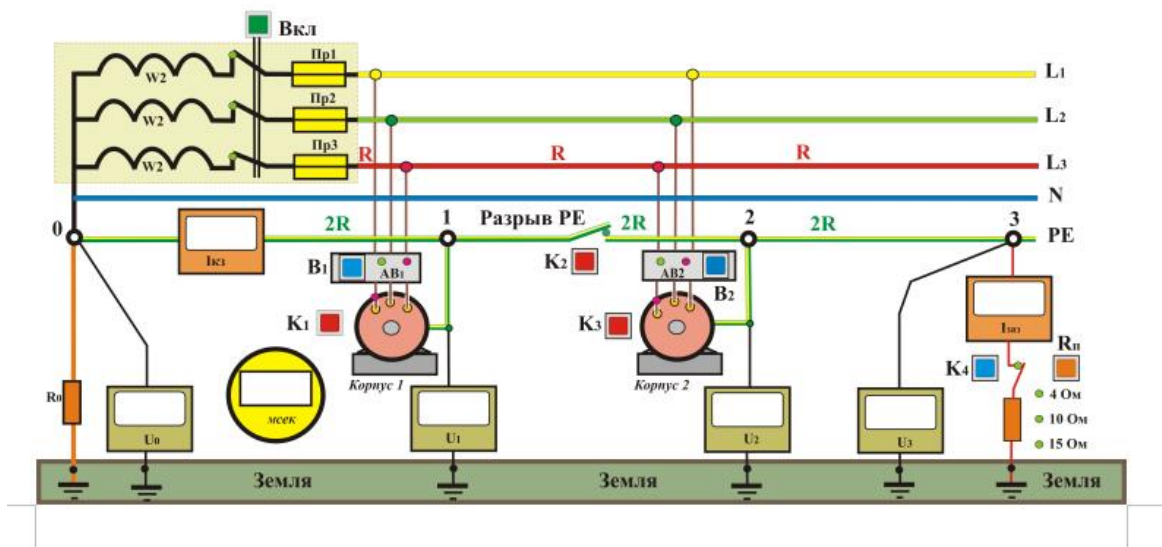


Рис. 4.4. Лицевая панель стенда

При включении автоматов загорается зелёный светодиод, при отключении – красный. Нажатием кнопок В₁ и В₂ автоматы вводятся в рабочее состояние. Замыкание фазного проводника на корпус электроприемника осуществляется кнопками К₁ и К₃. При этом амперметром фиксируется ток короткого замыкания, а электронным секундомером время срабатывания автоматической защиты.

Для повторного заземления нулевого проводника используется кнопка К₄. Сопротивление повторного заземления устанавливаются кнопкой R_П. Схема позволяет также моделировать обрыв нулевого проводника между двумя электроприемниками (кнопка К₂). Ток, стекающий в землю через повторный заземлитель, фиксируется амперметром.

Для измерения напряжений служат вольтметры: U₀ – напряжение нейтрали относительно земли; U₁ и U₂ – напряжения корпусов электроприемников относительно земли; U₃ – напряжение точки нулевого защитного проводника, находящегося за местом подсоединения к нему корпуса второго электроприемника.

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

Указания по технике безопасности

1. Во время работы запрещается оставлять без надзора включённый стенд.

2. При обнаружении в стенде какой-либо неисправности необходимо прекратить работу, отключить стенд и сообщить о случившемся преподавателю или лаборанту.

Порядок проведения работы

1. Оценка эффективности системы зануления в сети без повторного заземления нулевого защитного проводника.

1.1. Подготовить табл. 4.2 для записи результатов измерений.

1.2. Включить стенд

Таблица 4.2

Налич ие повтор ного заземл ения НЗП	Замык ание на корпус	Время срабат ывани я защит ы, $t_{\text{заш}}\text{,}$ мс	Ток коротко го замыкан ия, $I_{\text{к}}$, А	Напряжение относительно земли			Предельно допустимое напряжение прикоснове ния, $U_{\text{пр.доп.}}$, В	
				нейтра льной точки источник а, U_0 , В	корпусов			точка РЕ проводника, находящаяся за вторым корпусом, U_3 , В
					U_1 , В	U_2 , В		
Без повтор ного заземл ения	Корп.1							
	Корп.2							

1.3. Включить автоматы защиты (нажатием кнопок B_1 и B_2).

1.4. При необходимости, нажатием на кнопку K_4 отключить повторное заземление $R_{\text{п}}$ от нулевого проводника.

1.5. Нажатием кнопки K_1 замкнуть фазный проводник на корпус первой электроустановки.

1.6. Определить время срабатывания ($t_{\text{защ}}$) автоматов защиты, ток короткого замыкания (I_k) и напряжения (U_0 , U_1 , U_2 , U_3).

1.7. Полученные данные занести в табл. 4.2.

1.8. Аналогично произвести замыкание фазного проводника на корпус второй электроустановки (нажатием на кнопку K_3).

1.9. Определить время срабатывания ($t_{\text{защ}}$) автоматов защиты, ток короткого замыкания (I_k) и напряжения (U_0 , U_1 , U_2 , U_3).

1.10. Результаты измерений занести в табл.4.2.

1.11. По табл. 4.1 определить предельно допустимые напряжения прикосновения.

1.12. Отключить стенд.

2. Оценка эффективности системы зануления в сети с повторным заземлением нулевого защитного проводника.

2.1. Подготовить табл. 4.3 для записи результатов измерений.

Таблица 4.3

Сопротивление повторно го заземления НЗП	Замыкание на корпус	Время срабатывания защиты , $t_{\text{ЗЩ}}$, мс	Ток короткого замыкания, I_K , А	Напряжение относительно земли				Ток замыкания на землю, I_3 , А
				нейтральной точки источника , U_0 , В	корпусов		точка нулевого проводника, находящаяся за вторым корпусом, U_3 , В	
					U_1 , В	U_2 , В		
$R_{\Pi} = 4 \text{ Ом}$	Корп.1							
	Корп.2							
$R_{\Pi} = 10 \text{ Ом}$	Корп.1							
	Корп.2							
$R_{\Pi} = 15 \text{ Ом}$	Корп.1							
	Корп.2							

2.2. Включить стенд.

2.3. Подключить повторное заземление нулевого защитного проводника (нажатием на кнопку K_4) и установить его величину (нажатием на кнопку R_{Π}). Измерения проводить при значениях R_{Π} , равных соответственно 4, 10 и 15 Ом.

2.4. Определить время срабатывания автоматов защиты ($t_{\text{ЗЩ}}$), 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:

- включить автоматы AB_1 и AB_2 ;
- произвести замыкание фазного проводника на корпус первой электроустановки кнопкой K_1 ;
- снять показания приборов и полученные данные занести в табл. 4.3;
- включить автоматы AB_1 и AB_2 ;
- произвести замыкание фазного проводника на корпус второй электроустановки кнопкой K_3 ;
- снять показания приборов и данные занести в табл. 4.3.

2.5. Отключить стенд.

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

3.1. Подготовить табл. 4.4 для записи результатов измерений.

Таблица 4.4

Наличие повторного заземления и его сопротивление	Замыкание на корпус	Напряжение относительно земли				Ток замыкания на землю, I_3 , А
		нейтральной точки источника, U_0 , В	до обрыва U_1 , В	после обрыва U_2 , В	точка нулевого проводника, находящаяся за вторым корпусом, U_3 , В	
Без повторного заземления НЗП	Корп.1					
	Корп.2					
$R_{\Pi} = 4 \text{ Ом}$	Корп.1					
	Корп.2					
$R_{\Pi} = 10 \text{ Ом}$	Корп.1					
	Корп.2					
$R_{\Pi} = 15 \text{ Ом}$	Корп.1					
	Корп.2					

3.2. Включить стенд.

3.3. Смоделировать обрыв нулевого защитного проводника между корпусами первой и второй электроустановок (кнопка K_2) при отсутствии повторного его заземления.

3.4. Включить автоматы AB_1 и AB_2 .

3.5. Произвести замыкание фазного проводника на корпус первой электроустановки нажатием кнопки K_1 .

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

3.7. Данные занести в табл.4.4.

3.8. Включить автоматы AB_1 и AB_2 .

3.9. Произвести замыкание фазного проводника на корпус второй электроустановки нажатием кнопки K_3 .

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

3.11. Данные занести в табл. 4.4.

3.12. Включить повторное заземление R_{Π} нулевого защитного проводника (нажатием кнопки K_4).

3.13. Установить нажатием кнопки R_{Π} величину повторного заземления. Измерения проводить при значениях R_{Π} , равных соответственно 4, 10 и 15 Ом.

Отключить стенд.

Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

1. Принципиальную схему зануления двух электроустановок с повторным заземлением нулевого защитного проводника.
2. Результаты измерения в виде табл. 4.2.
3. Результаты измерения в виде табл. 4.3.
4. Результаты измерения 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, при наличии повторного заземления (аналогично рис. 4.2).
6. Графики распределения напряжения нулевого проводника относительно земли по его длине при обрыве нулевого проводника и замыкании фазы на первый и на второй корпуса электроприемников при отсутствии повторного заземления и при его наличии.
7. Оценку опасности прикосновения человека к корпусам электроустановок по результатам измерений.
8. Оценку эффективности применения повторного заземления нулевого защитного проводника.

Контрольные вопросы и задачи

1. Объясните принцип действия защитного 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 занулённый 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 занулённый 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. $R_{\Pi} = \infty$). Человек касается корпуса первой электроустановки. Сопротивление человека $R_h = 1000$ Ом, сопротивление заземления нейтрали $r_0 = 4$ Ом, сопротивление фазного

проводника до точки подсоединения 2 корпуса к нулевому защитному проводнику $R_{\Phi} = 0,1$ Ом, сопротивления нулевого защитного проводника между точками О и А, О и Б равные $R_{АО} = 0,1$ Ом, $R_{ОБ} = 0,2$ Ом соответственно. Фазное напряжение $U_{\Phi} = 220$ В. Определить ток I_h , протекающий через тело человека.

7. В сети TN-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: определить ток, протекающий через тело человека, I_h , если значение сопротивления повторного заземления $R_{П}$: а) 4 Ом; б) 20 Ом; в) 8 Ом; г) 60 Ом.

8. В сети TN-C произошел обрыв нулевого защитного проводника между I и 2 корпусами. 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. Определить ток, протекающий через тело человека, I_h , если значение $r_{П}$: а) 4 Ом; б) 16 Ом; в) 46 Ом; г) 60 Ом.

Литература

1. Основы охраны труда и техники безопасности в электроустановках: учебник для вузов / В.Т. Медведев, Е.С. Колечицкий, О.Е. Кондратьева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015, с. 231 - 271.

2. ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление»

Лабораторная работа №5

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

Цель работы

Научиться быстро и квалифицированно оказывать первую помощь человеку, поражённому электрическим током. Приобрести практические навыки в оценке состояния пострадавшего и в проведении искусственного дыхания и непрямого массажа сердца.

Содержание работы

1. Оценить состояние пострадавшего.
2. Произвести искусственное дыхание на манекене способом «изо рта в рот», контролируя правильность по расширению грудной клетки.
3. Выполнить непрямой массаж сердца на манекене, контролируя правильность исполнения его по датчикам 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 ВЛ можно вызвать её короткое замыкание, набросив голый провод.

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

При необходимости прикоснуться к телу пострадавшего оказывающий помощь должен изолировать свои руки, надев

диэлектрические 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 надеть 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.

Если после освобождения от действия электрического тока пострадавший не общается со спасателем, не отвечает на вопросы, то он находится без сознания.

Для уточнения состояния пострадавшего необходимо уложить его на спину и проверить наличие пульса и дыхания. Проверка пульса осуществляется на сонной артерии (на шее с правой и левой сторон от щитовидного хряща). Об отсутствии кровообращения в организме можно судить так же и по состоянию глазного зрачка, который расширяется через минуту после остановки сердца. Проверка состояния пострадавшего должна производиться быстро в течение не более 15–20 секунд.

Наличие дыхания определяем по алгоритму «вижу-слышу-ощущаю», т.к. при дыхании можно увидеть расширение грудной клетки, услышать шумы, почувствовать тепло.

Оказание первой помощи. Первая помощь пострадавшему оказывается немедленно, после освобождения его от действия тока.

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 пострадавшего 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 электрического удара), то его состояние характеризуется как обморок. Надо его уложить на подстилку на спину, расстегнуть одежду, обеспечить приток свежего воздуха, приподнять ноги, надавить пальцем на болевую точку, расположенную под носом, обрызгать лицо холодной водой.

Если в течение 5 минут пострадавший не пришел в сознание (следовательно, обморок перешел в состояние комы), то необходимо придать ему стабильное боковое положение (рис. 5.1), очистить (пальцами

или салфеткой) ротовую полость от слизи, по возможности приложить холод к голове. Немедленно вызвать врача.

Если пострадавший без сознания, дыхание – редкое, судорожное, с всхлипыванием, неритмичное, а сердце функционирует, то есть пульс определяется (III степень электрического удара), необходимо делать искусственное дыхание.



Рис.5.1. Придание пострадавшему стабильного бокового положения

Если отсутствуют признаки жизни, нет сознания, дыхания и пульса, расширен зрачок, т.е. наступило состояние клинической смерти (IV степень электрического удара), надо немедленно приступить к оживлению (реанимации), включающем в себя непрямой массаж и искусственное дыхание.

СЛЕДУЕТ ПОМНИТЬ! Никогда не отказывать в помощи пострадавшему с признаками клинической смерти. Констатировать смерть имеет право только врач.

Искусственное дыхание (искусственная вентиляция легких). 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.

Можно делать искусственное дыхание способами «изо рта в рот» или «изо рта в нос», при этом оказывающий помощь вдует воздух из своих легких в легкие пострадавшего через его рот или нос. Способ «изо рта в рот» может быть применен не только при электротравме, но и при прочих несчастных случаях – при удушении, отравлении, передозировке лекарств, травмах головы, при несчастном случае на воде. Способ «изо рта в рот» предпочтительнее других ручных способов из-за простоты выполнения и простоты контроля за поступлением воздуха в легкие пострадавшего (по расширению грудной клетки и ее опусканию). Проводится с использованием специальной маски, которой

укомплектована Аптечка для оказания первой помощи пострадавшим на производстве.

При ее отсутствии проводить вдувания через носовой платок, марлю.

Подготовка пострадавшего к искусственному дыханию

1. Уложить на спину, на ровную горизонтальную поверхность.
2. Освободить от стесняющей дыхание одежды – расстегнуть ворот, ремень, развязать галстук и т.п.
3. Максимально запрокинуть голову пострадавшего, для чего положить одну свою руку ему под шею, а другую – на лоб, нажать на лоб, придерживая шею, при этом откроется рот и язык освободит гортань (рис.5.2, 5.3).

4. Быстро очистить рот от слизи, крови, инородных тел, удалить их пальцем, обернутым носовым платком или марлей, вынуть съемные зубные протезы.

Выполнение искусственного дыхания

По окончании подготовительных операций зажмите ноздри пострадавшего пальцами, сделайте обычный вдох (при этом в легкие попадает примерно 500 мл воздуха), выдохните его в рот пострадавшему (рис.5.4). Если открыть рот пострадавшему не удалось, можно проводить дыхание «изо рта в нос», т.е. вдувать ему воздух через нос, прикрывая рот пострадавшего.

Контроль за поступлением воздуха осуществляется на глаз по расширению грудной клетки при каждом вдувании и её сужению. 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.

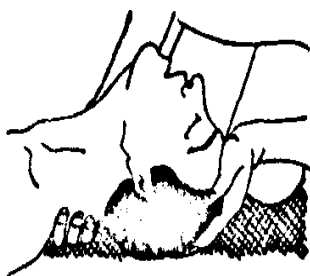


Рис.5.2. Положение головы пострадавшего перед проведением искусственного дыхания



Рис.5.3. Доступ воздуха открыт



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

Закрытый (непрямой) массаж сердца. Назначение – искусственное поддержание кровообращения в организме пострадавшего и восстановление нормальных естественных сокращений сердца. Кровеносная система доставляет кислород ко всем органам и тканям организма. Следовательно, одновременно с массажем сердца должно производиться искусственное дыхание.

Подготовка к массажу сердца является одновременно и подготовкой к искусственному дыханию, так как они производятся последовательно. Ноги пострадавшего рекомендуется приподнять на 0,5 м для большей эффективности массажа.

При выполнении массажа сердца встаньте сбоку на коленях, займите такое положение, при котором возможен более или менее значительный наклон над ним. Пострадавший должен лежать обязательно на твердой поверхности. Нажатие делается на нижнюю треть грудины. Грудина – это кость передней части грудной клетки, к которой крепятся ребра. Наложите на нее ладонь одной руки, а ладонь другой возьмите в замок. Надавливание на грудину следует проводить основанием ладони, а не всей ладонью, высоко приподняв пальцы рук, чтобы они не касались грудной клетки пострадавшего. Надавливать быстрым толчком изо всех сил, чтобы сместить нижнюю часть грудины вниз (рис. 5.5,5.6) не менее чем на $4,5 \div 5$ см; надавливание на грудину производите с частотой около 2 раз в секунду, чтобы создать достаточный кровоток (100-110 нажатий в минуту).



Рис.5.5. Определение места на груди для приложения ладони



Рис.5.6. Правильное расположение рук при проведении наружного массажа

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 пострадавшего собственного регулярного пульса.

Последовательность срочных мер по оказанию первой помощи пострадавшему.

1. Подготовить пострадавшего к проведению реанимационных мероприятий.
2. Начинаем выполнять непрямой массаж сердца. Глубина продавливания грудины – $4,5 \div 5$ см, частота 100–110 в минуту.
3. Независимо от числа оказывающих помощь оптимальным является соотношение надавливаний на грудину и вдохов искусственного дыхания 30:2, то есть после 30 надавливаний на грудину выполняем 2 вдоха искусственного дыхания.
4. Каждые 2 минуты необходимо контролировать состояние пострадавшего (определяем пульс, смотрим реакцию зрачка на свет).

Если помощь оказывают несколько человек, то первый проводит искусственное дыхание и контролирует состояние пострадавшего (пульс, реакцию зрачков), второй – проводит непрямой массаж сердца, третий приподнимает ноги пострадавшего для улучшения оттока крови из вен

нижних конечностей к сердцу. При необходимости оказывающие помощь меняются по часовой стрелке.

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

Экспериментальная часть

Применяемое оборудование

Работа выполняется на манекене-тренажере, предназначенном для обучения практическим навыкам проведения искусственной вентиляции легких (ИВЛ) способом «изо рта в рот» и непрямого массажа сердца. Манекен изготовлен из полимерных материалов, имитирует пострадавшего в натуральную величину до пояса. На манекене имеются светодиоды (датчики), которые позволяют проконтролировать правильность действий.

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, расстегнуть одежду и установить необходимость проведения дыхания по неподвижному состоянию грудной клетки.
2. Осмотреть полость рта с целью выявления и удаления инородных предметов, препятствующих проведению дыхания.
3. Голову манекена максимально запрокинуть назад путем подкладывания одной руки под шею и надавливанием другой на лоб (этим обеспечивается проходимость дыхательных путей).
4. Положить маску (салфетку) на рот манекена. Сделать глубокий вдох и затем, плотно прижав свой рот ко рту манекена и зажав ему нос пальцами, произвести в него выдох (при этом грудная клетка манекена должна подниматься).

Вдувание воздуха производится каждые 4–5 секунд, что соответствует частоте дыхания 12 раз в минуту.

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

Непрямой массаж сердца.

1. Занять место слева или справа у груди манекена и определить место приложения усилий при массаже посредством прощупывания нижнего конца грудины.

2. Наложить нижнюю часть ладони одной руки, а пальцами второй руки выполнить «замок», сделать надавливание на точку, находящуюся на расстоянии одной трети вверх от нижнего конца грудины.

3. Надавливание следует производить быстрым толчком, слегка помогая наклоном корпуса так, чтобы сместить грудину вниз на $4,5 \div 5$ см.

4. Надавливание производится с частотой примерно два раза в секунду, 100–110 раз в минуту.

5. Монитор частоты компрессии фиксирует правильность места надавливания, глубину и частоту надавливаний.

6. Электронный блок включается автоматически. При первом надавливании загораются все 4 светодиода на левой ключице манекена – это указывает на то, что все светодиоды исправны и емкость элементов питания в норме.

7. Светодиоды могут не загораться при неправильном выборе места и/или недостаточной глубинке давления (должен быть слышен щелчок).

8. Если место и глубина давления нормальные, но частота менее 60 раз в минуту, загорится красный светодиод.

9. При частоте компрессии 60-79 раз в минуту загорится желтый светодиод.

10. При частоте компрессии 80-99 раз в минуту будет гореть 1 зеленый светодиод.

11. При частоте компрессий 100-110 раз в минуту будут гореть 2 зеленых светодиода, что указывает на правильное выполнение непрямого массажа.

12. При уменьшении частоты надавливаний один зеленый светодиод погаснет, что говорит о необходимости увеличить частоту компрессии.

13. При частоте компрессий свыше 110 раз в минуту будут гореть 2 зеленых светодиода и желтый светодиод, что говорит о необходимости уменьшить частоту компрессий.

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. Вы освободили пострадавшего от действия тока. Что надо сделать дальше?
4. Как определить состояние пострадавшего от электрического тока?
5. Какие возможны состояния организма человека при попадании под действие тока?
6. Каковы признаки клинической смерти?
7. Назначение искусственной вентиляции легких. Каковы правила ее проведения?
8. Как правильно выполнять непрямой массаж сердца?
9. По каким явлениям можно проверить правильность проведения искусственного дыхания, непрямого массажа сердца?
10. Каковы правила оказания первой помощи пострадавшему в состоянии клинической смерти?

Литература

1. В.Г. Бубнов, Н.В. Бубнова. Атлас добровольного спасателя. Первая помощь на месте происшествия. АСТ, Москва, 2017.
2. Мороз В.В., Бобринская И.Г., Васильев В.Ю., Кузовлев А.Н., Перепелица С.А., Смелая Т.В., Спиридонова Е.А., Тишков Е.А. / Сердечно-легочная реанимация. М.: ФНКЦ РР, МГМСУ, НИИОР, 2017, – 60 с.

Лабораторная работа №6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ЗВУКОВОЙ МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКА ШУМА

Цель работы

Ознакомление с прибором для измерения уровня звукового давления (далее – шумомер), проведение измерения уровней звукового давления при включённом и выключенном электродвигателе, выполнение акустического расчёта уровня звуковой мощности шума в заданной точке и сравнение его с допустимым, предложить методы защиты от шума.

Содержание работы

1. Измерить уровни звукового давления электромеханического или электронного устройства;
2. Провести акустический расчёт уровня звуковой мощности в заданной точке;
3. Изучить принципы нормирования уровня шума в производственном помещении;
4. По результатам расчёта предложить методы защиты от шума.

Характеристика шума и методика акустического расчёта

Шум – звуковые колебания в диапазоне слышимых частот, способные оказать вредное воздействие на безопасность и здоровье работника.

Шумом принято характеризовать любой нежелательный (мешающий) для человека звук. Действуя на центральную нервную систему (ЦНС), шум оказывает неблагоприятное влияние на организм человека, вызывает тяжёлые заболевания. ЦНС 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 ЦНС резко снижаются. Шум не является стационарным процессом, он контрастирует с полезным звуковым информационным полем и потому происходит дополнительная перегрузка деятельности ЦНС. Утомление работников из-за сильного шума увеличивает число ошибок при работе, способствует возникновению профессиональных заболеваний.

Звук (как физическое явление) – это продольные волны объёмных деформаций упругой среды т.е. сжатия и разряжения среды., характеризующиеся перепадом давления ΔP относительно атмосферного

$P_{\text{атм}} = 101 \text{ кПа}$. Как физиологическое явление звук ощущается органами слуха в диапазоне частот 20Гц...20кГц. Ниже 16 Гц и выше 20 кГц находятся соответственно области неслышимых человеком инфра- и ультразвуков.

Звуковая волна характеризуется частотой и амплитудой колебаний. Чем больше амплитуда колебаний, тем больше звуковое давление, и тем громче ощущаемый человеком звук.

Звуковое давление P (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), отнесённый 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:

$$I = \frac{E}{tS} = \frac{P^2}{2\rho c}, \quad (6.1)$$

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 $\rho c = 410 \text{ Па}\cdot\text{с}/\text{м}$.

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 равна:

$$W = I_{\text{ср}} S = I_{\text{ср}} 2\pi r^2, \quad (6.2)$$

где $I_{\text{ср}}$ – интенсивность звука, усреднённая по измерениям звукового давления по нескольким точкам на измерительной поверхности S в виде полусферы радиусом r .

В соответствии с действующими нормативными документами, нормируемыми показателями шума на рабочих местах являются:

- эквивалентный уровень звука A за рабочую смену – эквивалентный уровень звука A , измеренный или рассчитанный за 8 ч рабочей смены, с учетом поправок на импульсный и тональный шум;
- максимальный уровень звука A – это наибольшая величина уровня звука, измеренная на заданном интервале времени со стандартными временными коррекциями S (медленно, $\phi = 1$ с) и I (импульс, $\phi = 40$ мс);
- пиковый скорректированный по C уровень звука – это десять десятичных логарифмов отношения квадрата пикового звукового давления, измеренного с использованием стандартизованной частотной коррекции, к квадрату опорного звукового давления.

Превышение любого нормируемого параметра считается превышением ПДУ.

Нормативным эквивалентным уровнем звука на рабочих местах является 80 дБА.

При сокращенном рабочем дне (менее 40 ч в неделю) предельно допустимые уровни применяются без изменения.

Максимальные уровни звука A , измеренные с временными коррекциями S и I , не должны превышать 110 дБА и 125 дБА соответственно.

Пиковый уровень звука C не должен превышать 137 дБС.

В случае превышения уровня шума на рабочем месте выше 80 дБА, работодатель должен провести оценку риска здоровью работающих и подтвердить приемлемый риск здоровью работающих.

Работы в условиях воздействия эквивалентного уровня шума выше 85 дБА не допускаются.

При воздействии шума в границах 80 – 85 дБА работодателю необходимо минимизировать возможные негативные последствия путем выполнения следующих мероприятий:

а) подбор рабочего оборудования, обладающего меньшими шумовыми характеристиками;

б) информирование и обучение работающего таким режимам работы с оборудованием, которое обеспечивает минимальные уровни генерируемого шума;

в) использование всех необходимых технических средств (защитные экраны, кожухи, звукопоглощающие покрытия, изоляция, амортизация);

г) ограничение продолжительности и интенсивности воздействия до уровней приемлемого риска;

д) проведение производственного контроля виброакустических факторов;

е) ограничение доступа в рабочие зоны с уровнем шума более 80 дБА работающих, не связанных с основным технологическим процессом;

ж) обязательное предоставление работающим средств индивидуальной защиты органа слуха;

з) ежегодное проведение медицинских осмотров для лиц, подвергающихся шуму выше 80 дБ.

Уровни звукового давления в октавных полосах частот не являются нормируемыми параметрами, рассматриваются как справочные материалы, которые могут использоваться для подбора СИЗ, разработки мер профилактики и т.п.

Октавной называется полоса частот, в которой верхняя граничная частота $f_{\text{верх}}$ в два раза больше нижней $f_{\text{нижн}}$. Среднегеометрическая частота $f_{\text{ср}}$ октавной полосы выражается соотношением $f_{\text{ср}} = \sqrt{f_{\text{ниж}} \cdot f_{\text{верх}}}$. Измерения, акустические расчёты, нормирование производятся в полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Степень восприятия звука зависит от амплитуды звукового колебания. Так на частоте 1000 Гц ощущение звука начинается с давления $P_0 = 20 \cdot 10^{-6}$ Па. Величину P_0 называют порогом слышимости. Тогда интенсивность звука (6.1), соответствующая порогу слышимости, равна $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м².

Для объективной оценки характеристики шума были введены логарифмические величины: уровень интенсивности L_I , уровень звукового давления L_P , что соответствует закону Фехнера,

$$L_I = 10 \cdot \lg(I_{\text{ср}}/I_0), I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2 \quad (6.3a)$$

$$L_P = 10 \cdot \lg(P/P_0)^2, P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \quad (6.3б)$$

Для характеристики звуковой мощности источника шума используется уровень мощности шума L_W

$$L_W = 10 \cdot \lg(W/W_0), W_0 = 10^{-12} \text{ Вт} \quad (6.3в)$$

При нормальных атмосферных условиях $L_I = L_P = L$. Поэтому для краткости используют термин уровень шума L , опуская индексы I , P . Приборы, измеряющие уровень шума, основаны на измерении уровней звукового давления L_P в определенной точке. Чувствительным элементом, реагирующим на изменение уровня звукового L_P , является микрофон. Измеряемый уровень звукового давления зависит от мощности источника шума и от расстояния от этого источника (Рис. 6).

Уровень звуковой мощности шума источника L_W характеризует звуковые характеристики 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 расчётной формулы для определения L_W лежит выражение (6.2). 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 полусферы радиусом R (рис.6.1)



Рис.6. Схема источника шума

$$L_W = L_{cp} + 10 \lg \left(\frac{S}{S_0} \right) = L_{cp} + 10 \lg \left(\frac{2\pi R^2}{S_0} \right), \quad (6.4)$$

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 расчётных точках) с тем, чтобы сравнить их с нормами допустимого уровня шума и в случае необходимости принять меры к тому, чтобы этот шум не превышал допустимого.

Акустический расчёт проводится в каждой из восьми октавных полос с точностью до десятых долей децибел. Результат округляется до целого числа.

Для помещений с источником шума расчёт включает:

- а) выявление n -ого количества источников шума и значений L_{Wi} их уровней шумовой мощности в октавных полосах частот;
- б) выбор расчётных точек и определение расстояний r_i от i -того источника шума до расчётной точки (рабочего места);
- в) вычисление или определение по справочным данным постоянной B анализируемого помещения для каждой октавной полосы.
- г) расчёт уровня шума L_p в расчётной 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 расчётной точке помещения складывается из интенсивности прямой звуковой волны от источника $I_{пр}$ и интенсивности отражённого звука $I_{отр}$:

$$I = I_{\text{пр}} + I_{\text{отр}} = \frac{W}{2\pi r^2} + \frac{4W}{B},$$

где В – постоянная помещения, м² (табл.6.1)

Таблица 6.1

Значения постоянной помещения В (м²) для объёма помещения V
= 288 м³ (длина l = 12м, ширина b = 6м, высота h = 4 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 (n) шума с одинаковой звуковой мощностью W, интенсивность в расчётной точке равна:

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{W}{2\pi r_i^2} + \frac{4nW}{B} = W \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi r_i^2} + \frac{4n}{B} \right), \quad (6.5)$$

где r_i – расстояние от акустического центра i-того источника шума до расчётной точки. Акустический центр источника шума определяется координатами проекции геометрического центра источника на горизонтальную плоскость.

Значение уровня шума L в расчётной точке получим, разделив выражение (5) на I₀ = W₀S₀ (S₀ = 1м²) и логарифмируя:

$$L = 10lg \frac{I}{I_0} = L_W + 10lg \left(\sum_{i=1}^n \frac{S_0}{2\pi r_i^2} + \frac{4nS_0}{B} \right), \quad (6.6)$$

При наличии акустических волн от n некоррелированных источников шума, которые создают в расчётной точке

среднеквадратическое давление Δp равно 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 равен:

$$L_p = 10 \lg \left(\frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right)^2 = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n \frac{\Delta P_i^2}{\Delta P_0^2} \right) = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{pi}} \right)$$

где L_{pi} уровень звукового давления от i -того источника в расчётной точке.

Пример: Рассчитать уровень шума L_p в расчётной точке, который создается шумовым фоном $L_\phi = 50$ дБ и шумом от источника $L_{ист} = 57,2$ дБ.

$$L_p = 10 \lg(10^{0,1 L_\phi} + 10^{0,1 L_{ист}}) = 10 \lg(10^{0,1 \cdot 50} + 10^{0,1 \cdot 57,2}) = 58 \text{ дБ.} \quad (6.7)$$

Расчёт по формуле (6.6) предполагает определение уровня шума для восьми октавных полос и последующее сравнение результатов расчёта с допустимыми значениями уровнями звукового давления (Приложение 1)

Расчёт уровня шума в помещении по скорректированному уровню звуковой мощности

Для измерения уровня шума используется шкала «А» шумомера, которая представляет собой аппроксимацию частотной характеристики слухового аппарата человека. Чувствительность человеческого уха для различных частот далеко не одинакова. При измерении шума по шкале «А» недооценивается реакция на звуки низкой частоты и совершенно не учитывается повышенная чувствительность уха к громкости чистых тонов. Тем не менее шкала «А» широко используется при необходимости быстрой оценки уровня шума на рабочих местах с помощью портативных шумомеров.

Для ориентировочной оценки уровня шума на рабочих местах используют упрощённую методику расчёта по скорректированному уровню звуковой мощности. В этом случае рассчитывают не уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах, а уровень звука, т.е. интегральную характеристику по всему спектру в дБА. Полученный результат сравнивают с нормированным эквивалентным уровнем шума (Приложение 1)

Точность расчёта определяется точностью расчёта отраженной составляющей, зависящей от частоты.

Расчёт уровня звука в расчётной точке для одного источника проводится по формуле:

$$L_A = L_{WA} + 10 \cdot \lg \left(\frac{S_0}{2\pi \cdot r^2} + \frac{4n}{m} \cdot V^{\frac{2}{3}} \cdot 10^{0.1(\Delta_n + \Delta_0)} \right), \text{ дБА} \quad (6.8)$$

где L_{WA} – корреktированный уровень звуковой мощности, дБА,
 r – расстояние от акустического центра источника до расчётной точки, м²,

V – объём помещения, м³,

Δ_n – поправка, учитывающая зависимость постоянной помещения от частоты, дБА (для расчёта берём значение 1,8),

Δ_0 – поправка на объём помещения, дБА (при $V < 200$ м³ берём значение $\Delta_0 = -1$, при $200 \leq V \leq 1000$ м³ – значение $\Delta_0 = 0$)

m – коэффициент, учитывающий тип помещения,

$m=2$ – для постов управления, лабораторий и кабинетов,

$m=2,5$ – для залов конструкторских бюро, помещений административных зданий, аудиторий,

$m=5$ – для помещений со звукопоглощающей облицовкой потолка и части стен.

При ориентировочной оценке уровня звука, требуемое снижение определяется как

$$L_{\text{тра}} = L_A - L_{\text{допА}}, \text{ дБА}$$

где L_A – определяется по формуле (6.8),

$L_{\text{допА}}$ – допустимый эквивалентный уровень звука (табл. П1)

Способы защиты от шума

По отношению к источнику возбуждения шума коллективные средства защиты подразделяются на средства, снижающие шум в источнике его возникновения, и средства, снижающие шум на пути его распространения от источника до защищаемого объекта. Снижение шума в источнике осуществляется за счёт улучшения конструкции машины или изменения технологического процесса.

Изменение направленности излучения шума. В ряде случаев величина показателя направленности G достигает 10 – 15 дБ, что необходимо учитывать при использовании установок с направленным излучением, ориентируя эти установки так, чтобы максимум излучаемого шума был направлен в противоположную сторону от рабочего места.

Рациональная планировка предприятий и производственных помещений позволяет снизить уровень шума на рабочих местах за счёт увеличения расстояния до источников шума. При планировке территории предприятий наиболее шумные помещения должны быть сконцентрированы в одном – двух местах. Расстояние между шумными и тихими помещениями должно обеспечивать необходимое снижение шума.

Акустическая обработка помещения – это облицовка части внутренних ограждающих поверхностей звукопоглощающими материалами, а также размещение в помещении штучных поглотителей, представляющих собой свободно подвешиваемые объёмные поглощающие тела различной формы.

Звукоизоляция достигается созданием герметичной преграды на пути распространения воздушного шума в виде стен, кабин, кожухов, экранов.

Звукоизолирующие свойства ограждения, установленного на пути распространения звука, характеризуются величиной, называемой звукоизоляцией ограждения. Эффективность снижения шума звукоизоляцией определяется звукоизолирующими свойствами материала преграды, площадью, толщиной и массой преграды, отсутствием отверстий и щелей, частотой изолируемого звука. Чем больше масса конструкции, тем лучше её изолирующие свойства, и чем выше частота изолируемого звука, тем больше эффект звукоизоляции при той же массе конструкции.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на рабочем месте не удаётся. СИЗ включают в себя противозумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

Таблица 11.1

Предельно допустимые уровни звукового давления, звука и эквивалентного уровня звука на рабочих местах

Наименование показателя	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука и эквивалентный уровень звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Выполнение всех видов работ на рабочих местах	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Методика определения уровня звуковой мощности источника

Уровень звуковой мощности источника рассчитывается по результатам измерения уровня шума в заданных точках. Измерения проводятся на измерительной поверхности в виде полусферы, центр которой совпадает с геометрическим центром источника шума. Площадь полусферической поверхности определяется по формуле.

$$S=2\pi R^2$$

где R – радиус измерительной поверхности, м.

При стандартизированных измерениях используют не менее 10 точек измерений, равномерно рассредоточенных на измерительной поверхности. На учебном стенде семь точек измерения находятся на дуге, имитирующей полусферическую измерительную поверхность.

Для непостоянных шумов измеряются эквивалентные уровни звука $L_{\text{АЭКВ}}$, дБА по шкале шумомера «А»

При этом на шумомере должна быть установлена временная характеристика «S» (медленно).

При измерениях уровня шума в учебной лаборатории следует учитывать уровень шумового фона.

Поэтому измеряют:

- уровень фона ($L_{\text{ф}}$) при выключенном источнике шума;
- уровень шума при включённом источнике шума ($L_{\text{ф+ист}}$)

Затем рассчитывают уровень шума источника Лист. как разность уровней $L_{\text{ф+ист}}$ и $L_{\text{ф}}$, помня, что это логарифмические величины и поэтому для вычислений следует использовать формулу 6.7

Средний уровень звука при равномерном распределении точек на измерительной поверхности вычисляется по формуле:

$$L_{\text{ср}} = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \right)$$

где L_i – уровень звука, дБА, в i -той точке измерения; n -количество точек измерения

Для оценки шумовых характеристик машин как источника шума используют уровень звуковой мощности в октавных полосах или скорректированный уровень звуковой мощности L_{WA} в дБА.

В данной работе используется упрощенная методика определения скорректированного уровня звуковой мощности по результатам измерения уровня звука по частотной характеристике «А» шумомера.

Корректированный уровень звуковой мощности L_{WA} , дБА, вычисляется по формуле

$$L_{\text{WA}} = L_{\text{ср}} + 10 \lg S/S_0$$

где S – площадь измерительной поверхности, м^2 ,
 $S_0 = 1 \text{ м}^2$.

Характеристики шумящего оборудования приводятся в технических характеристиках и позволяют рассчитать уровень шума на рабочих местах при проектировании производственных помещений.

Описание лабораторной установки

На рис. 6.2 показан общий вид установки для определения звуковой мощности.

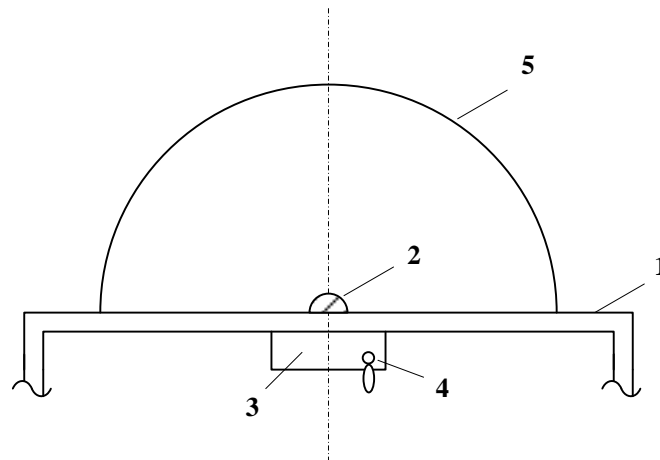


Рис.6.2 Лабораторный стенд для определения звуковой мощности

В качестве источника шума используется динамик, расположенный на уровне верхней панели стола (1) и закрытый сеткой (2). Включение источника шума (3), расположенного под панелью стенда, осуществляется тумблером (4).

Уровни шума измеряются цифровым портативным шумомером. Уровень шума устанавливается ручкой потенциометра по меткам I-VII на верхней панели стенда.

Точки измерения 1–7 отмечены на дуге, имитирующей разрез полусферической поверхности с радиусом $R=0,5\text{м}$ (рис. 6.3).

Измерительные точки располагаются на высоте:

1,7 – $0,15R$;

2,6 – $0,45R$;

3,5 – $0,75R$;

4 – $1R$

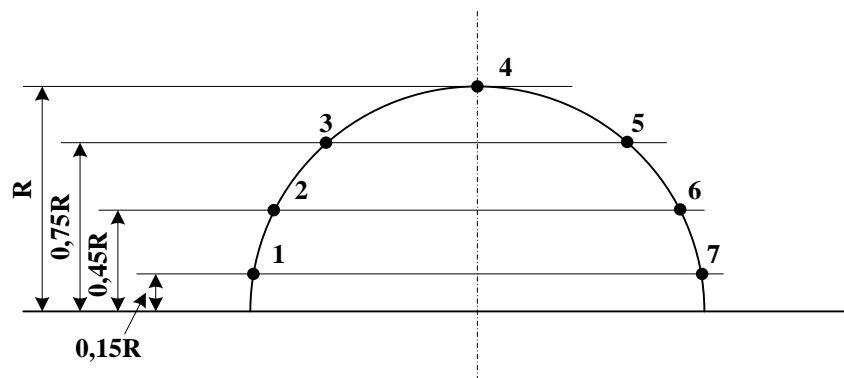


Рис.6.3 Расположение измерительных точек на измерительной поверхности

Измерение уровня шума с помощью цифрового шумомера

1. Включите питание прибора жёлтой кнопкой, расположенной в нижней части панели прибора справа.
2. Если батарея разряжена, то на дисплее появляется знак батареи (- +). В этом случае следует подключить сетевой адаптер к гнезду на боковой панели прибора. Для этого следует снять заглушку.
3. Включите фильтр с частотной характеристикой «А». В этом случае уровень шума будет измеряться в единицах дБА.
4. Выберите постоянную времени интегрирования FAST (125 мс) или SLOW (1 с). При непостоянном шуме рекомендуется использовать режим SLOW.
5. Нажатием кнопки «max/min» установите режим измерения текущих значений уровня шума, т.е. не максимальных и не минимальных.

Указания по технике безопасности

1. Не включать стенд без проверки преподавателем.
2. При обнаружении неисправности в работе источника шума или шумомера прекратить работу и сообщить об этом преподавателю.

Порядок проведения работы

- 1) Ознакомьтесь с описанием стенда и инструкцией по использованию шумомера приведённых выше.
- 2) Включите шумомер жёлтой кнопкой. Примечание: при разряженной батарее и отсутствии изображения на дисплее подключите блок питания к гнезду питания под заглушкой, расположенной справа и, соответственно, к электрической розетке.
- 3) Для сглаживания шумовых всплесков в лаборатории установить режим работы «S»
- 4) Включите частотный фильтр «А» нажатием на соответствующую кнопку.
- 5) Измерьте уровень шумового фона в точках 1–7 на дуге измерительной поверхности. При измерениях ось цилиндрического кожуха микрофона должна совпадать с радиусом, проходящим через источник шума. Результаты занесите в табл. 6.2
- 6) В соответствии с заданием (табл. 6.3) установите регулятор громкости в соответствующее положение и тумблером 4 включите источник шума.
- 7) Измерьте уровни шума в точках, направляя микрофон на источник шума. Результаты занесите в табл. 6.2. Рассчитайте уровень шума источника в точках 1–7, т.е. $L_{ш} = L_{ф-ист} - L_{ф}$ и определите среднее значение уровня шума источника $L_{ср}$

Примечание. Уровни звукового давления являются логарифмическими величинами и арифметические действия с ними проводятся по формулам 6.7 и 6.8

Таблица 6.2

Уровни шума и звуковой мощности (дБА)

Измеренные и рассчитанные параметры	Измерительные точки						
	1	2	3	4	5	6	7
Уровень фона $L_{\text{ф}}$, дБА							
Уровень шума при включенном источнике $L_{\text{ф+ист}}$, дБА							
Уровень шума источника $L_{\text{ист}}$, дБА							
Среднее значение уровня шума $L_{\text{ср}}$, дБА	$L_{\text{ср}} = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_{\text{pi}}} \right) =$						
Уровень звуковой мощности L_{W} , дБА	$L_{\text{W}} = L_{\text{ср}} + 10 \cdot \lg(S/S_0) =$						

Таблица 6.3

Задание к экспериментальной части лабораторной работы

Номер бригады	Положение метки уровня шума	Номер лабораторного стенда для оценки условий труда
1	I	1
2	II	2
3	III	3
4	IV	4
5	V	5
6	VI	9
7	VII	10

8) Рассчитайте значение скорректированной звуковой мощности источника шума и занесите в табл.6.2

9) Измерьте уровень шума на рабочем месте лабораторного стенда в соответствии с заданием (табл. 6.3)

Для оценки параметров шума на постоянных рабочих местах производственных помещений измерения проводятся:

- на высоте 1,5 м над уровнем пола, если работа выполняется стоя,
- на высоте головы человека, если работа выполняется сидя.

Микрофон должен быть направлен в сторону источника шума и удалён не менее чем на 0,5 м от человека, производящего измерения.

Результаты сравните с допустимыми эквивалентными уровнями звука (Приложение 1).

Таблица 6.4

Исходные данные и результаты акустического расчёта для рабочих мест производственных помещений

№ бригады	Тип помещения	L_{WA} , дБА	V , м ³	r , м	m	Δ_0 , дБА	L_A , дБА	$L_{доп}$, дБА	$\Delta L_{тр}$, дБА
1	ВЦ со звукопоглощающей облицовкой		450	3					
2	Конструкторское бюро		400	4					
3	Помещение программистов		200	5					
4	Пост дистанционного управления		300	6					
5	Лаборатории для экспериментальных работ		150	3					
6	Лаборатории для теоретических работ		100	4					
7	Лекционные аудитории		350	5					

Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

1. Цель работы.
2. Рисунок расположения точек измерения на измерительной поверхности
3. Измеренные уровни шума и расчёт скорректированной звуковой мощности (табл.6.2)
4. Результаты измерения уровня шума на заданном лабораторном стенде (табл.6.3) и сравнение с допустимым уровнем звука по шкале «А»
5. Акустический расчёт в соответствии с заданием (табл.6.4)
6. Вывод и предложения по снижению уровня шума в помещении.

Контрольные вопросы

1. Дать определение акустического шума. Действие шума на организм человека.
2. Дать 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 расчёт 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?

Литература

1. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности
2. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
3. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003
4. Инженерная экология: Учебник / Под ред. проф. В.Т. Медведева. - М.: Гардарики, 2002, с.96-190.
5. Копылова Л.Н. Основы производственной санитарии. Часть 1. Виброакустика. М.: Издательский дом МЭИ, 2012

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П1

Нормативные значения уровней шума

Наименование показателя	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука и эквивалентный уровень звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Выполнение всех видов работ на рабочих местах	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Лабораторная работа №7

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. Измерить температуру источника излучения.
2. Измерить интенсивность теплового облучения на разных расстояниях от источника излучения:
 - 2.1. при отсутствии защитных экранов;
 - 2.2. при наличии защитного теплопоглощающего экрана – цепной завесы;
 - 2.3. при наличии защитного теплоотводящего экрана – водяной завесы;
 - 2.4. при наличии комбинированного экрана.
3. Рассчитать интенсивность теплового облучения в точках измерения при отсутствии защитных экранов и при наличии водяной завесы.
4. Рассчитать длину волны с максимальной энергией теплового излучения.
5. Рассчитать коэффициенты эффективности защитных экранов.

Тепловое излучение и защита от него

Процессы теплопередачи имеют широкое распространение в тепловой и атомной энергетике, ракетно-космической технике, металлургии, химической технологии, светотехнике, гелиотехнике и др.

Перенос теплоты от нагретых тел в окружающем пространстве осуществляется по законам теплопроводности, конвективного теплообмена и теплообмена излучением.

В отличие 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.

При температурах 500°С около 60-90% всей теплоты, выделяемой производственным оборудованием и материалами, распространяется в окружающем пространстве путём излучения. При этом энергия излучения

проходит воздушную среду практически без потерь, снова превращаясь в тепловую энергию облучаемых тел.

Основополагающие законы теплового излучения были установлены физиками в конце 19 века и носят их имена.

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

$$C = \sigma T^4 = C_0 (T/100)^4 \quad (7.1)$$

где σ , C_0 – постоянная и коэффициент излучения абсолютно черного тела ($C_0 = 10^8 \sigma = 5,67$ [Вт/м²К⁴]). На практике приходится иметь дело с серыми телами, для них закон *Стефана-Больцмана* имеет вид:

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

где $\varepsilon_i = E_i / \mathbf{\varepsilon}$ – степень черноты i -го тела ($0 < \mathbf{\varepsilon} < 1$),

C – коэффициент излучения серого тела [Вт/м²К⁴].

Закон Планка устанавливает связь спектральной плотности теплового излучения абсолютно черного тела $I_{\omega\lambda}$ [Вт/м²], с длиной волны излучения λ [м] и абсолютной температурой тела:

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

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.

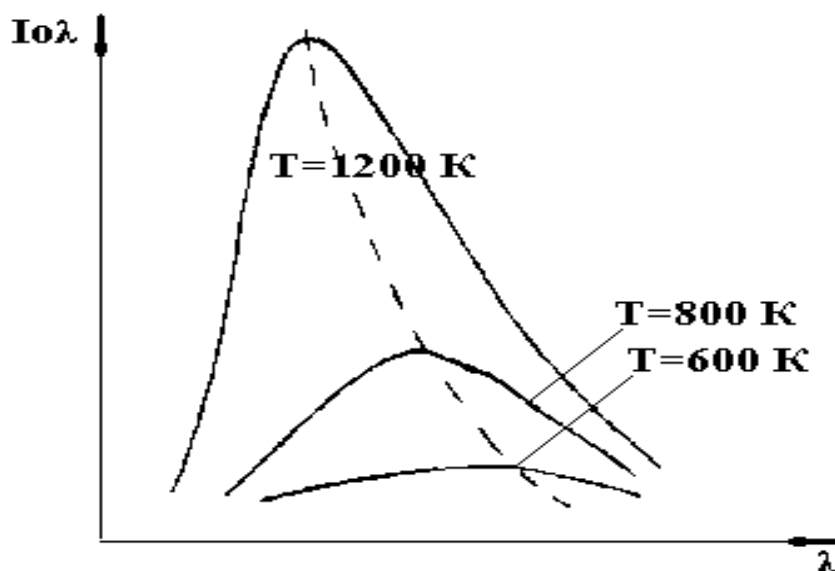


Рис.7.1. Спектральная плотность излучения абсолютно черного тела в зависимости от длины волны при разных температурах.

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.

Расчёт 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:

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

где $\varepsilon_{\text{пр}} = [1/\varepsilon_1 + (S_1/S_2)(1/\varepsilon_2 - 1)]$ – приведенная степень черноты двух тел; S_1, S_2 – площади поверхностей теплоизлучающего и теплопринимающего тел $[\text{м}^2]$; $\varphi_{1,2} = Q_2/Q_1$ – 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.

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. При этом нарушаются и другие защитные гомеостатические функции организма. Поэтому это заболевание характеризуется не только повышением температуры тела, но и обильным потоотделением, значительным учащением пульса и дыхания, резкой слабостью, головокружением, изменением зрительных ощущений, шумом в ушах и зачастую потерей сознания.

Гомеостатические системы поддержания стабильности жизнедеятельности организма связаны между собой и помогают друг другу преодолевать отрицательные внешние воздействия, иногда заменяя вышедшие из строя. Поэтому 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.

Тепловой эффект воздействия облучения зависит от многих факторов. Интенсивность облучения менее 700 Вт/м не вызывает у человека неприятного ощущения, если действует несколько минут; свыше 3500 Вт/м – уже через 2 с вызывает жжение, а через 5 с возможен тепловой удар. Производственные источники по характеру спектрального излучения условно можно разделить на четыре группы:

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

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

3) с температурой 1300-1800 °С (открытые проёмы плавильных печей, расплавленная сталь и др.); их спектр содержит как инфракрасные лучи вплоть до коротких (1,2-1,9 мкм), так и видимые большой яркости;

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

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

Наиболее распространённым и эффективным способом защиты от теплового излучения является экранирование – создание определённого термического сопротивления на пути теплового потока в виде экранов различных конструкций (жёстких 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 такие, как алюминий листовой, белая жёсть, альфоль (алюминиевая фольга), а также закалённые стекла с плёчным 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 проёма 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 и 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 устранить в лучистом потоке по возможности наибольший диапазон длинноволнового излучения, которое хорошо поглощается поверхностью кожи человека.

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

Вода является активным поглотителем инфракрасных лучей. Наиболее сильное поглощение отмечается в зоне лучей с длиной волны $\lambda=1,5-6,0$ мкм.

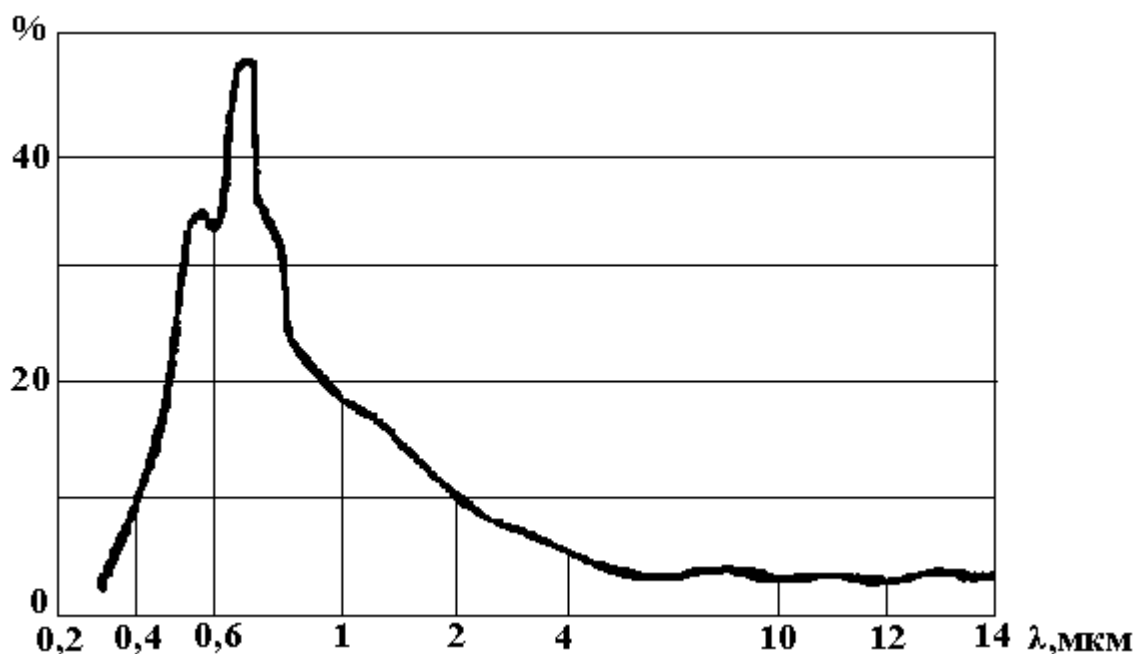


Рис.7.2 Степень отражения тепловых лучей кожей человека в зависимости от длины волны теплового излучения

Слой воды толщиной 1мм полностью поглощает участок спектра с $\lambda = 3$ мкм, а слой 10 мм – тепловой поток с длиной волны $\lambda = 1,5$ мкм.

Таким образом, слой воды, применяемый в защитных экранах, должен иметь толщину порядка нескольких мм, при этом однако 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 °С).

Интенсивность теплового облучения E [Вт/м²], которому подвергается человек применительно к условиям данного лабораторного стенда, можно оценить по приближенной формуле:

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

где S – площадь излучающей поверхности, м²; $T_{\text{изл}}$ – температура излучающей поверхности, К; $T_{\text{обл}}$ – температура облучаемой части тел, К (для приближенного расчёта можно принять $T_{\text{обл}} = 309$ К, то есть ≈ 36 °С); L – расстояние от источника излучения, м.

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

Расчёт 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 соответственно, Вт/м²; δ – опытный коэффициент ослабления потока излучений мутной средой, равный для водяной завесы 1,3 мм⁻¹; d – толщина завесы, мм (при работе принять = 1 мм).

В плоско-параллельной 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 экранов со степенью черноты $\varepsilon_3 \neq \varepsilon$ теплообмен уменьшается:

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

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 – соответственно интенсивность облучения в данной точке при отсутствии и наличии экрана, Вт/м².

Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников, нагретых до температуры не более 600°C.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от источников излучения, нагретых до температуры более 600°C (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и другие), не должны превышать 140 Вт/м². При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела с обязательным использованием средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз

Применяемое оборудование

Работа выполняется на лабораторной установке. Источником излучения служит инфракрасный излучатель, нагреваемый действием электрического тока. С помощью отражателя создаётся 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 металлических проводов.

Стеклянная завеса из рамки со вставленным стеклом, установленном на пути потока излучения.

Измерение температуры излучающей поверхности нагреваемого элемента производится с помощью оптического пирометра с пределами измерения 300-5000 °С. Действие пирометра основано на использовании зависимости температуры от спектральной энергетической яркости раскалённых тел (объектов). Перед началом измерения, с помощью перемещения окуляра, отрегулируйте резкость изображения нити в поле зрения. В пирометре использован принцип уравнивания яркости изображения объекта с яркостью нити пирометрической лампы. Равенство яркостей воспринимается наблюдателем как «исчезновение» нити лампы на фоне изображения объекта. Уравнивание яркостей (фотометрирование) производится поворотом ручки при включённом пирометре. В пирометре применена схема преобразования напряжения, снимаемого с реохорда фотометрирования, в ток накала пирометрической лампы. Реохорд фотометрирования непосредственно связан со шкалой пирометра, отградуированной в градусах Цельсия.

Измерение интенсивности облучения на рабочем месте проводится с помощью актинометра, укреплённого на передвижном металлическом каркасе с возможностью перемещения от источника излучения в пределах 0,2-0,4 м. Актинометр предназначен для измерения интенсивности тепловой радиации в производственных условиях в диапазоне от 0 до 20 кал/(мин·см²). Шкала актинометра отградуирована в калориях, цена одного деления шкалы равна 0,5 калорий. Измерение радиации производится с открытой крышкой, крышка является экраном, защищающим от нагрева сам прибор и руку наблюдателя. После окончания измерения радиации крышку теплоприёмника необходимо закрыть. Длительность одного измерения не должна превышать 2-3 секунды. Повышение чувствительности актинометра достигается с помощью усилителя.

Указания по технике безопасности:

1. Во время работы запрещается оставлять без надзора включённый стенд.
2. При обнаружении в стенде какой-либо неисправности необходимо прекратить работу, отключить стенд и сообщить о случившемся преподавателю или лаборанту.

Порядок выполнения работы

1. Включить стенд с помощью кнопки «ВКЛЮЧЕНИЕ СТЕНДА»; загорание подсвета кнопки сигнализирует о наличии напряжения.

2. Включить нагревательный элемент нажатием кнопки «ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ» и дать ему прогреться в течение 20 секунд. Включить питание пирометра.

3. Подвести под окно излучения оптический пирометр и измерить температуру в двух режимах температуры излучателя (больше, меньше), при этом необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации оптического пирометра. Полученные данные занести в таблицу 7.1.

Таблица 7.1

Температура источника.

Режим температуры излучателя	Температура источника
Больше	
Меньше	

4. Включить питание актинометра, подвести под окно излучения датчик и произвести измерение интенсивности теплового облучения при отсутствии экранов на различных расстояниях от источника излучения.

Внимание: при каждом измерении следует на 2-3 с поднять крышку теплоприемника актинометра и снять показания, после чего быстро закрыть её.

Результаты измерений разделить на коэффициент усиления $K_{yc}=10$ и записать в таблицу 1, предварительно переведя показания актинометра ($\text{кал/мин}\cdot\text{см}^2$ в Вт/м^2 ; $1\text{ кал/мин}\cdot\text{см}^2 = 700\text{ Вт/м}^2$).

5. Переключателем, расположенным на лицевой панели стенда, установить защитные экраны поочерёдно (цепная завеса, стекло, водяная завеса, комбинированная завеса (стекло+вода), при этом измерять интенсивность теплового облучения на различных расстояниях (0,2-0,4 м) и занести в таблицу 7.2.

Таблица 7.2

**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					
При наличии стекла					
При наличии водяной завесы					
При наличии комбинированной (стекло и вода) завесы					

6. Отключить питание актинометра, нагревательный элемент и насос, затем выключить стенд.

Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

1. Результаты измерения интенсивности теплового излучения на разных расстояниях от источника излучения при отсутствии и наличии защитных экранов, представленные в виде таблицы 7.2.
2. Результаты измерений температуры источника излучения.
3. Кривые зависимости $E=f(L)$ по результатам измерений и расчёта, построенные на одном графике.
4. Результаты определения по графику $E=f(L)$ значений при которых выполняется требование ГОСТ, для условий отсутствия и наличия защитных экранов.
5. Результат расчёта длины волны с максимальной энергией теплового излучения.
6. По заданию преподавателя рассчитать необходимое количество теплоотражающих экранов со степенью черноты для снижения теплового потока в N раз, используя формулу 7.8.
7. Результаты расчёта коэффициентов эффективности защитных экранов для значения $L = 0,20$ м (по данным таблицы 7.2).
8. Выводы 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? Какое количество тепловой энергии добавляет в тепловой баланс организма человека поток энергии $\Pi = 10$ мВт / см², действующий в течение $t = 4$ час? Коэффициент отражения потока от человека $k = 0,75$.

Расчёты произвести для эквивалентной поверхности человека к потоку энергии $Sh = 0,64 \text{ м}^2$. Принять во внимание, что $1 \text{ кал} = 4,2 \text{ Дж}$.

9. 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 поверхности батареи $\varepsilon = 0,85$. Батарею следует считать сосредоточенным источником излучения. Мощность излучения батареи P_b (Вт) рассчитывается по формуле: $P_b = S_b \varepsilon c_0 (T/100)^4$, $c_0 = 5,67 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К}^4)$ (см. также формулы 7.1 и 7.2 в описании лабораторной работы №7)

10. Определить перегрев организма человека, загорающего на Солнце при потоке солнечной энергии 700 Вт/м^2 . Дополнительные данные см. в вопросе 9.

Литература

Охрана труда / Под ред. Б.А. Князевского. М.: Высшая школа, 1982.- С. 55-57.

Лабораторная работа № 9

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Цель работы

Изучить принципы нормирования, расчёта и контроля естественного и искусственного освещения помещений.

Содержание работы

1. Провести измерения освещённости в лаборатории при естественном и искусственном освещении.
2. Произвести нормирование искусственного освещения и измерение фактической освещённости для заданных зрительных работ.
3. Выполнить расчёт освещения по методу коэффициента использования светового потока.

Основные светотехнические понятия и величины

Основными показателями, характеризующими свет, являются сила света, световой поток, освещённость 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 2042 К и давлении 101325 Па (760 мм. рт. ст.).

Световой поток Φ определяется как величина не только физическая, но и физиологическая, так как измерение ее 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). 1 лм – световой поток, испускаемый в единичном телесном угле (1 стерадиане) 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 .

Освещённость E характеризует поверхностную плотность светового потока на освещаемой площади S : $E=\Phi/S$. Единица освещённости – люкс (лк) – это освещённость 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 освещённость какой-либо поверхности, а световой поток, отраженный от этой поверхности и попадающий на зрачок, т.е. яркость светящихся поверхностей обратно пропорциональна их площади, а яркость освещённых объектов зависит от их световых свойств, от степени освещённости 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 $\rho = \Phi_\rho / \Phi$ – коэффициент отражения, определяемый отношением отраженного от поверхности светового потока Φ_ρ 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.

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 эвакуационное и резервное. При необходимости часть светильников рабочего или аварийного освещения может использоваться для дежурного освещения. Нормируемые характеристики освещения в помещениях и вне зданий могут обеспечиваться как светильниками рабочего освещения, так и совместным действием с ними светильников аварийного освещения.

Искусственное освещение помещений может быть двух систем – общее (равномерное и локализованное) 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 искусственному освещению добавляется местное, создаваемое светильниками, концентрирующими световой поток непосредственно на рабочих местах.

Нормирование освещения

Нормирование освещения при проектировании для помещений вновь строящихся и реконструируемых зданий и сооружений промышленного назначения производится по СП 52.13330.2011. По правилам, требования к освещению помещений промышленных предприятий являются показателями: КЕО, нормируемая освещённость E_n , допустимые сочетания показателей ослепленности P и коэффициент пульсации освещённости $K_{п}$.

Нормируемые показатели освещённости на рабочем месте устанавливаются в соответствии с санитарно-эпидемиологическими правилами СанПиН 1.2.3685-21. К нормативным показателям световой среды относятся: средняя освещённость на рабочей поверхности $E_{ср}$, коэффициент пульсации освещённости $K_{п}$, объединенный показатель дискомфорта – UGR, КЕО.

Особенность естественного освещения – чрезвычайно широкий диапазон изменения и непостоянство. Поэтому оценивать естественное освещение в абсолютных единицах освещённости – люксах не представляется возможным. В качестве нормируемой величины принята относительная величина – коэффициент естественной освещённости (КЕО), который представляет собой выраженное в процентах отношение

естественной освещённости, создаваемое в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения ($E_{\text{вн}}$) светом неба (непосредственным или после отражений), к одновременно замеренной наружной горизонтальной освещённости ($E_{\text{нар}}$), создаваемой светом полностью открытого небосвода:

$$\text{КЕО} = (E_{\text{вн}} / E_{\text{нар}}) \cdot 100 \% \quad (9.1)$$

Достаточность естественного освещения в помещении регламентируется нормами СанПиН 1.2.3685-21 (табл. 9.1), которыми установлены значения КЕО в зависимости от следующих четырёх 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 проёмов здания по сторонам горизонта.

В небольших помещениях с боковым односторонним освещением нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности на расстоянии 1 м от стены, наиболее удалённой от световых проёмов. В крупногабаритных производственных помещениях при боковом освещении минимальное значение КЕО нормируется в точке, удалённой от световых проёмов:

- на 1,5 высоты помещения для работ I-IV разрядов;
- на 2 высоты помещения для работ V-VII разряда;
- на 3 высоты помещения для работ VIII разряда.

Наименьшие размеры объекта различения и соответствующие им разряды зрительных работ установлены (табл.9.1) при расположении объектов различения на расстоянии не более 0,5 м от глаз работающего. При расстоянии до глаз работающего более 0,5 м разряд работ по таблице следует устанавливать с учётом углового размера объекта различения, определяемого отношением минимального размера объекта различения d к расстоянию l от этого объекта до глаз работающего.

Таблица 9.1

Требования к освещению рабочих мест на промышленных предприятиях

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совмещенное освещение	
						освещённость, лк			Сочетание нормируемых величин объединенного показателя дискомфорта URG и коэффициента пульсации	КЕО, ен, %				
										при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	
						При системе комбинированного освещения	При системе общего освещения	URG, не более						Кп, %, не более
1	2	3	4	5	6	7		8	9	10	11	12	13	14
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	а	Малый	Темный	5000	500		22	10				
						4500	500		-	19				
			б	Малый	Средний	4000	400	1250	22	10				
				Средний	Темный				22	10				
				Малый	Средний	3500	400	1000	19	10				
				Средний	Темный				19	10				
			в	Малый	Светлый	2500	300	750	22	10	-	-	6,0	2,0
				Средний	Средний				22	10				
				Большой	Темный				22	10				
				Малый	Светлый	2000	200	600	19	10				
				Средний	Средний				19	10				
				Большой	Темный				19	10				
			г	Средний	Светлый	1500	200	400	22	10				
				Большой	Светлый				22	10				
				Большой	Средний				22	10				
				Средний	Светлый	1250	200	300	19	10				
				Большой	Светлый				19	10				
				Большой	Средний				19	10				
		II	а	Малый	Темный	4000	400	-	22	10	-	-	4,2	1,5

Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30					3500	400	-	19	10				
			б	Малый	Средний	3000	300	750	22	10				
				Средний	Темный									
				Малый	Средний	2500	300	600	19	10				
				Средний	Темный									
			в	Малый	Светлый	2000	200	500	22	10				
				Средний	Средний									
				Большой	Темный									
				Малый	Светлый	1500	200	400	19	10				
				Средний	Средний									
				Большой	Темный									
			г	Средний	Светлый	1000	200	300	22	10				
				Большой	Светлый									
				Большой	Средний									
				Средний	Светлый	750	200	200	19	10				
				Большой	Светлый									
Большой	Средний													

Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	а	Малый	Темный	2000	200	500	25	15	-	-	3,0	1,2
						1500	200	400	22	15				
			б	Малый	Средний	1000	200	300	25	15				
				Средний	Темный									
				Малый	Средний	750	200	200	22	15				
				Средний	Темный									
			в	Малый	Светлый	750	200	300	25	15				
				Средний	Средний									
				Большой	Темный									
				Малый	Светлый	600	200	200	22	15				
				Средний	Средний									
				Большой	Темный									
			г	Средний	Светлый	400	200	200	25	15				
				Большой	Светлый									
				Большой	Средний									

Средней точности	Св. 0,5 до 1,0	IV	а	Малый	Темный	750	200	300	25	20	4,0	1,5	2,4	0,9
			б	Малый	Средний	500	200	200	25	20				
				Средний	Темный									
			в	Малый	Светлый	400	200	200	25	20				
				Средний	Средний									
				Большой	Темный									
			г	Средний	Светлый	-	-	200	25	20				

				Большой	Светлый									
				Большой	Средний									
Малой точности	Св. 1 до 5	V	a	Малый	Темный	400	200	300	25	20	3,0	1,0	1,8	0,6
			б	Малый	Средний	-	-	200	25	20				
				Средний	Темный									
			в	Малый	Светлый	-	-	200	25	20				
				Средний	Средний									
				Большой	Темный									
			г	Средний	Светлый	-	-	200	25	20				
				Большой	Светлый									
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		-	-	200	25	20	3,0	1,0	1,8	0,6
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII		То же		-	-	200	25	20	3,0	1,0	1,8	0,6
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: -постоянное		VIII	a	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		-	-	200	28	20	3,0	1,0	1,8	0,6
- периодическое при постоянном пребывании людей в помещении			б	То же		-	-	75	28	-	1,0	0,3	0,7	0,2
- то же , при временном			в	То же		-	-	50	-	-	0,7	0,2	0,5	0,2
- общее наблюдение за инженерными коммуникациями			г	То же		-	-	20	-	-	0,3	0,1	0,2	0,1

Таблица 9.2

Разряды зрительных работ при больших расстояниях от различаемых объектов до глаз работающего

Разряд зрительной работы	Пределы отношения d/l
I	Менее 0,0003
II	От 0,0003 до 0,0006
III	Свыше 0,0006 до 0,001
IV	Свыше 0,001 до 0,002
V	Свыше 0,002 до 0,01
VI	Свыше 0,01

Коэффициент светового климата m – коэффициент, учитывающий особенности светового климата.

Для определения нормируемого значения КЕО на рабочих местах, предварительно, для субъекта Российской Федерации, в котором производится оценка освещения, необходимо определить номер группы административных районов по ресурсам светового климата, указанный в таблице 9.4.

Нормируемое значение КЕО e_N для зданий, располагаемых в различных районах, следует определять по формуле

$$e_N = e_n m_N \quad (9.2)$$

где N – номер группы обеспеченности естественным светом по таблице 9.4;

e_N – значение КЕО по таблице 9.1;

m_N – коэффициент светового климата, зависящий от номера группы административных районов по ресурсам светового климата, определяемый по таблице 9.3.

Таблица 9.3

Коэффициенты светового климата в зависимости от группы административного района и ориентации световых проёмов по сторонам горизонта

Световые проемы	Ориентация световых проёмов по сторонам горизонта ¹	Коэффициент светового климата m по номерам групп административных районов ²				
		1	2	3	4	5
В наружных стенах зданий	С	1	0,9	1,1	1,2	0,8
	СВ, СЗ	1	0,9	1,1	1,2	0,8

	З, В	1	0,9	1,1	1,1	0,8
	ЮВ, ЮЗ	1	0,85	1	1,1	0,8
	Ю	1	0,85	1	1,1	0,75
В прямоугольных и трапециевидных фонарях	С-Ю	1	0,9	1,1	1,2	0,75
	СВ-ЮЗ ЮВ-СЗ	1	0,9	1,2	1,2	0,7
	В-З	1	0,9	1,1	1,2	0,7
В фонарях типа «шед»	С	1	0,9	1,2	1,2	0,7
В зенитных фонарях	-	1	0,9	1,2	1,2	0,75
<p>Примечания.</p> <p>¹ С – северное; СВ – северо-восточное; СЗ – северо-западное; В – восточное; З – западное; С-Ю – север-юг; В-З – восток-запад; Ю – южное; ЮВ – юго-восточное; ЮЗ – юго-западное.</p> <p>² Группы административных районов России по ресурсам светового климата приведены в приложении 10 настоящего СанПиН.</p>						

Таблица 9.4

Группы административных районов по ресурсам светового климата

Номер группы	Административные районы
1	Владимирская, Калужская области, Камчатский край, Кемеровская область, Красноярский край (севернее 63° с.ш.), Курганская, Московская, Нижегородская, Новосибирская, Омская области, Пермский край, Рязанская область, Республика Башкортостан, Республика Мордовия, Республика Татарстан, Республика Саха (Якутия) [севернее 63° с.ш.], Свердловская, Смоленская, Тульская, Тюменская области, Удмуртская Республика, Хабаровский край (севернее 55° с.ш.), Челябинская область, Чувашская Республика, Чукотский автономный округ
2	Белгородская, Брянская, Волгоградская, Воронежская области, Забайкальский край, Кабардино-Балкарская Республика, Красноярский край (южнее 63° с.ш.), Курская, Липецкая, Магаданская, Оренбургская, Орловская, Пензенская области, Республика Алтай, Республика Бурятия, Республика Ингушетия, Республика Коми, Республика Саха (Якутия) [южнее 63° с.ш.], Республика Северная Осетия - Алания, Республика Тыва, Самарская, Саратовская, Сахалинская, Тамбовская, Ульяновская области, Хабаровский край (южнее 55° с.ш.), Ханты-Мансийский автономный округ, Чеченская Республика

3	Вологодская, Ивановская, Калининградская, Кировская, Костромская, Ленинградская области, Ненецкий автономный округ, Новгородская, Псковская области, Республика Карелия, Тверская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, Ярославская область
4	Архангельская, Мурманская области
5	Автономная Республика Крым, Астраханская, Амурская области, Краснодарский край, Приморский край, Республика Дагестан, Республика Калмыкия, Ростовская область, Ставропольский край

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

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

1. **Размер объекта** – рассматриваемый предмет. Отдельная его часть или дефект, которые требуется различать в процессе работы. Например, при чтении текста – толщина линии буквы, при работе с приборами – толщина линий градуировки шкалы или толщина стрелки.

2. **Фон** – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Фон – величина, определяемая коэффициентом отражения поверхности (ρ_F). Коэффициент отражения объекта (ρ_0) различается по светлоте также, 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 $\rho_0 < 0,2$.

3. **Контраст объекта с фоном (K)** определяется отношением абсолютной величины разности между яркостью объекта L_0 и фона L_F к яркости фона или между их коэффициентами отражения к коэффициенту отражения фона:

$$K = (L_0 - L_F) / L_F \quad (9.3)$$

$$K = (\rho_0 - \rho_F) / \rho_F \quad (9.4)$$

Контраст объекта с фоном (K) считается большим, средним или малым в зависимости от его численного значения (табл. 9.5).

Таблица 9.5

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

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 освещённости по СанПиН 1.2.3685-21) для заданной зрительной работы при искусственном освещении необходимо знать:

1. разряд работы, который зависит от размера объекта различения,
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 СанПиНом число разрядов зрительных работ для промышленных предприятий составляет семь, первые пять разрядов имеют подразряды работ. Нормируемые значения освещённости в люксах, отличающиеся на одну ступень, следует принимать по шкале:

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.

Нормы освещённости, приведенные в табл. 9.1 повышают на одну ступень по шкале освещённости в следующих случаях:

- а) при работах I-IV разряда, если зрительная работа выполняется более половины рабочего дня;
- б) при повышенной опасности травматизма, если освещённость от системы общего освещения составляет 200 лк и менее;
- в) при специальных повышенных санитарных требованиях (на предприятиях пищевой и химико-фармацевтической промышленности), если освещённость от системы общего освещения 500 лк и менее;
- г) при работе или производственном обучении подростков, если освещённость от системы общего освещения 300 лк и менее;
- д) при отсутствии естественного света и постоянном пребывании работающих, если освещённость от системы общего освещения 750 лк и менее;
- е) при наблюдении деталей, вращающихся со скоростью, равной или более 500 об/мин, или объектов, движущихся со скоростью, равной или более 1,5 м/мин;
- ж) при постоянном поиске объектов различения на поверхности размером 0,1 м² и более;
- з) в помещениях, где более половины работающих старше 40 лет.

При наличии одновременно нескольких признаков нормы освещённости следует повышать не более чем на одну ступень.

В помещении должна быть обеспечена равномерность и устойчивость уровня освещённости. 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:

$$P=1000(S-1) \quad (9.5)$$

где S – коэффициент ослепленности, равный отношению пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии слепящих источников в поле зрения.

Критерий оценки относительной глубины колебаний освещённости в осветительной установке в результате изменения во времени светового потока источников света при их питании переменным током определяется показателем пульсации освещённости, который определяется по формуле

$$K_n = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{cp}} \cdot 100\% \quad (9.6)$$

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

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

Коэффициент пульсации освещённости от общего искусственного освещения не должен превышать нормативных значений приведённых в табл.9.1, регламентируемых в зависимости от функционального назначения помещения.

Объединённый показатель дискомфорта UGR – общеевропейский критерий оценки дискомфорта блёскости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения, определяемый по формуле:

$$UGR = 8 \lg \left[\frac{0,25}{L_a} \sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \omega_i}{p_i^2} \right] \quad (9.7)$$

L_i – яркость блесткого источника, кд/м²;

ω_i – угловой размер блесткого источника, стер;

p_i – индекс позиции блесткого источника относительно линии зрения;

L_a – яркость адаптации, кд/м².

Объединённый показатель дискомфорта UGR связан с показателем дискомфорта М по формуле:

$$UGR = 16 \lg M - 4,8 \quad (9.8)$$

где M – показатель дискомфорта.

Показатель дискомфорта M – критерий оценки дискомфортной блёскости, вызывающий неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения, выражающийся формулой

$$M = \frac{L_c \omega^{0,5}}{\varphi_\theta L_{ад}^{0,5}} \quad (9.9)$$

где L_c – яркость блестящего источника, кд/м² ;

ω – угловой размер блестящего источника, стер.;

φ_θ – индекс позиции блестящего источника относительно линии зрения;

$L_{ад}$ – яркость адаптации, кд/м².

При проектировании объединенный показатель дискомфорта рассчитывается инженерным методом с помощью программных средств на основе фотометрических данных светильников и расположения их в помещении, не имеет инструментальных методов контроля.

Объединенный показатель дискомфорта оценивается только при наличии жалоб работающих на наличие посторонних ярких источников света в поле зрения.

Расчёт и контроль освещения

Расчёт искусственного освещения может выполняться различными методами. Наиболее распространенным в проектной практике является расчёт освещения по методу коэффициента использования светового потока, который предназначен для расчёта общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей.

Расчётное уравнение метода

$$\Phi = (E_n k S z) / (N U_{oy}), \quad (9.10)$$

где Φ – световой поток каждой из ламп или каждого светильника, лм;

E_n – нормируемая минимальная освещённость, лк;

k – коэффициент запаса, учитывает 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, характеризует отношение средней освещённости к минимальной, и равен 1,15 для ламп накаливания и 1,1 для люминесцентных ламп;

N – выбранное число ламп или светильников;

U_{oy} – коэффициент использования осветительной установки (светильника), показывает какая часть светового потока (в долях единицы) лампы падает на освещаемую поверхность.

Определяют U_{oy} по справочным таблицам в зависимости от типа светильников, коэффициентов отражения потолка, стен, пола или расчётной поверхности, а также индекса помещения $\varphi = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)}$, где h – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м; A и B – ширина и длина помещения, м.

По формуле (9.10) рассчитывается световой поток Φ в лм лампы (ламп) в светильнике, необходимый для создания на рабочих поверхностях освещённости E не ниже нормируемой на все время эксплуатации осветительной установки. По полученному в результате расчёта требуемому световому потоку подбирается ближайшая стандартная лампа. Допускается отклонение светового потока лампы от расчётного 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 освещённости E_H .

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.

Применяемое оборудование

Измерение и контроль освещённости осуществляется с помощью приборов, получивших название люксметров. **Цифровой люксметр AR813A** является специализированным прибором для измерения освещённости в диапазоне до ста тысяч люкс. Датчик люксметра AR813A является встроенным, но с поворотным механизмом, позволяющим вращать его на угол до 180 градусов.

В основе принципа работы лежит явление фотоэлектрического эффекта. Световой поток, создаваемый естественным и искусственным светом, при попадании на полупроводниковый фотоэлемент, преобразуется в непрерывный электрический сигнал, пропорциональный световой освещённости, который отображается на цифровом

жидкокристаллическом экране, с помощью аналого-цифрового преобразователя.

Порядок работы на приборе:

1. Установите батарею 9В в отсек питания, соблюдая полярность.
2. Для включения прибора установите переключатель режимов работы в положение «ON», не снимая защитного колпачка с датчика.
3. После появления на дисплее значения «000» колпачок можно снять.
4. На дисплее отобразится измеренное значение. На цифровом индикаторе отображаются старшие разряды значения, в нижней части дисплея – множитель $\times 1$, $\times 10$ или $\times 100$.
5. Для задания предела измерения установите переключатель пределов измерения в положение, соответствующее требуемому пределу.
6. При появлении в левой части дисплея сообщения «1» следует установить больший (следующий) предел измерения.
7. Для удержания показаний на дисплее установите переключатель режимов работы в положение «HOLD»; появится индикатор.
8. По окончании работы наденьте защитный колпачок на датчик и установите переключатель режимов работы в положение «OFF».

Порядок проведения работы

1) Ознакомиться с указанием по эксплуатации люксметра Digital Lux Meter AR813A.

2) Замерить естественную освещённость внутри помещения лаборатории ($E_{вн}$) при выключенном искусственном освещении на расстоянии $l = 1, 2, \dots 5$ метров от окна. При этом фотоэлемент держать параллельно полу, обращенным вверх, на уровне высоты стола (0,8 м от пола). Значение $E_{вн}$ занести в табл. 9.6.

3) Замерить наружную освещённость ($E_{нар}$) и, рассчитать величину КЕО в зависимости от расстояния, заполнить табл.9.6. Для измерения наружной освещённости фотоэлемент необходимо поместить за окно в горизонтальном положении¹. Показания люксметра удвоить, так как свет попадает на фотоэлемент только от половины небосвода (вторая половина закрыта зданием), т.е. действительная наружная освещённость вдвое больше.

4) Определить, какому разряду работ по СанПиН 1.2.3685-21 (табл. 9.1) соответствует полученное для данного помещения значение КЕО.

¹ В зимний период измерение наружной освещённости производится у окна.

5) Замерить освещённость в помещении лаборатории ($E_{вн}$) при искусственном освещении в тех же точках, что в п.2, для чего необходимо включить все верхние светильники². Значения $E_{вн}$ занести в табл. 9.6.

6) Произвести нормирование искусственного и естественного освещения и заполнить табл.9.7 в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 (табл.9.1) для заданных зрительных работ (табл. П.1 Приложения).

Порядок нормирования осветительных условий для заданной зрительной работы

1. Определить разряд зрительной работы, зная минимальный размер объекта различения по табл.9.2. Размер объекта различения (мм) определяется ориентировочно; примеры объектов зрительной работы и соответственно их размеры представлены на стенде.

2. Определить подразряд зрительной работы по СанПиН 1.2.3685-21 (табл. 9.1), для чего:

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

б) рассчитать контраст объекта с фоном (K), зная коэффициент отражения объекта (ρ_o), который находится также путем визуального сравнения с образцами ρ и, зная ρ_f , по рассчитанному значению контраста (K) определить его характеристику (табл.9.5) можно также определить контраст по образцам контрастов объекта с фоном, представленных на стенде;

в) построчное сочетание характеристики фона и контраста (табл.9.1) даст подразряд работы.

3. Определить нормируемое значение освещённости (E_n) для искусственного освещения, зная разряд и подразряд работы (табл.9.1) и зная разряд определить значение КЕО для бокового освещения (табл.9.1) для системы совмещенного освещения.

4. Считая, что заданные зрительные работы выполняются на данном стенде, измерить освещённость в горизонтальной E_g и вертикальной E_v плоскостях. В зависимости от положения (горизонтального или вертикального) плоскости объекта различения, сравнить полученные значения с нормируемой освещённостью (табл.9.7). Результаты сравнения занести в табл.9.8.

² В случае незатемненных окон (в дневное время) замеры производить при совмещенном освещении. Сделать допущение о том, что освещение является совмещенным.

Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

1) Результаты измерений освещённости $E_{\text{вн}}$ при естественном и искусственном освещении, а также расчётное значение КЕО (e) в виде табл.9.6.

2) Значение наружной освещённости $E_{\text{нар.}}$.

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

4) Результаты нормирования осветительных условий для заданных зрительных работ в виде табл.9.7. Зрительные работы берутся из табл. П.1 Приложения

5) Результаты значений фактической освещённости, замеренной в плоскости, в которой выполняются заданные зрительные работы ($E_{\text{г}}$ или $E_{\text{в}}$) в виде табл.9.8.

6) Вывод о достаточности естественного и искусственного освещения.

7) Расчёт числа светильников для выполнения зрительных работ, приведенных в табл.9.7. Характеристики помещения берутся из табл. П.2 Приложения, параметры люминесцентных ламп из табл. 9.9, а коэффициенты использования из табл. П.3. Приложения

Таблица 9.6

$l, \text{ м}$	1	2	3	4	5
$E_{\text{вн}}$, лк (при естественном освещении)					
$E_{\text{вн}}$, лк (при искусственном освещении)					
КЕО (e), %					

Таблица 9.7

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 $E_{\text{вн}}$, лк	Нормированные значения КЕО (e), %

Таблица 9.8

Наименование нормируемой операции	E_{Γ} , лк	$E_{\text{в}}$, лк	$E_{\text{н}}$, лк

Контрольные вопросы и задания

1. Какие величины относятся к основным показателям, характеризующим освещение?
2. Дайте определение и назовите единицу измерения светового потока.
3. Какой величиной характеризуют пространственную плотность светового потока?
4. В каких единицах измеряется сила света?
5. Дайте определение и назовите единицу измерения освещённости.
6. Дайте определение и назовите единицу измерения яркости.
7. От каких параметров зависит яркость освещённых поверхностей?
8. Назовите виды и системы освещения.
9. Что такое коэффициент естественной освещённости и как он измеряется?
10. Чем регламентируется достаточность естественного освещения в помещениях?
11. В зависимости от каких параметров установлены нормами значения КЕО?
12. В какой точке помещения нормируется минимальное значение коэффициента естественной освещённости (КЕО)?
13. Каков принцип нормирования искусственного освещения?
14. От каких параметров зависит разряд и подразряд зрительных работ?
15. В каких случаях освещённость повышается на одну ступень?
16. В чем заключается расчёт освещения по методу коэффициента использования?
17. Каким прибором измеряется освещённость и на чем основан принцип его действия?
18. Методом коэффициента использования светового потока определить необходимое число светильников N (при общей системе освещения) для обеспечения требуемой нормируемой освещённости:
 1. $E_{\text{н}} = 200$ лк; 2) $E_{\text{н}} = 300$ лк при $K=1,4$; $z=1,1$. Освещение в помещении площадью (12×20) м² может быть выполнено двухламповыми светильниками ЛСП с люминесцентными лампами различного типа.

Коэффициент использования $U_{oy}=0,65$. Расчётное значение светового потока люминесцентных ламп приведено в табл.9.9.

Таблица 9.9

Характеристики люминесцентных ламп

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

19. Методом коэффициента использования светового потока рассчитать световой поток Φ лампы, необходимый для создания в помещении площадью (14x16) м² освещённости $E_n = 150$ 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 $U_{oy} = 0,6$. По полученному в результате расчёта световому потоку подобрать по табл.9.6 ближайшую стандартную лампу.

20. Рассчитать число светильников методом коэффициента использования по варианту, указанному преподавателем (табл. П.2 Приложения). Коэффициенты использования взять из табл. П.3.

Литература

1. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2011 г., 69 с.
2. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»,
3. Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Энергоатомиздат, 1995. 528с.
4. Монахов А.Ф., Смирнов П.А. Расчёт производственного освещения. М.: Издательство МЭИ, 2002. 16 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Задание для нормирования осветительных условий

№ бригады	1	2	3
1	Шкала люксметра	Рукописный текст	Калькулятор
2	Измерительная линейка	Печатный текст	Часы стрелочные
3	Пайка микросхемы	Клавиатура компьютера	Топографическая карта
4	Винтовое соединение	Карандашный текст	Измерительная линейка
5	Замена индикаторных ламп	Часы стрелочные	Электронный секундомер
6	Термометр	Чертёжные работы	Шкала анемометра
7	Клавиатура компьютера	Топографическая карта	Шкала шумомера

Таблица П.2

Задание для расчёта числа светильников

№ бригады или вариант заданный преподавателем	Светильник			Размеры помещения			Коэффициенты отражения		
	Тип	Число ламп	Мощность лампы, Вт	А, м	В, м	Н, м	$\rho_{\text{п}}, \%$	$\rho_{\text{с}}, \%$	$\rho_{\text{р}}, \%$
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

Табл. П.3

Коэффициенты использования

Тип светильни ка	Коэффициент ы отражения $\rho_{\text{п}}, \rho_{\text{с}}, \rho_{\text{р}}$	Значение коэффициента использования $U_{\text{оу}}$ в при значении индекса помещения ϕ равном									
		0,6	0,8	1,0	1,2 5	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
ЛДОР	70; 50; 10	0,2 9	0,3 6	0,4 3	0,4 7	0,5 1	0,5 6	0,6 0	0,6 2	0,6 4	0,6 7
ЛДОР	50; 30; 10	0,22	0,3 0	0,3 6	0,4 0	0,4 4	0,4 9	0,5 3	0,5 5	0,5 8	0,6 0
ARS/S	70; 50;30	0,36	0,4 4	0,5 0	0,5 6	0,6 0	0,6 6	0,7 0	0,7 3	0,7 6	0,7 8
ARS/S	50; 30;10	0,29	0,3 6	0,4 2	0,4 7	0,5 1	0,5 6	0,5 9	0,6 1	0,6 4	0,6 5

Лабораторная работа № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ

Цель работы

Изучить принципы нормирования параметров микроклимата в производственных помещениях.

Экспериментально определить параметры микроклимата на рабочем месте и сравнить их с действующими санитарно-гигиеническими нормами.

Основные параметры микроклимата и их влияние на организм человека

Микроклимат производственного помещения – это совокупность параметров воздуха (температура, влажность, скорость его движения), а также температуры окружающих поверхностей и интенсивности теплового облучения.

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, характеризующаяся количеством выделяемой теплоты ккал, и различные виды лучистой энергии, измеряемые интенсивностью их потоков в Вт/м². Выходом энергии являются производимая организмом работа, потери за счет явлений теплопередачи и конвекции, теплового излучения и испарения жидкости с поверхности тела.

При обычных температурах в помещениях от кожного покрова человека в окружающий воздух отводится до 45 % теплоты путём излучения, до 30 % за счет конвективного теплообмена и до 25 % при испарении пота. При этом свыше 80% тепла отдаётся через кожу, примерно 13% через органы дыхания, около 5% расходуется на согревание пищи, воды и вдыхаемого воздуха.

Теплоотдача радиацией и конвекцией происходит только в том случае, если температура воздуха и предметов ниже температуры тела, причем интенсивность теплоотдачи тем больше, чем выше разность этих температур. При температуре воздуха выше температуры тела потери тепла происходят за счёт потовыделения: на испарение 1 г пота затрачивается около 2,5 кДж тепла. Количество влаги, испаряемой с поверхности тела (кожи), зависит от температуры окружающей среды, влажности и интенсивности физической нагрузки. При покое организма и температуре воздуха 15°C испарение незначительно и составляет примерно 30 г за 1 час. При температуре 30°C и тяжелой физической работе это количество достигает 1- 1,5 л/ч, пота, на испарение которого затрачивается около 2500 - 3800 кДж (600 - 900 ккал).

Усиленное потоотделение ведет к потере жидкости, солей и водорастворимых витаминов. Частично потери жидкости восполняются усиленным питьем, но при этом масса тела рабочих к концу смены может уменьшаться на 3-4 кг и более. В 1 литре пота в среднем содержится 2,5 – 5,6 граммов хлорида натрия. При тяжелой работе в условиях высокой температуры воздуха может выделиться до 10 -12 литров пота, а с ним до 30 – 40 граммов хлорида натрия. Всего в организме содержится около 140 граммов хлорида натрия. Потеря 28 – 30 граммов его ведет к прекращению желудочной секреции, а больших количеств – к мышечным спазмам и судорогам. Потери водорастворимых витаминов (С, В₁, В₂) при сильном потоотделении достигают 15 – 25 % потребной суточной дозы.

Необходимо учитывать, что скорость движения воздуха менее 0,1 м/с для людей в состоянии покоя воспринимается как застой воздуха, а выше 0,25 м/с – как сквозняк.

Теплопередача – физический процесс передачи тепловой энергии от более горячего тела к менее горячему, либо непосредственно (при контакте), или через разделяющую (тела или среды) перегородку из какого-либо материала.

Теплопроводность – процесс переноса теплоты в сплошной среде с неоднородным распределением температуры, которая осуществляется микрочастицами вещества (атомами в кристаллической решетке, молекулами в газах, электронами в металлах) в процессе их теплового движения.

Конвекция – процесс переноса теплоты в сплошной среде с неоднородным распределением температуры и скорости, который осуществляется макроскопическими элементами при их перемещении.

Тепловое излучение – перенос теплоты, обусловленный превращением внутренней энергией в лучистую энергию, которая переносится в пространстве, поглощается и отражается.

С точки зрения биологии человек относится к эндотермным животным, т.е. температура его тела не зависит от температуры окружающей среды и поддерживается постоянной гомеостатическими системами регулирования в организме. Для человека такой температурой являются значения $36,5 - 37,0^{\circ}\text{C}$. 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°C температура кожи на конечностях может быть $20,5^{\circ}\text{C}$.

Уравнение теплового баланса для организма человека за определённый период времени имеет вид:

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

M – теплота процессов метаболизма, полученная из химических субстратов пищи, подвергшихся расщеплению в клетках;

S – накопленная организмом теплота;

R, C, P – теплота, отданная (со знаком «минус») или полученная (со знаком «плюс») путём излучения, конвекции, теплопередачи соответственно;

E – теплота, отданная за счёт испарения.

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

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.

В комфортных условиях для взрослого человека средних лет, при отсутствии физической нагрузки, для нормального осуществления жизненно важных функций в его организме должно производиться 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):

$$P_h = \frac{4.2Q}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 4.85 \cdot 10^{-5} \cdot Q \quad (10.2)$$

В формуле использованы следующие соотношения:

1 кал = 4,2 Дж;

1 Вт = 1 Дж/с;

1 сут = 24·60·60 с.

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

Механизм выхода энергии регулируется гомеостатическими системами регулирования в организме, призванными поддерживать постоянство внутренней температуры тела человека 36,6°C. Это необходимо для нормального функционирования биологических клеток организма. Поддержанию постоянства температуры внутренней среды человека способствует разветвлённая кровеносная система, обеспечивающая отвод тепла от внутренних органов к поверхности тела. С наибольшей скоростью кровь течёт в аорте (~ 0,5м/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 разветвлённость 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 1,8м². При калорийности пищи в сутки 1800 ккал теплообмен составляет 40,5 кал/(ч·м²). Калорийность пищи должна быть на 20% выше энергозатрат организма. При недостаточной калорийности организм стремится поддерживать постоянную температуру внутренней среды и протекание обменных процессов за счет

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

Энергозатраты организма измеряются методами калориметра:

1. прямая калориметрия – измерение непосредственно выделяемой теплоты;
2. алиментарная калориметрия – определение теплоты при окислении пищевых продуктов;
3. респираторная калориметрия – определение теплоты по обмену газов в лёгких, используя термические коэффициенты O_2 и CO_2 .

Характеристика отдельных категорий работ

Все виды работ, выполняемые на производстве, по тяжести физической нагрузки разделены на три категории: лёгкие (I категория), средней тяжести (II категория) и тяжёлые работы (III категория).

В свою очередь категории работ разграничиваются на основе интенсивности энерготрат организма в ккал/ч (Вт):

- К категории I а 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.).

- К категории I б 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.).

- К категории II а 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 прядильно-ткацком производстве и т. п.).

- К категории II б 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, кузнечных, термических, сварочных цехах машиностроительных и металлургических предприятий и т. п.)

- 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.).

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 нервной³ и эндокринной⁴ систем человека.

Микроклиматические 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.

Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» 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. Высокая температура воздуха оказывает неблагоприятное влияние на сердечно-сосудистую, центральную нервную систему человека. Низкая температура может вызвать местное и общее охлаждение организма, стать причиной простудных заболеваний.

² условно ее можно назвать информационной системой

³ скорее исполнительная система, так как контролирует образование гормонов, секретов (например, потовыделение), состав крови и т.п. В обеих системах заложена информационная основа в виде молекул ДНК.

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 мм 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, выраженной в процентах.

В воздухе, избыточно насыщенном водяными парами (75-80%) затрудняется испарение влаги с поверхности кожи и дыхательных путей, нарушается терморегуляция и наступает перегрев организма, что может привести к ухудшению здоровья и снижению работоспособности.

При небольшом перегреве симптомы ограничиваются лёгким повышением температуры тела, обильным потоотделением, жаждой, небольшим учащением дыхания и пульса. При значительном перегреве возникает ещё и головокружение, затрудняется речь, появляется одышка. Описанная форма нарушения терморегуляции называется тепловой гипертермией. Другая форма перегрева характеризуется нарушением водно- солевого обмена и называется судорожная болезнь. Она протекает в форме судорог различных, особенно икроножных мышц, сопровождается большой потерей пота, сильным сгущением крови. В дальнейшем может наступить тепловой удар, протекающий с потерей сознания, повышением температуры тела до 40-41°C, слабым и учащённым пульсом, при этом происходит почти полное прекращение потоотделения. Тепловой удар и судорожная болезнь могут иметь летальный исход.

При понижении относительной влажности до 20-30 % у человека возникает неприятное ощущение сухости слизистых оболочек верхних дыхательных путей.

Длительное охлаждение также опасно для организма. Оно приводит к расстройству, деятельности капилляров и мелких артерий – ознобление пальцев рук, ног и кончиков ушей, периферической нервной системы, особенно пояснично-крестцовый радикулит, невралгия лицевого седалищного и других нервов, обострения суставного и мышечного ревматизма, плеврит, бронхит, инфекционное воспаление, слизистых оболочек дыхательных путей и др.

Наибольший процент заболеваний происходит в результате переохлаждения при сочетании неблагоприятных метеорологических факторов: низкой температуры воздуха, высокой влажности и большой его подвижности. Это объясняется тем, что влажный воздух лучше проводит тепло, а подвижность его увеличивает теплоотдачу конвекцией.

Скорость движения воздуха влияет скорее на теплоощущения человека, облегчая (или усугубляя) процесс теплоотдачи путём конвекции. Так, скорость около 0,15 м/с человек уже ощущает, при этом, если температура воздуха менее 36° С, то воспринимает освежающее действие воздушного потока. При температуре воздуха свыше 40°С такие потоки действуют угнетающе.

Движение воздуха может вызвать негативную реакцию через появление эффектов, обусловленных давлением воздуха на кожу: утомление рецепторного аппарата, высушивание кожи.

Непосредственным измерением трудно установить количество теплоты, отдаваемой человеком. Поэтому об интенсивности общей теплоотдачи 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 (см. рис. 1 на стенде).

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

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

Холодный период года – период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной +10 °С и ниже.

Тёплый период года – период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше +10 °С.

Среднесуточная температура наружного воздуха – средняя величина температуры наружного воздуха, измеренная в определённые часы суток через одинаковые интервалы времени. Она принимается по данным метеорологической службы.

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 величины 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 её 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, приведённым в табл. 10.1, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и тёплый 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°C и выходить за пределы величин, указанных в табл. 1 для отдельных категорий работ.

Таблица 10.1

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [1].

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °C	Температура поверхностей, °C	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22—24	21—25	60 - 40	0,1
	Iб(140-174)	21 - 23	20—24	60—40	0,1
	IIa(175—232)	19 - 21	18-22	60—40	0,2
	IIб (233—290)	17 - 19	16 - 20	60—40	0,2
	III (более 290)	16 - 18	15 - 19	60—40	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23 - 25	22—26	60—40	0,1
	Iб(140-174)	22 - 24	21—25	60—40	0,1
	IIa(175—232)	20 - 22	19—23	60—40	0,2
	IIб (233—290)	19 - 21	18—22	60—40	0,2
	III (более 290)	18 - 20	17 - 21	60 - 40	0,3

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, приведённым в табл. 10.2 применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и тёплый периоды года.

При обеспечении допустимых величин микроклимата на рабочих местах:

1. перепад температуры воздуха по высоте должен быть не более 3 °С;
 - а. перепад температуры воздуха по горизонтали, а также её изменения в течение смены не должны превышать: при категориях работ Ia и Ib - 4 °С; при категориях работ IIa и IIб - 5°С; при категории работ III-б 6 °С.

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

Таблица 10.2

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [1]

Период года	Категория работ по уровню энерготрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	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)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75	0,1	0,1
	Iб(140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,1
	IIa(175-232)	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,2
	IIб (233-290)	15,0-16,9	19,1-22,0	14,0-23,0	15-75	0,2	0,2
	III (более 290)	13,0-15,9	18,1-21,0	12,0-22,0	15-75	0,3	0,3
Теплый	Ia (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75	0,1	0,1
	Iб(140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75	0,1	0,1
	IIa(175-232)	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75	0,1	0,2
	IIб (233-290)	16,0-18,9	21,1-27,0	15,0-28,0	15-75	0,2	0,2
	III (более 290)	15,0-17,9	20,1-26,0	14,0-27,0	15-75	0,3	0,3

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

70 % - при температуре воздуха 25°C;

65 % - при температуре воздуха 26°C;

60 % - при температуре воздуха 27°C;

55 % - при температуре воздуха 28°C.

При температуре воздуха 26 – 28°C скорость движения воздуха, указанная в табл. 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.

В соответствии с ГОСТ 30494-2011 [4] принята следующая классификация помещений общественного и административного назначения для нормативных параметры микроклимата (табл. 10.3):

Таблица 10.3

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне общественных и административных зданий [4].

Период года	Наименование помещения или категория	Температура воздуха, °C		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая, не более	оптимальная, не более	допустимая, не более
Холодный	1	20—22	18—24	45—30	60	0,2	0,3
	2	19—21	18—23	45—30	60	0,2	0,3
	3а	20—21	19—23	45—30	60	0,2	0,3
	3б	14—16	12—17	45—30	60	0,3	0,5
	3в	18—20	16—22	45—30	60	0,2	0,3
	4	17—19	15—21	45—30	60	0,2	0,3
	5	20—22	20—24	45—30	60	0,15	0,2
	6	16—18	14—20	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется
	Ванные, душевые	24—26	18—28	Не нормируется	Не нормируется	0,15	0,2

Теплый	Помещения с постоянным пребыванием людей	23—25	18—28	60—30	65	0,15	0,25
--------	--	-------	-------	-------	----	------	------

Помещения 1-й категории: помещения, в которых люди в положении лёжа или сидя находятся в состоянии покоя и отдыха;

Помещения 2-й категории: помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учёбой;

Помещения 3а категории: помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды;

Помещения 3б категории: помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя в уличной одежде;

Помещения 3в категории: помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении стоя без уличной одежды;

Помещения 4-й категории: помещения для занятий подвижными видами спорта;

Помещения 5-й категории: помещения, в которых люди находятся в полураздетом виде (раздевалки, процедурные кабинеты, кабинеты врачей и т. п.);

Помещения 6-й категории: помещения с временным пребыванием людей (вестибюли, гардеробные, коридоры, лестницы, санузлы, курительные, кладовые).

Мероприятия по предотвращению неблагоприятного воздействия микроклимата на организм человека

Для обеспечения требуемых параметров воздушной среды помещений применяют следующие технические мероприятия [2]:

1. **Обеспечение вентиляции.** Вентиляция – организованный воздухообмен, заключающийся в удалении загрязнённого или нагретого и подаче свежего наружного (или очищенного) воздуха. В зависимости от назначения используют различные системы вентиляции, которые можно систематизировать по отдельным признакам:

по способу организации воздухообмена:

- общеобменная, обеспечивающая требуемые параметры воздушной среды во всем помещении;

- местная – в отдельной части помещения;

по способу перемещения воздуха:

- естественная, осуществляемая за счёт разности температур воздуха внутри помещения и снаружи либо за счёт ветрового напора; примерами

естественной вентиляции служат проветривание, аэрация и др. Это наиболее простой в эксплуатации и экономичный тип вентиляции, однако имеющий существенные недостатки, поскольку поступающий воздух не подвергается обработке (подогрев, увлажнение, очистка от примесей и т.д.) и неэффективен в помещениях с сильно загрязнённым воздухом;

- механическая, при которой перемещение воздуха осуществляется при помощи вентиляторов;

по способу подачи и удаления воздуха:

- приточная, основанная на подаче чистого воздуха в помещение;

- вытяжная, основанная на удалении загрязнённого воздуха;

- приточно-вытяжная, представляющая сочетание обоих способов.

Кроме того, такие применяются технические устройства как *воздушные души, воздушные оазисы, воздушные завесы*. Параметры воздуха, поступающего в помещение при использовании систем вентиляции, задаются ГОСТ 12.1.005 –88 [3]. Если в помещении нет вредных выделений, то вентиляция должна обеспечивать воздухообмен не менее 30 м³/ч на человека (в помещениях с объёмом до 20 м³ на одного человека).

2. Кондиционирование – применение специальных аппаратов, автоматически обрабатывающих подаваемый воздух в соответствии с заданными параметрами по температуре, влажности, скорости движения и чистоте воздуха. Кондиционеры могут быть местными и центральными. Активное использование в последние годы кондиционеров на производстве, в офисах, а также в быту, несомненно, оправдано, однако следует помнить о негативных последствиях для здоровья постоянного пребывания в кондиционированном воздухе.

3. Отопление - использование нагревательных приборов для поддержания требуемой температуры воздуха в помещении в холодное время года. В зависимости от теплоносителя системы отопления бывают водяные, паровые, воздушные и комбинированные.

4. Механизация и автоматизация производственных процессов позволяет изолировать человека от неблагоприятных факторов воздушной среды либо снизить трудовую нагрузку (перемещение тяжестей, передвижения, ручной труд и др.). Для этого используются системы дистанционного управления, внедряются новые технологии, сокращающие или исключаящие непосредственное присутствие человека и отводящие ему лишь контролируюшую роль.

5. Герметизация и теплоизоляция оборудования заключается в экранировании источников теплового излучения, т.е. применении материалов, ограничивающих либо исключаящих воздействие на человека высоких температур.

6. Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ) – спецодежда, обувь, рукавицы, головные уборы, маски и др. Для профилактики перегревов СИЗ изготавливают из хлопчатобумажных, суконных, штапельных тканей, от переохлаждений – из шерсти, меха, искусственных теплозащитных тканей, одежду с подогревом и т.д.

Для сокращения воздействий неблагоприятной воздушной среды применяются также организационные и лечебно-профилактические мероприятия: сокращение продолжительности рабочего дня, дополнительные перерывы, гидропроцедуры, дополнительное питание и рациональный питьевой режим, медицинские осмотры и др.

Указания по технике безопасности

1. Строго соблюдать инструкцию по технике безопасности на стенде.
2. Не включать стенд без проверки его преподавателем.
3. В случае неисправности отключить стенд.

Применяемое оборудование

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

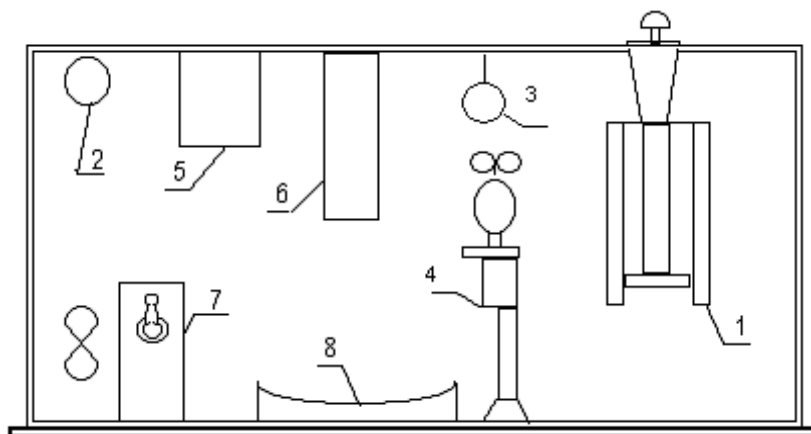


Рис. 10.1 Устройство макета

Внутри макета (рис. 10.1) 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 ёмкость 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 $+50^{\circ}\text{C}$ (рис. 10.2). 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 окружающего воздуха. Он состоит из двух одинаковых ртутных термометров 2, резервуары которых помещены в металлические трубки защиты 1. Эти трубки соединены с воздухопроводными трубками, на верхнем конце которых укреплен аспирационный блок с крыльчаткой 5, заводимый ключом 4.

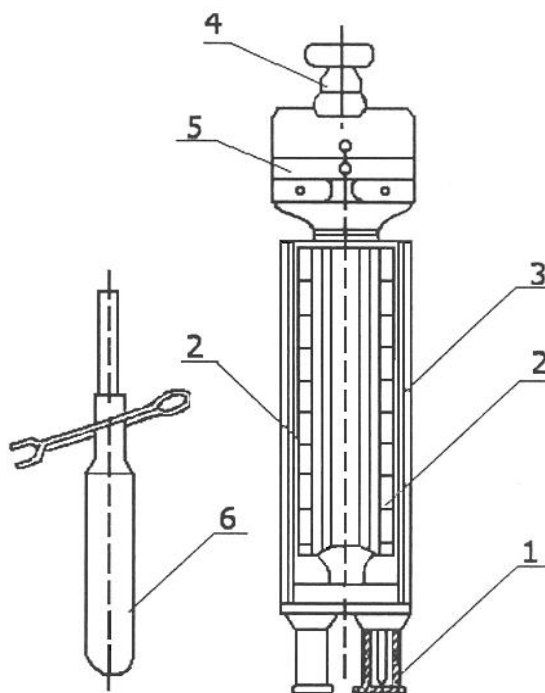


Рис. 10.2. Аспирационный психрометр МВ-4М:

- 1 – резервуар ртутного термометра; 2 – шкала ртутного термометра;
- 3 – корпус психрометра; 4 – ключ заводного механизма; 5 – вентилятор; 6 – груша с пипеткой

Перед измерением резервуар правого термометра, обернутый тонкой тканью, смачивается дистиллированной водой с помощью пипетки 6. Затем ключом 4 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 3 минуты после начала работы вентилятора.

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

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

где A - абсолютная влажность воздуха, мм.рт.ст.;

$F_{\text{вл}}$ - максимальная влажность при температуре влажного термометра ($t_{\text{вл}}$), берётся из табл. 3;

$t_{\text{сух}}, t_{\text{вл}}$ - температуры, измеренные соответственно 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 $t_{\text{сух}}$ берётся 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 $F_{\text{вл}}, F_{\text{сух}}$, мм.рт.ст	Температура воздуха, °C	Максимальная влажность $F_{\text{вл}}, F_{\text{сух}}$, мм.рт.ст	Температура воздуха, °C	Максимальная влажность $F_{\text{вл}}, F_{\text{сух}}$, 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 номограмме (рис. 10.2 на стенде). Для этого по вертикальным линиям 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.

Анемометр крыльчатый АСО-3

Крыльчатый анемометр применяется для измерения скоростей движения воздуха в диапазоне от 0,3 до 5 м/с (рис.10.3). Ветроприемником анемометра служит крыльчатка, насаженная на ось, один конец которой закреплён на неподвижной опоре, а второй – через червячную передачу передаёт вращение редуктору счётного механизма. Его циферблат имеет три шкалы: тысяч, сотен и единиц. Включение и выключение механизма производится арретиром. Чувствительность прибора не более 0,2 м/с.

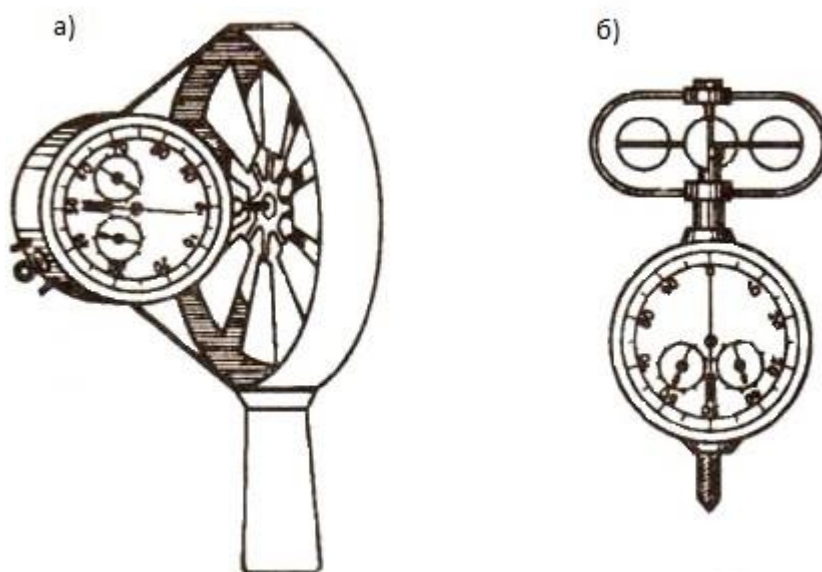


Рис. 10.3 Анемометр: а) крыльчатый типа АСО-3; б) чашечный

Для определения скорости движения воздуха, измеренной с помощью анемометра (крыльчатого или чашечного) используется выражение:

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

где V – скорость движения воздуха, делений/с;

C_1 и C_2 – соответственно начальные и конечные показания анемометра, дел.;

T - продолжительность измерения, с.

Для перевода значения скорости движения воздуха из дел/с в м/с следует использовать график к крыльчатому анемометру (рис. 3 на стенде).

Значения эффективной и эквивалентно-эффективной температур, характеризующих пребывание в зоне, называемой «зоной комфорта», определяют по номограмме (рис. 1 на стенде). Эффективная температура определяется по номограмме на пересечении прямой линии, соединяющей показания сухого и влажного термометров (полученных по аспирационному психрометру) и нижней линии температур при скорости движения воздуха, равной нулю.

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

Порядок выполнения работы

3.1.1.1. Определение влажности воздуха.

Для этого:

- смочить дистиллированной водой с помощью пипетки ткань на правом резервуаре психрометра;
 - завести механизм вентилятора ключом психрометра и через 3 – 4 минуты записать показания $t_{\text{сух}}$ сухого и $t_{\text{вл}}$ влажного термометров;
 - измерить барометрическое давление барометром-анероидом.
- Полученные значения подставить в выражения (2 и 3) и вычислить значения абсолютной и относительной влажности.

3.1.1.2. Измерение скорости движения воздуха в камере с помощью чашечного анемометра. Для этого:

- перед измерением записать начальные показания счётчика по всем трём шкалам, получив четырёхзначное число;
- включить вентилятор и анемометр на 60 секунд и записать показания счётчика анемометра в протокол.

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

№ бригады	1	2	3	4	5	6
Вариант задания	1	2	3	1	2	3

Вариант 1

1. Измерить давление барометром-анероидом.
2. Определить температуру и относительную влажность воздуха в производственном помещении с помощью аспирационного психрометра (протокол №1).
3. Определить скорость движения воздуха с помощью чашечного анемометра (для создания воздушного потока включить вентилятор) (протокол №2).
4. Определить эффективную и эквивалентно-эффективную температуры для полученных значений температур и скорости движения воздуха (рис. 1 на стенде).
5. Сделать выводы о состоянии микроклимата в помещении, сравнив полученные данные с нормами (табл. 1 и 2) для данного периода года. Для следующих профессий: кузнец, швея, токарь, сварщик (протокол №3).

Вариант 2

1. Измерить давление барометром-анероидом.
2. Поместить в макет производственного помещения сосуд с водой.
3. Через 5 – 7 минут определить температуру и относительную влажность воздуха аспирационным психрометром (протокол №1).
4. Измерить скорость движения воздуха анемометром (включить вентилятор) (протокол №2).
5. Сделать выводы о состоянии микроклимата в помещении, сравнив полученные данные с нормами (табл. 1, 2). Для профессий: программист, фрезеровщик, кассир, грузчик (протокол №3).

Вариант 3

1. Измерить давление барометром-анероидом.
2. Определить температуры $t_{\text{сух}}$ сухого и $t_{\text{вл}}$ влажного термометров аспирационного психрометра (протокол №1).
3. Определить скорость движения воздуха анемометром (включить вентилятор) (протокол №2).
4. Определить влажность воздуха по психрометрическому графику (рис. 3 на стенде) и по гигрометру (протокол №1).
5. Сделать выводы о состоянии микроклимата в помещении, сравнив полученные данные с нормами (табл. 1, 2) для данного периода года. Заполнить протокол №3 для следующих профессий: слесари, формовщик, инженер-конструктор, кассир-операционист.

Протокол 1. Определение влажности воздуха

Наименование прибора	$t_{\text{сух}},$ °C	$t_{\text{вл}},$ °C	$\Delta t,$ °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

Наименование прибора	$C1,$ дел	$C2,$ дел	$V,$ дел/с	$V,$ м/с
Чашечный анемометр				

Протокол 3. Оценка метеорологических условий для данного периода года

Параметры	Фактические	По нормам (профессия.....).	
		Допустимые	Оптимальные
$t, ^\circ\text{C}$			
$R, \%$			
$V, \text{м/с}$			

Отчёт должен содержать

1. Краткую характеристику 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. К какой категории относиться работа оператора ПЭВМ?
10. В чем отличие оптимальных условий микроклимата от допустимых?

11. Как провести измерения параметров микроклимата при аттестации рабочих мест?

Литература

1. Санитарные правила и нормы СанПин 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г. N 21).

2. Свод правил СП 60.13330.2012 «СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 г. N 279).

3. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» (утв. и введён в действие Постановлением Госстандарта СССР от 29.09.1988 N 3388).

4. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.

Лабораторная работа №11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗВУКОВОЙ МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКА ШУМА

Цель работы

Ознакомление с прибором для измерения уровня звукового давления (далее-шумомер), проведение измерения уровней звукового давления при включённом и выключенном электродвигателе.

Содержание работы

1. Изучить инструкцию пользователя измерителем шума ВШВ–003–М2.
2. Измерить шумовой фон (уровни звукового давления в октавных полосах частот $L_{pф}$) при отключенном электродвигателе.
3. Измерить уровни звукового давления в октавных полосах частот L_p при включенном электродвигателе на расстоянии 1 м от него при четырех положениях микрофона измерителя шума ВШВ–003–М2.
4. Определить средний уровень звукового давления $L_{pср}$ для каждой октавной полосы по четырем измерениям.
5. Рассчитать уровень звуковой мощности электродвигателя в октавных полосах частот.
6. Построить шумовую характеристику электродвигателя.

Характеристика шума

В настоящее время защита человека от шума стала одной из актуальнейших проблем. Утомление работников из-за сильного шума увеличивает число ошибок при работе, способствует возникновению профессиональных заболеваний. Действуя на центральную нервную систему, шум оказывает неблагоприятное влияние на организм человека, вызывает тяжелые заболевания. 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.

Шум – звуковые колебания в диапазоне слышимых частот, способные оказать вредное воздействие на безопасность и здоровье работника.

Звук (как физическое явление) – это продольные волны объёмных деформаций упругой среды т.е. сжатия и разряжения среды., характеризующиеся перепадом давления ΔP относительно атмосферного $P_{\text{атм}} = 101 \text{ кПа}$. Как физиологическое явление звук ощущается органами слуха в диапазоне частот 20Гц...20кГц. Ниже 16 Гц и выше 20 кГц находятся соответственно области неслышимых человеком инфра- и ультразвуков.

Звуковая волна характеризуется частотой и амплитудой колебаний. Чем больше амплитуда колебаний, тем больше звуковое давление, и тем громче ощущаемый человеком звук.

Звуковое давление P (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.

Полоса частот, в которой верхняя граничная частота в два раза больше нижней, называется октавной. Октавная полоса частот характеризуется среднегеометрической частотой и выражается соотношением: уровней

$$f_{\text{ср}} = \sqrt{f_1 \cdot f_2} \quad (11.1)$$

где f_1 - нижняя граничная частота октавной полосы, Гц;

f_2 - верхняя граничная частота, Гц.

Акустические расчеты, правильный подбор индивидуальных средств защиты производятся в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Спектр шума – распределение уровней звукового давления и интенсивности в октавных полосах частот.

При распространении звуковой волны происходит перенос энергии. Поток звуковой энергии E (Дж) в единицу времени t (с), отнесённый 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:

$$I = P^2 / 2\rho c, \quad (11.1)$$

где P^2 – среднеквадратичное значение звукового давления, Па;

ρ – плотность среды, $\text{кг}/\text{м}^3$.

c – скорость звука в среде, м/с.

Для воздуха при температуре 20°C: $\rho = 1,20 \text{ кг}/\text{м}^3$, $c = 344 \text{ м}/\text{с}$;

ρc – удельное акустическое сопротивление среды, для воздуха при нормальных атмосферных условиях $\rho c = 410 \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}$.

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 (Вт/м²) следующим соотношением:

$$W = \oint I(S) dS$$

где S – поверхность, через которую проходит поток звуковой энергии.

Если принять, что в свободном звуковом поле (т.е. при отсутствии отраженных звуковых волн) источник шума излучает звуковую энергию равномерно по всем направлениям (что допустимо для многих машин и оборудования), то при достаточно большом расстоянии r от источника шума, расположенном на поверхности пола (т.е. при излучении в полусферу), звуковая мощность:

$$W = I_{cp} S = I_{cp} 2\pi r^2, \quad (11.2)$$

где I_{cp} - интенсивность звука, усредненная по измерениям звукового давления по нескольким точкам на измерительной поверхности S в виде полусферы радиусом r (рис. 11.1).



Рис. 11.1. Схема источника шума

Степень восприятия зависит от амплитуды звукового колебания. 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.

Значения звукового давления, интенсивности звука и звуковой мощности изменяются в очень широких пределах. Поэтому для объективной оценки характеристик шума и источников шума были введены логарифмические величины – уровни звукового давления, уровни интенсивности звука и уровни звуковой мощности. Все эти величины измеряются в децибелах (дБ).

Уровень звукового давления:

$$L_P = 10 \lg(P^2/P_0^2) = 20 \lg(P/P_0), \quad (11.3)$$

где P^2 - среднеквадратичная величина существующего (измеряемого в данный момент звукового давления, Па);

P_0^2 - пороговое значение звукового давления, равное $2 \cdot 10^{-5}$ Па на частоте 1000 Гц.

Уровень интенсивности звука определяют по формуле:

$$L_I = 10 \lg(I/I_0), \quad (11.4)$$

где I - существующая в данный момент интенсивность звука, Вт/м²;

I_0 - интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости ΔP_0 на частоте 1000 Гц ($I_0 = 10^{-12}$ Вт/м²) и выбранная таким образом, чтобы при нормальных атмосферных условиях (ρ, c_0) уровни звукового давления были равны уровням интенсивности, так как интенсивности при нормальных атмосферных условиях

$$I = P^2/2\rho c \quad \text{и} \quad I_0 = P_0^2/2\rho_0 c_0. \quad (11.5)$$

При нормальных атмосферных условиях $L_P = L_I = L$. 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.

Уровень звуковой мощности источника шума:

$$L_W = 10 \lg(W/W_0), \quad (11.6)$$

где W – звуковая мощность источника шума, Вт,

W_0 – пороговая звуковая мощность, $W_0 = 10^{-12}$ Вт.

Для того чтобы сравнивать шум различных источников друг с другом, производить расчеты уровней звукового давления в помещениях и на территориях, необходимо знать объективные характеристики источников шума.

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.

Искомый октавный уровень звуковой мощности L_W определяют по результатам измерения уровней звукового давления L_P в точках на измерительной поверхности S (м²), за которую обычно принимается площадь полусферы (на расстоянии 1 м от контура источника шума до точек измерений):

$$L_W = L_{Pcp} + 10 \lg(S/S_0) \quad (11.7)$$

где L_{Pcp} – средний уровень звукового давления по ряду точек на измерительной поверхности S (м²); $S_0 = 1$ м²:

$$L_{P_{cp}} = 10 \lg \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{Pi}} \right) \quad (11.8)$$

Источники шума часто излучают звуковую энергию неравномерно по направлениям. Эта неравномерность излучения характеризуется коэффициентом $\Phi(\phi)$ – фактором направленности.

Фактор направленности $\Phi(\phi)$ показывает отношение интенсивности звука $I(\phi)$, создаваемого источником в направлении с угловой координатой ϕ к интенсивности I_{cp} , которую развил бы в этой же точке ненаправленный источник, имеющий ту же звуковую мощность и излучающий звук во все стороны равномерно:

$$\Phi(\phi) = \frac{I(\phi)}{I_{cp}} = \frac{P^2(\phi)}{P_{cp}^2} \quad (11.9)$$

где: P_{cp} – звуковое давление (усредненное по всем направлениям на постоянном расстоянии от источника); $P(\phi)$ – звуковое давление в угловом направлении ϕ , измеренное на том же расстоянии от источника.

Характеристику направленности излучения можно описать через соответствующие уровни в дБ:

$$G(\phi) = 10 \lg \Phi(\phi) = 10 \lg \frac{I(\phi)}{I_{cp}} = 20 \lg \frac{P(\phi)}{P_{cp}} = L - L_{cp} \quad (11.10)$$

Найденные значения L уровней сравнивают с допустимыми по нормам $L_{доп}$, (см. табл.1) и определяют требуемое снижение шума $\Delta L_{треб}$ (дБ) в каждой из восьми октавных полос

$$\Delta L_{треб} = L - L_{доп}.$$

Нормирование шума

В соответствии с действующими нормативными документами, нормируемыми показателями шума на рабочих местах являются:

- эквивалентный уровень звука A за рабочую смену – эквивалентный уровень звука A , измеренный или рассчитанный за 8 ч рабочей смены, с учетом поправок на импульсный и тональный шум;
- максимальный уровень звука A – это наибольшая величина уровня звука, измеренная на заданном интервале времени со стандартными временными коррекциями S (медленно, $\phi = 1$ с) и I (импульс, $\phi = 40$ мс);

- пиковый скорректированный по С уровень звука – это десять десятичных логарифмов отношения квадрата пикового звукового давления, измеренного с использованием стандартизированной частотной коррекции, к квадрату опорного звукового давления.

Превышение любого нормируемого параметра считается превышением ПДУ.

Нормативным эквивалентным уровнем звука на рабочих местах является 80 дБА.

При сокращенном рабочем дне (менее 40 ч в неделю) предельно допустимые уровни применяются без изменения.

Максимальные уровни звука А, измеренные с временными коррекциями S и I, не должны превышать 110 дБА и 125 дБА соответственно.

Пиковый уровень звука С не должен превышать 137 дБС.

В случае превышения уровня шума на рабочем месте выше 80 дБА, работодатель должен провести оценку риска здоровью работающих и подтвердить приемлемый риск здоровью работающих.

Работы в условиях воздействия эквивалентного уровня шума выше 85 дБА не допускаются.

При воздействии шума в границах 80 – 85 дБА работодателю необходимо минимизировать возможные негативные последствия путем выполнения следующих мероприятий:

а) подбор рабочего оборудования, обладающего меньшими шумовыми

характеристиками;

б) информирование и обучение работающего таким режимам работы с оборудованием, которое обеспечивает минимальные уровни генерируемого шума;

в) использование всех необходимых технических средств (защитные экраны, кожухи, звукопоглощающие покрытия, изоляция, амортизация);

г) ограничение продолжительности и интенсивности воздействия до уровней приемлемого риска;

д) проведение производственного контроля виброакустических факторов;

е) ограничение доступа в рабочие зоны с уровнем шума более 80 дБА работающих, не связанных с основным технологическим процессом;

ж) обязательное предоставление работающим средств индивидуальной защиты органа слуха;

з) ежегодное проведение медицинских осмотров для лиц, подвергающихся шуму выше 80 дБ.

Уровни звукового давления в октавных полосах частот не являются нормируемыми параметрами, рассматриваются как справочные

материалы, которые могут использоваться для подбора СИЗ, разработки мер профилактики и т.п.

Способы защиты от шума

По отношению к источнику возбуждения шума коллективные средства защиты подразделяются на средства, снижающие шум в источнике его возникновения, и средства, снижающие шум на пути его распространения от источника до защищаемого объекта. Снижение шума в источнике осуществляется за счёт улучшения конструкции машины или изменения технологического процесса.

Изменение направленности излучения шума. В ряде случаев величина показателя направленности G достигает 10 – 15 дБ, что необходимо учитывать при использовании установок с направленным излучением, ориентируя эти установки так, чтобы максимум излучаемого шума был направлен в противоположную сторону от рабочего места.

Рациональная планировка предприятий и производственных помещений позволяет снизить уровень шума на рабочих местах за счёт увеличения расстояния до источников шума. При планировке территории предприятий наиболее шумные помещения должны быть сконцентрированы в одном – двух местах. Расстояние между шумными и тихими помещениями должно обеспечивать необходимое снижение шума.

Акустическая обработка помещения – это облицовка части внутренних ограждающих поверхностей звукопоглощающими материалами, а также размещение в помещении штучных поглотителей, представляющих собой свободно подвешиваемые объёмные поглощающие тела различной формы.

Звукоизоляция достигается созданием герметичной преграды на пути распространения воздушного шума в виде стен, кабин, кожухов, экранов.

Звукоизолирующие свойства ограждения, установленного на пути распространения звука, характеризуются величиной, называемой звукоизоляцией ограждения. Эффективность снижения шума звукоизоляцией определяется звукоизолирующими свойствами материала преграды, площадью, толщиной и массой преграды, отсутствием отверстий и щелей, частотой изолируемого звука. Чем больше масса конструкции, тем лучше её изолирующие свойства, и чем выше частота изолируемого звука, тем больше эффект звукоизоляции при той же массе конструкции.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) применяются в том случае, если другими способами обеспечить допустимый уровень шума на

рабочем месте не удаётся. СИЗ включают в себя противошумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

Таблица 11.1

Предельно допустимые уровни звукового давления, звука и эквивалентного уровня звука на рабочих местах

Наименование показателя	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука и эквивалентный уровень звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Выполнение всех видов работ на рабочих местах	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Описание лабораторной установки и приборов

На лабораторном стенде размещён электродвигатель, включающийся посредством вращения ручки, расположенной на основании. На расстоянии 1 м от электродвигателя находится микрофон, укрепленный на подвижной стойке. Измерение уровня шума электродвигателя производится с разных точек посредством отклонения подвижной стойки микрофона.

Разные уровни шума получаются изменением скорости вращения электродвигателя, что достигается изменением напряжения, питающего электродвигатель. **Напряжение U (В) устанавливается не более 30 В.**

Измеритель уровня шума и вибрации ВШВ-1 предназначен для измерения действующих значений уровней звукового давления, виброускорения, виброскорости в октавных полосах частот уровней звука по частотным характеристикам А, В, С и ЛИН (линейной). Инструкция для работы с шумомером находится в Приложении 1.

Указания по технике безопасности

1. Не включать стенд без проверки преподавателем.
2. При обнаружении неисправности в работе электродвигателя или шумомера прекратить работу и сообщить об этом преподавателю.

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с инструкцией по использованию шумомера (Приложение 1). Включить шумомер и убедиться в его работоспособности. Произвести начальную установку переключателей и кнопок на передней панели прибора:

- Род работы в положение S.

- Переключатель ФТЛ в положение ОКТ.
 - Все кнопки в нижнем ряду должны быть отжаты (кГц)
2. Измерить спектры шума (шумовой фон) при отключённом электродвигателе. Полученные данные занести в табл.11.2
 3. Включить электродвигатель. Измерить спектры шума при четырёх положениях микрофона (вращая стойку). Результаты измерений занести в табл. 11.2.
 4. Отключить электродвигатель и шумомер.

Таблица 11.2

Измеренные и расчётные параметры	Уровни в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Шумовой фон, L_{ϕ}								
Точка 1, L_1								
Точка 2, L_2								
Точка 3, L_3								
Точка 4, L_4								
$L_{\text{ср}}$ (по 4-м точкам)								
$\Delta L = L_{\text{ср}} - L_{\phi}$								

5. Определить средний уровень звукового давления $L_{\text{ср}}$ в каждой октавной полосе по четырём измерениям (табл.11.2).
6. Сравнить средний уровень звукового давления $L_{\text{ср}}$ с уровнем шумового фона L_{ϕ} . $\Delta L = L_{\text{ср}} - L_{\phi}$ (табл.11.2).
7. Вычислить октавные уровни звуковой мощности L_W по формуле (11.7). Этот спектр октавных уровней звуковой мощности L_W является шумовой характеристикой электродвигателя (табл.11.2).
8. Построить шумовую характеристику электродвигателя. Для этого необходимо рассчитать границы октавных частотных полос и нанести их в полулогарифмических координатах, с обозначением границ октавных полос.
9. Сравнить измеренные значения уровней звукового давления с допустимыми по норме (табл. 11.1) и вынести предложения о проведении необходимых мероприятий по обеспечению безопасности работников.

Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

1. Результаты измерения спектров шума (табл. 11.2).
2. Вычисления среднего уровня звукового давления в каждой октавной полосе по результатам измерений шума в 4-х точках (табл.11.2).

3. Сравнение полученных средних уровней звукового давления с уровнем шумового фона в каждой октавной полосе. Для дальнейшего расчёта уровня звуковой мощности выделить средние уровни звукового давления шума электродвигателя, 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 занести в табл.11.2.

5. Графическую зависимость среднего уровня звукового давления от среднегеометрической частоты октавных полос в полулогарифмических координатах, с обозначением границ октавных полос.

6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какая полоса частот называется октавной?
2. Что такое среднегеометрическая частота октавной полосы?
3. Что такое спектр шума?
4. Что такое звуковое давление, пороговое значение звукового давления?
5. Как определяются уровни звукового давления, интенсивности, звуковой мощности?
6. Как производится нормирование шума?
7. Что такое шумовая характеристика источника?
8. Как изменится уровень звукового давления одного и того же источника шума в открытом пространстве и в помещении?

Литература

3. Основы производственной санитарии. Часть 1. Виброакустика: учеб. пособие / Л.Н. Копылова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
4. ГОСТ ССБТ. 12.1.003-14 ШУМ. Общие требования безопасности.
5. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

ИНСТРУКЦИЯ ПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЕМ ШУМА ВШВ-003-M2

ВШВ-003-M2 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-M2 состоит из измерительного блока с индикатором и микрофонного блока.

Микрофонный блок закреплён 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 её 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), (10kHz, 4kHz), (kHz, Hz), (СВ, ДИФ);
- разъёмы калибровочного напряжения 50 мВ и входа микрофонного блока.

1. Включение и установка переключателей прибора ВШВ-003-M2 для измерения уровня шума

На лабораторном стенде прибор ВШВ-003-M2 подключён к сети 220В. 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) измерение суммарного уровня шума в дБ во всём 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, отжатая кнопка – шкале частот, обозначенных синим цветом.

Примечание: измерение должно проводиться при отжатых кнопках (a, V), (10kHz, 4kHz), (CB, 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 установки переключателем *ФЛТ ОКТ*, установки переключателями ДЛТ1 и ДЛТ2 ожидаемого уровня шума⁵ 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 индицируется соответствующим светящимся светодиодом.

Если ожидаемый уровень шума в десятках дБ выставлен правильно, то стрелка прибора находится в пределах от -5 дБ до +10дБ. 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 дБ⁶ (с учётом знака + или -).

⁵ Ожидаемый уровень шума весьма расплывчатая формулировка, поэтому рекомендуется вначале уровень шума завысить, например, до 70 дБ, а затем в процессе измерения его понижать.

⁶ или в дБА при установке переключателя *ФЛТ Hz* в положении *А*

При заниженном установленном уровне шума по сравнению с реальным измеряемым шумом стрелка прибора зашкаливает вправо ($> +10\text{дБ}$), а при слишком большой ошибке, т.е. при перегрузке прибора горит светодиод ПРГ. При завышенном установленном уровне шума стрелка прибора находится в близком к крайнему левому положению ($< -5\text{ дБ}$). 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 10дБ до погасания сигнала ПРГ и возвращения стрелки прибора на участок шкалы (-5 дБ , $+10\text{ дБ}$).

При показаниях стрелочного прибора менее -5 дБ переключателями ДЛТ1 либо ДЛТ2 следует уменьшить суммарный уровень до возвращения стрелки прибора на участок шкалы (-5 дБ , $+10\text{ дБ}$).

Пример 1: 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 войдёт в сектор (-5дБ , $+10\text{дБ}$). Пусть это произошло при значении переключателей ДЛТ1 и ДЛТ2 равном 40 дБ . Показания стрелочного прибора равны (-7 дБ). Измеренный результат равен $40 - 7 = 33\text{ дБ}$. Проверим этот результат. Для этого уменьшим с помощью ДЛТ1 и ДЛТ2 уровень измерения до значения 30 дБ . Стрелка прибора показывает ($+3\text{ дБ}$). Измеренный результат равен $30\text{ дБ} + 3\text{ дБ} = 33\text{ дБ}$. То есть 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 её среднюю тенденцию положения. Следует найти такое положение переключателей ДЛТ1 и ДЛТ2, чтобы стрелка прибора, даже если она «пляшет», находилась в области положительных значений шкалы ($0 - 10\text{ дБ}$), а показания по шкале стрелочного прибора следует брать такие, где стрелка находится наиболее долго или имеется возможность обозначить диапазон её отклонений и определить среднее значение этого диапазона.

Лабораторная работа № 12

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОГО УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

Цель работы

1. Оценить эффективность устройства защитного отключения (УЗО), реагирующего на дифференциальный ток, в однофазной сети промышленной частоты с глухозаземленной нейтралью напряжением 380/220 В.

2. Оценить эффективность УЗО, реагирующего на ток нулевой последовательности, в трёхфазных сетях промышленной частоты с глухозаземлённой и изолированной нейтралью напряжением 380/220 В.

Содержание работы

Часть I. Оценка эффективности устройства защитного отключения (УЗО), реагирующего на дифференциальный ток, в однофазной сети промышленной частоты с глухозаземленной нейтралью напряжением 380/220 В.

1. Определение максимального отключающего дифференциального тока ($I_{\Delta\text{откл}}$) и сравнение его с уставкой ($I_{\Delta n}$) исследуемого УЗО.

2. Определение эффективности УЗО при прямом прикосновении вне зоны защиты.

3. Определение эффективности УЗО при косвенном прикосновении в зоне действия УЗО (при отсутствии защитного заземления электропотребителя)/

4. Определение эффективности УЗО при косвенном прикосновении в зоне действия УЗО (электропотребитель заземлен).

Часть II. Оценка эффективности УЗО, реагирующего на ток нулевой последовательности, в трёхфазных сетях промышленной частоты с глухозаземлённой и изолированной нейтралью напряжением 380/220 В.

1. Определение отключающего дифференциального тока ($I_{\Delta\text{откл}}$) и сравнение его с уставкой ($I_{\Delta n}$) исследуемого УЗО.

2. Определение эффективности УЗО при косвенном прикосновении в зоне действия УЗО (электропотребитель не заземлен) в сети с изолированной нейтралью.

3. Определение эффективности УЗО при косвенном прикосновении в зоне действия УЗО (электропотребитель заземлен) в сети с изолированной нейтралью.

Введение

Устройство защитного отключения представляет собой быстродействующую защиту, предназначенную для автоматического отключения защищаемого участка сети при возникновении на этом участке опасности поражения человека током.

Информацию об опасности поражения несёт 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.

Следует отметить, что 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 электроприёмник, обусловленную протеканием части рабочего тока (тока утечки):

- через человека при прикосновении его к фазному проводнику;
- через защитный проводник при повреждении изоляции электроприёмника;
- при снижении сопротивления изоляции.

Таким образом, термин дифференциальный ток распространяется на трёхфазные 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 тоже время для анализа трёхфазных 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.

УЗО, реагирующие на дифференциальный ток однофазных электроприёмников

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 тороидального 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 электроприёмник, 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 ДТТ, наводят противоположно 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 будут равны и взаимно скомпенсированы, а ток во вторичной цепи ДТТ (I_{BT}) будет отсутствовать.

В случае прикосновения человека к фазе ток I_2 будет разветвляться (т. А на рис. 12.1, б) на ток I_1 и ток, протекающий через человека (I_h). Контур протекания тока I_h обозначен на рис. 12.1, а пунктиром. 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_{BT} , 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 через человека I_h , дифференциальный ток I_Δ и ток во вторичной обмотке I_{BT} :

$$I_h = I_\Delta = k_T I_{BT} \quad (12.2)$$

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 в блоке, осуществляющем сравнение фиксируемого с помощью ДТТ дифференциального тока со значением дифференциального тока срабатывания (уставкой). Блок сравнения (блок 2, рис. 12.1,а), выполняется на базе пороговых электромеханических или электронных компонентов. В случае превышения порогового значения подается сигнал на отключающий механизм 3 (рис. 12.1,а), который разрывает электрическую цепь за время, не превышающее допустимое значение для ожидаемого тока через человека. При этом время отключения ($T_{откл}$) 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 электроприёмников (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 электроприёмника. 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 электроприёмника с повреждённой изоляцией, то это равносильно отсутствию сопротивления R_h в схеме на рис. 12.1, б. Следовательно, токи I_1 и I_2 , магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 будут равны между собой и ток во вторичной обмотке ДТТ будет отсутствовать. Поэтому для питания однофазных электроприёмников в жилых и общественных зданиях следует использовать трёхпроводные линии: фазный, нулевой рабочий проводник и нулевой защитный проводник (система TN-C-S и TN-S, рис. 12.2,а).

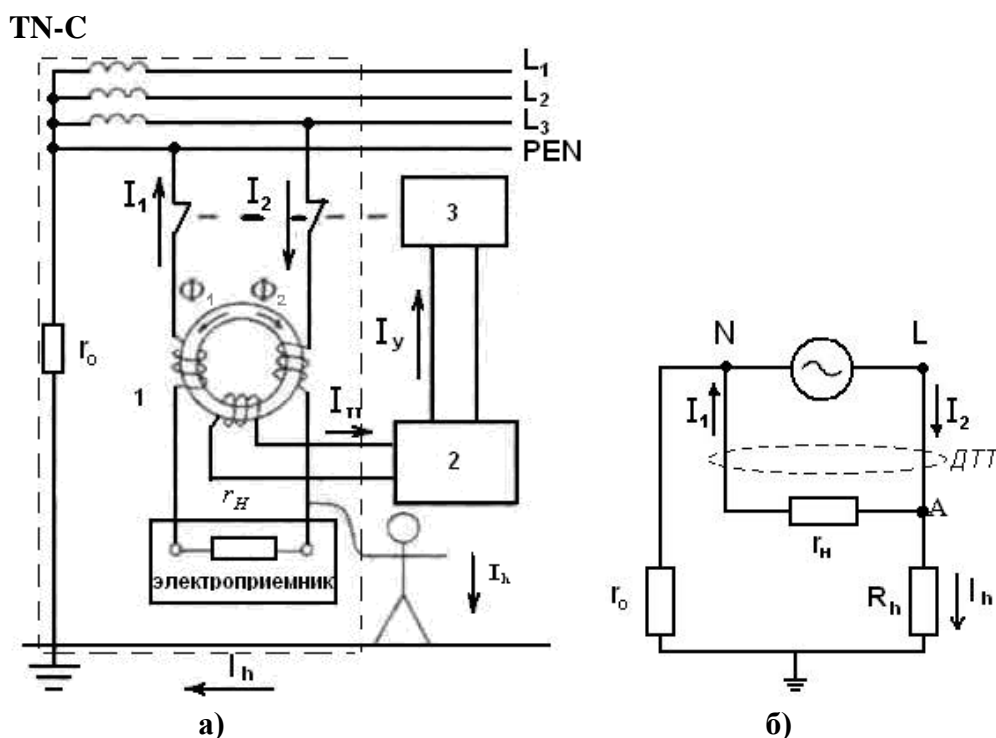


Рис. 12.1. Действие устройства защитного отключения в случае прикосновения человека к фазному проводнику

(r_0, r_H, R_h - сопротивления заземлителя нейтрали, нагрузки, тела человека, соответственно; Φ_1 и Φ_2 - магнитные потоки в сердечнике, наводимые токами I_1 и I_2 соответственно):

а) принципиальная схема УЗО (1 - дифференциальный трансформатор тока с тороидальным магнитопроводом; 2 - блок сравнения дифференциального тока с уставкой; 3 - отключающий механизм);

б) эквивалентная схема сети, где установлено устройство защитного отключения, при прикосновении человека к повреждённому электроприёмнику ($I_\Delta = I_h = I_2 - I_1$)

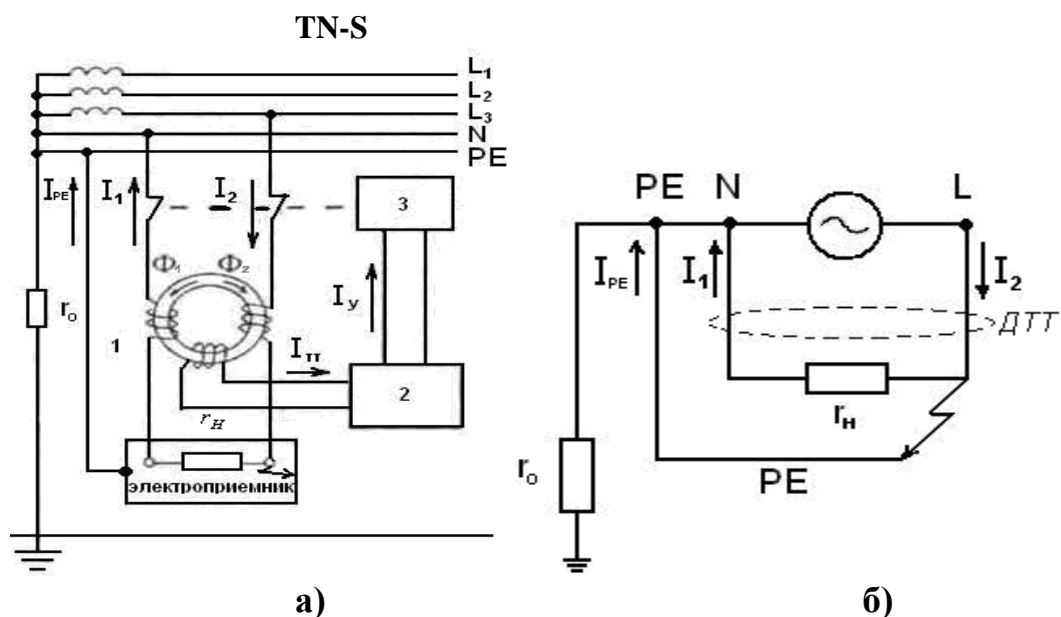


Рис. 12.2. Действие устройства защитного отключения при подключении корпуса к РЕ-проводнику: а) принципиальная схема УЗО (1 - дифференциальный трансформатор тока с тороидальным магнитопроводом; 2 - блок сравнения дифференциального тока с уставкой; 3 - отключающий механизм); б) эквивалентная схема работы устройства защитного отключения при подсоединении корпуса электроприёмника к РЕ-проводнику ($I_{\Delta} = I_{PE} = I_2 - I_1$)

Как следует из рис. 12.2,а, при соединении корпуса электроприёмника с нулевым защитным РЕ-проводником, ток короткого замыкания или ток утечки будет протекать по РЕ-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.

Для контроля работоспособности УЗО создается обходной, относительно ДТТ, контур тока, включающий кнопку «Тест» и токоограничивающее сопротивление R (рис.12.3).

УЗО 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, который 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 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. Практически, современные УЗО срабатывают за время не более 30 мс.

Таблица 12.1

**Зависимость времени отключения УЗО
от кратности дифференциального тока**

Время отключения T_n , с			
$I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$	500А
0,3	0,15	0,04	0,04

УЗО используется как для однофазных электроприёмников (двухполюсные УЗО), так и для трёхфазных электроприёмников (четырёхполюсные УЗО) На рис. 12.3 показаны электрические схемы УЗО с условными обозначениями основных функциональных блоков УЗО.

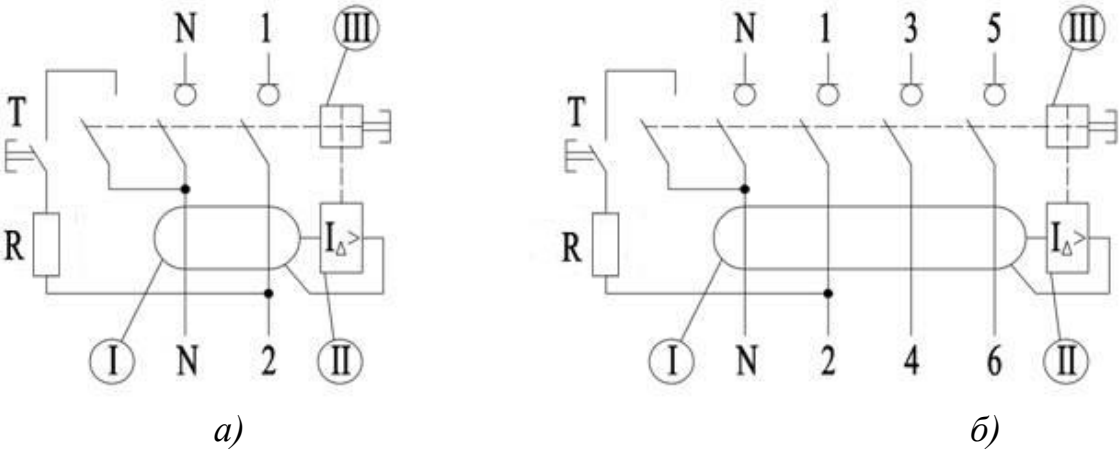


Рис. 12.3 Электрические схемы устройств защитного отключения

a – двухполюсное УЗО; b – 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 УЗО.

Принцип действия УЗО в трёхфазных сетях

Принцип действия УЗО для трёхфазных электроприёмников точно такой же, как и для однофазных электроприёмников. Только в них тороидальный магнитопровод охватывает три фазных проводника, а при необходимости и нулевой рабочий проводник, например, в сетях с глухозаземлённой нейтралью. Для этого используются четырёхполюсные УЗО.

При этом УЗО 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 землёй, векторная сумма рабочих токов (токов, текущих через нагрузку в нормальном режиме) всегда равна нулю.

УЗО этого типа могут применяться в сетях напряжением 127, 220, 380, 500, 660 В независимо от режима нейтрали, однако наиболее эффективно их использование в сетях глухозаземлённой нейтралью.

На рис 12.4 приведена схема сети с таким УЗО, где обозначено:

Э – электроустановка или электроприёмник;

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_o – 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, прикоснувшегося к фазе I в зоне защиты УЗО.

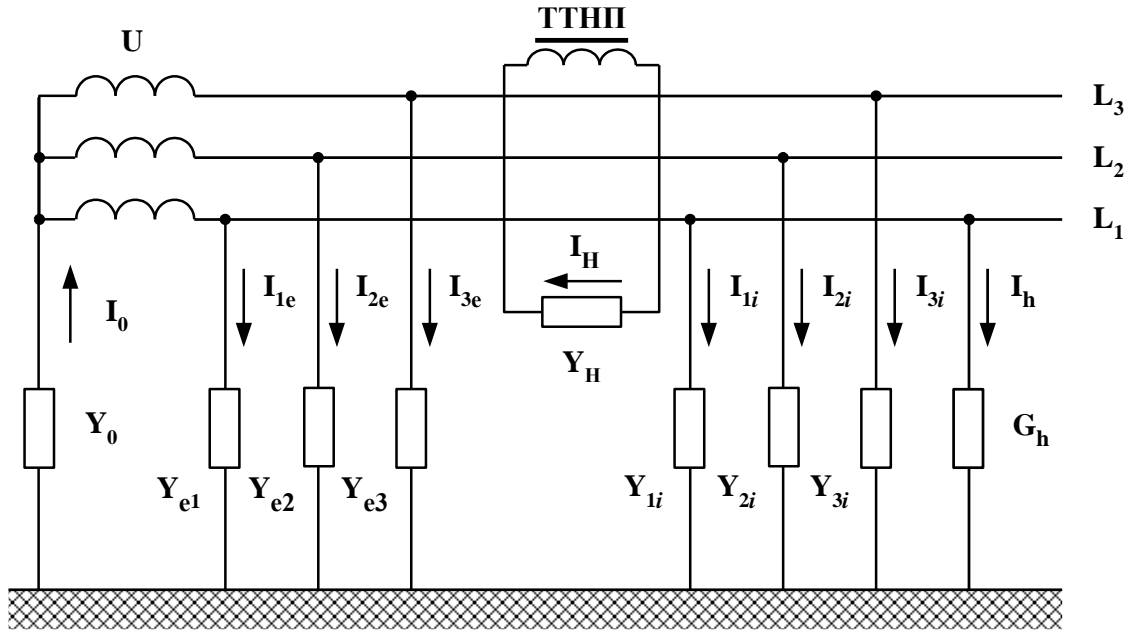


Рис. 12.4. Схема для расчёта уставки

При этом:

$$Y_{1e} = 1/r_{1e} + j \omega C_{1e}; Y_{2e} = 1/r_{2e} + j \omega C_{2e}; Y_{3e} = 1/r_{3e} + j \omega C_{3e};$$

$$Y_{1i} = 1/r_{1i} + j \omega C_{1i}; Y_{2i} = 1/r_{2i} + j \omega C_{2i}; Y_{3i} = 1/r_{3i} + j \omega C_{3i};$$

$$Y_0 = 1/r_0; C_h = 1/R_{hу}; R_{hу} = R_h + R_{\Pi};$$

где:

r_{1e}, r_{2e}, r_{3e} - активные сопротивления изоляции фазных проводников сети вне зоны защиты УЗО;

C_{1e}, C_{2e}, C_{3e} - ёмкости 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} - ёмкости этих проводников относительно земли;

r_0 - активное сопротивление заземления нейтрали;

R_h - сопротивление тела человека;

R_{Π} - переходное сопротивление между человеком и землёй

(обуви, пола и т.п.);

R_{hi} - сопротивление току, протекающему через человека включающего сопротивление тела человека и переходное сопротивление.

Ёмкости фазных проводников относительно земли примерно одинаковы, а в зоне защиты, поскольку, как правило, она невелика, они к тому же еще и малы, то есть $C_{1i} = C_{2i} = C_{3i} = 0$.

Поэтому можно считать, что $Y_{1i} = 1/r_{1i}$; $Y_{2i} = 1/r_{2i}$; $Y_{3i} = 1/r_{3i}$.

В исправной трёхфазной 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 I_{Σ} , являющийся током нулевой последовательности.

Действующее значение тока I_{Σ} на защищаемом участке служит входным сигналом для датчика УЗО - трансформатора тока нулевой последовательности (ТТНП). Значение тока I_{Σ} сравнивается с уставкой I_y в усилителе-преобразователе, который при $I_{\Sigma} \geq I_y$ выдает управляющий сигнал $U_{упр}$ на исполнительный орган УЗО для отключения защищаемого участка от сети.

Трансформатор ТТНП имеет тороидальный магнитопровод, на котором намотана вторичная обмотка, подключенная к входному сопротивлению усилителя-преобразователя. Первичными обмотками трансформатора служат фазные проводники, пропущенные через окно магнитопровода. Если сеть трёхфазная четырёхпроводная (с нулевым проводником) и если при этом наряду с трёхфазной 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.

УЗО рассматриваемого типа будет срабатывать при неравенстве проводимостей фазных проводников относительно земли в зоне защиты, которое может возникнуть:

2. В случае неравенства изоляции фазных проводников;
3. При прикосновении человека к любому фазному проводнику или корпусу изолированного от земли оборудования, на который замкнулся фазный проводник;
4. В случае замыкания любого фазного проводника на землю или на корпус заземлённого оборудования.

Кроме того, УЗО срабатывает при замыкании фазного проводника на занулённый корпус электроустановки, а также при сочетании указанных причин.

Естественно, во всех перечисленных случаях должно выполняться условие $I_{\Sigma} \geq I_y$.

Основная задача УЗО - обеспечить безопасность человека при прикосновении к одной фазе или к корпусу электроустановки, оказавшемуся под опасным напряжением. Это достигается за счет быстросрабатывания УЗО и соответствующего значения уставки.

Таким образом, время срабатывания и уставка являются основными характеристиками УЗО.

При прикосновении к одной фазе защита считается эффективной, если УЗО срабатывает за время, в течение которого ток через человека не превышает значение допустимого тока, соответствующего ГОСТ

12.1.038-82

(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).

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_{1e} + \dot{I}_{2e} + \dot{I}_{3e} + \dot{I}_{1i} + \dot{I}_{2i} + \dot{I}_{3i} + \dot{I}_h$$

Обозначив $\dot{I}_{\Sigma} = \dot{I}_{1i} + \dot{I}_{2i} + \dot{I}_{3i} + \dot{I}_h$, получим

$$\dot{I}_{\Sigma} = \dot{I}_0 - \dot{I}_{1e} - \dot{I}_{2e} - \dot{I}_{3e}$$

Из схемы (рис.12.4) видно, что ТТНП будет реагировать только на токи утечки в зоне защиты. Следовательно, УЗО, реагирующее на ток нулевой последовательности, является селективной защитой. При этом входной сигнал будет равен векторной сумме токов утечки в зоне защиты и тока 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 ($I_{\Sigma} = 0$). 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 учётом выражений (12.3) и (12.4) запишем:

$$I_H = k[I_0 - (I_{1e} + I_{2e} + I_{3e})] \quad (12.5)$$

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

$$I_H = k \cdot U \cdot G_h \frac{Y_0 + 3Y_e}{Y_0 + 3Y_e + 3Y_i + G_h} \quad (12.6)$$

Из выражения (12.4) 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 учётом выражения 12.4).

$$I_\Sigma = I_h \frac{3Y_e}{3Y_e + 3Y_i + G_h} \quad (12.7)$$

Из выражения (12.7) видно, что в сети с изолированной нейтралью уставка должна выбираться в зависимости от соотношения проводимостей Y_e и Y_i , то есть 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 заземлённой 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 заземлённой 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 время (с) воздействия электрического тока на человека. Для токов промышленной частоты (50 Гц) эта зависимость задана таблицей в ГОСТ 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 через человека в сети (с учётом 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):

$$I_{h\text{ max}} = \frac{\sqrt{3}U}{R_h} = \sqrt{3}UG_h,$$

в сети с заземлённой нейтралью

$$I_{h\text{ max}} = \frac{U}{R_h} = UG_h,$$

где – R_h сопротивление тела человека (расчётное 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 будет также 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 номинальным напряжением 380/220 В.

В качестве источника питания используется трёхфазный разделительный трансформатор. Включение сети осуществляется кнопкой аварийного останова. При этом загорится сигнальная лампа L_1 на лицевой панели стенда и через минуту включится панель сенсорного управления.

Лабораторная установка позволяет исследовать сети однофазного и трёхфазного тока. Однофазной электрической сетью принято условно называть сеть, в которой питание потребителя осуществляется от одной фазной линии и линии нулевого рабочего проводника. Выбор сети осуществляется включением соответствующей клавиши на сенсорной панели. Сопротивление заземления нейтрали источника – $R_0 = 4$ Ом.

Сопротивления изоляции фазных проводников относительно земли смоделированы сосредоточенными сопротивлениями R_1 и R_2 . Значение сопротивления R_1 устанавливается на сенсорной панели. Величина переменного сопротивления R_2 изменяется плавным поворотом ручки потенциометра « R_2 », расположенного на лицевой панели стенда.

Для защиты сети от токов короткого замыкания и перегрузки используются автоматические выключатели QF5 и QF6, установленные на лицевой панели.

Выбор режима нейтрали сети (с глухозаземлённой или изолированной), подключения электроприёмников к заземлителю, количества фаз для питания электроприёмника, установка сопротивлений изоляции осуществляется с помощью сенсорной панели путем прикосновения к соответствующим клавишам.

В работе используются четыре двухполюсных УЗО, реагирующих на дифференциальный ток. Выбор типа УЗО осуществляется его

включением в соответствии с заданием. Входной сигнал, превышающий значение уставки УЗО фиксируется на сенсорной панели.

Установка позволяет исследовать работу УЗО при режимах, соответствующих заземлённому и изолированному от земли корпусу электроприёмника. Выбор соответствующего режима осуществляется с помощью сенсорной панели. Сопротивление защитного заземления смоделировано резистором $R_3 = 10 \text{ Ом}$.

В лабораторной установке имитируется подключения человека к различным частям электроустановки, которые находятся под напряжением. Выбор места подключения осуществляется нажатием соответствующих клавиш на сенсорной панели, например, прямое или косвенное прикосновение. Сопротивление тела человека « R_h » можно устанавливать равным 1, 5, 10 кОм.

На сенсорной панели стенда отображаются результаты экспериментов в виде либо тока через сопротивление изоляции фазных проводов относительно земли в зоне защиты I_2 , мА, либо тока через тело человека I_h , мА.

Указания по технике безопасности

1. Для проведения работы стенд должен быть исправен. Если замечена какая-либо неисправность, то работа должна быть немедленно прервана и о неисправности сообщено преподавателю.

2. Запрещается снимать панели стенда и прикасаться к токоведущим частям электроустановки. Наличие напряжения на стенде показывает сигнальная лампа, расположенная в верхнем левом углу передней панели.

3. Сборка схемы должна производиться в точном соответствии с заданием.

4. Перед тем как приступить к выполнению работы, автоматические выключатели АВ₁, АВ₂, а также все УЗО должны быть переведены в положение «0» и в дальнейшем включаться только в соответствии с заданием.

5. После окончания работы все автоматические выключатели и УЗО должны быть отключены. Отключение стенда от сети осуществляется кнопкой аварийного останова.

Порядок проведения работы

Часть I

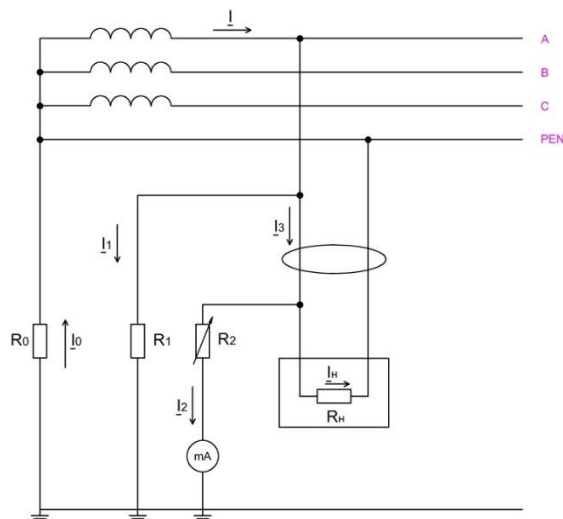
Оценка эффективности УЗО в однофазных цепях сети с глухозаземлённой нейтралью напряжением 380/220 В.

1. Подготовка стенда.

1.1 Включить лабораторный стенд красной кнопкой «Аварийный останов» (лёгким поворотом по часовой стрелке), дождитесь загрузки сенсорной панели.

1.2 После высвечивания функций стенда, на сенсорной панели нажать на клавишу «Перейти к опытам в однофазной сети».

2. Определение максимального отключающего дифференциального тока ($I_{\Delta \text{откл}}$) и сравнение его с уставкой ($I_{\Delta \text{н}}$) исследуемого УЗО.



2.1. Установите с помощью сенсорной панели:

2.1.1. «Режим нейтрали глухозаземлённая»;

2.1.2. «Корпус электроустановки изолирован»;

2.1.3. «Сопротивление изоляции R1»;

2.1.4. «Определение уставки срабатывания».

2.2. Включите автоматический выключатель QF5.

2.3. Согласно номеру бригады из табл. 12.2 выберите и включите исследуемое УЗО на панели стенда.

Таблица 12.2

**Задание по оценке эффективности УЗО в однофазной сети
380/220В с глухозаземлённой нейтралью**

№ бригады	Тип УЗО	R_1 , кОм	$K_{зап}$
1	FD1	10; 50	1,5
2	FD2	25; 100	2
3	FD3	50; 200	2,5
4	FD4	10; 100	3
5	FD1	25; 200	3,5
6	FD2	10; 200	4
7	FD3	25; 50	4,5
8	FD4	25; 200	5

2.4. Установите на сенсорной панели значение сопротивления изоляции вне зоны защиты (R_1) согласно задания (табл. 12.2).

2.5. Поверните ручку потенциометра R_2 , моделирующего сопротивления изоляции в зоне защиты, в крайнее правое положение. Нажмите сенсорную клавишу «Начать опыт» и медленно вращая ручку потенциометра R_2 влево (против часовой стрелки) дождитесь срабатывания УЗО и зафиксируйте показание амперметра в табл. 12.3.

2.6. Повторите опыты при другом значении R_1 согласно задания (табл. 12.2).

2.7. Рассчитайте значения R_2 , при котором произошло срабатывание УЗО.

2.8. Результаты значений занесите в табл. 12.3.

2.9. Сравните минимальное значение отключающего дифференциального тока с уставкой ($I_{\Delta n}$), указанной на исследуемом УЗО.

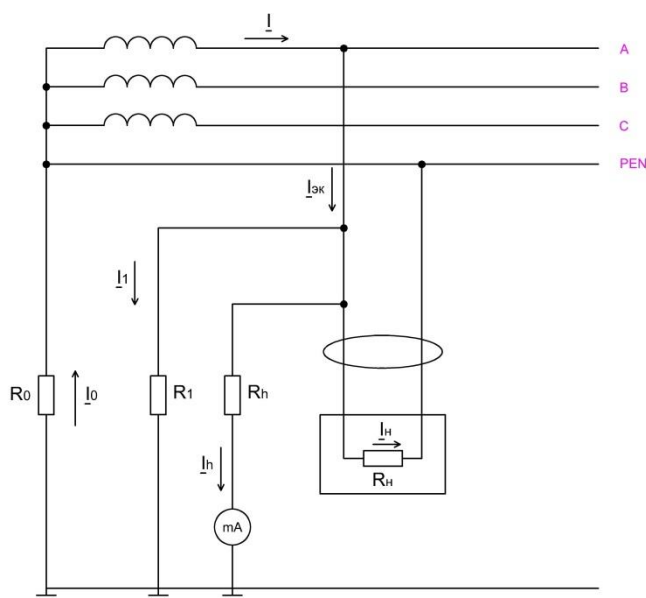
2.10. По полученным результатам сделайте вывод.

Таблица 12.3

Зависимость отключающего дифференциального тока от сопротивлений изоляции в зоне защиты (R_2) и вне зоны защиты (R_1)

R_1 , кОм	R_2 , кОм (расчётное значение)	$I_{\Delta n}$, мА	$I_{\Delta откл}$, мА

3. Определение эффективности УЗО при прямом прикосновении вне зоны защиты, т.е. до расположения УЗО.



3.1. Нажмите сенсорную клавишу «Прямое прикосновение вне зоны действия УЗО», проверьте чтобы корпус электропотребителя на схеме был изолирован от земли.

3.2. Включите автоматический выключатель QF5 и исследуемое УЗО согласно номеру бригады (табл. 12.2).

3.3. Установите первое значение R_1 согласно задания (табл. 12.2).

3.4. Для всех значений R_h , (поочередно) измерьте ток через человека и оцените действие УЗО. Для этого:

3.4.1. Установите нужное значение R_h на сенсорной панели.

3.4.2. На сенсорной панели нажмите клавишу «Начать опыт».

3.5. Результаты (ток через тело человека и реакцию УЗО) занесите в табл. 12.5.

3.6. По окончании проведения измерений нажмите на сенсорной панели «Остановить»

3.7. С помощью табл. 12.4. оцените ожидаемые реакции человека при измеренных значениях тока и включите их в табл. 12.5.

3.8. Оцените эффективность использования УЗО при прямом прикосновении до места расположения УЗО.

Таблица 12.4

Реакция человека на протекание электрического тока

Ток, мА	Характер воздействия тока	
	Переменный 50-60 Гц	Постоянный
0,6-15	Начало ощущения, лёгкое дрожание пальцев рук.	Не ощущается.
2-3	Сильное дрожание пальцев рук.	Не ощущается.
5-7	Начало судорог в руках.	Зуд, ощущение нагрева.

Ток, мА	Характер воздействия тока	
	Переменный 50-60 Гц	Постоянный
8-10	Руки трудно, но ещё можно оторвать от электродов. Сильные боли.	Усиление нагрева.
20-25	Паралич рук. Дыхание затруднено.	Ещё 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.

Таблица 12.5

Эффективность срабатывания УЗО при прямом прикосновении вне зоны защиты УЗО

Измеряемые параметры	R_h , кОм		
	1	5	10
I_h , мА при $R_1=$			
Срабатывание УЗО (да/нет)			
I_h , мА при $R_1=$			
Срабатывание УЗО (да/нет)			
Ожидаемая реакция человека на протекание тока согласно табл. 12.4			

4. Определите эффективность УЗО при косвенном прикосновении в зоне действия УЗО (корпус не заземлён).

4.1. На сенсорной панели нажмите клавишу «Косвенное прикосновение человека к корпусу», проконтролируйте, чтобы корпус электроустановки оставался изолированным от земли.

4.2. Включите автоматический выключатель QF5 и исследуемое УЗО согласно задания (табл. 12.2).

4.3. Установите значение R_1 согласно задания (табл. 12.2).

4.4. Установите наименьшее значение R_h .

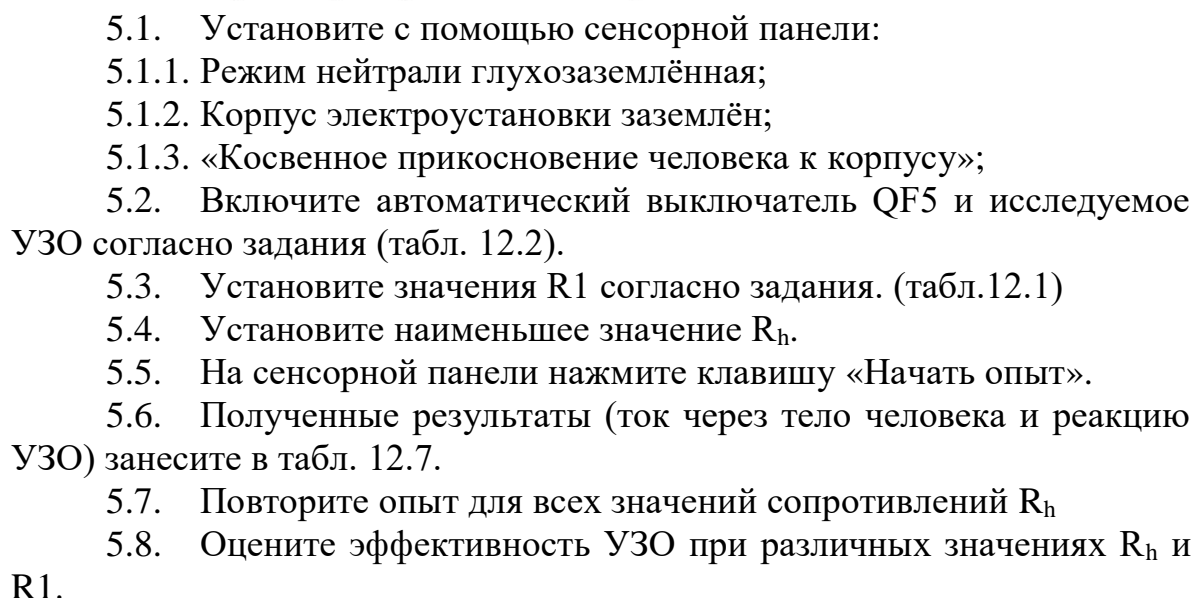
4.5. На сенсорной панели нажмите клавишу «Начать опыт».

4.6. Полученные результаты (ток через тело человека и реакцию УЗО) занесите в табл. 12.6.

4.7. Оцените эффективность УЗО при различных значениях R_h и R_1 .

Оценка эффективности УЗО при косвенном прикосновении в зоне защиты

5. Определите эффективность УЗО при косвенном прикосновении в зоне действия УЗО (корпус заземлён, $R_3=10\text{ Ом}$).



161

Оценка эффективности УЗО при косвенном прикосновении к заземлённому корпусу ($R_3=10\text{ Ом}$)

Измеряемые параметры	$R_h, \text{ кОм}$		
	1	5	10
I_h , мА при $R_1=$			
Срабатывание УЗО (да/нет)			
I_h , мА при $R_1=$			
Срабатывание УЗО (да/нет)			

Часть II.

Оценка эффективности УЗО в трёхфазных сетях напряжением 380/220 В.

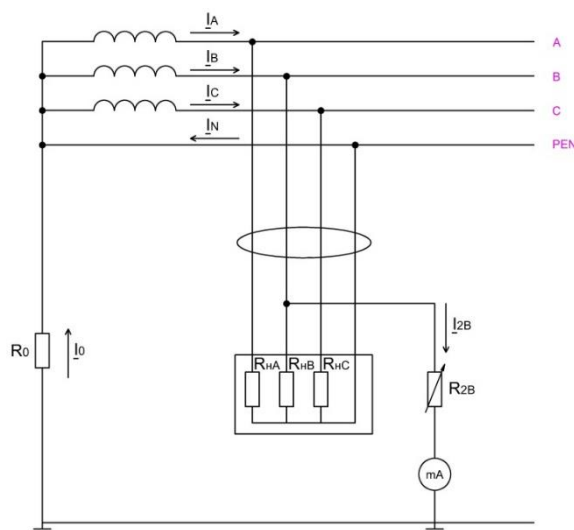
1. Подготовка стенда.

1.1. Если стенд не был отключен, то следует нажать клавишу на сенсорной панели «Назад к списку опытов» и можно переходить к выполнению пункта 1.3.

1.2. Легким поворотом (по часовой стрелке) переведите кнопку «Аварийный останов» в отжатое положение.

1.3. После высвечивания функций стенда, на сенсорной панели нажать на клавишу «Опыты в трёхфазной сети».

2. Определение отключающего дифференциального тока $I_{\Delta\text{откл}}$



2.1. Включите автоматический выключатель QF6 и УЗО FD5.

2.2. Запишите характеристики автоматического выключателя QF6 и УЗО FD5, приведённые на их лицевых панелях.

2.3. С помощью соответствующих клавиш на сенсорной панели установите: «Режим нейтрали – глухозаземленная»; «Корпус изолирован»; «Определение уставки срабатывания».

2.4. Ручку потенциометра R2B поверните в крайне правое положение – при этом сопротивления изоляции относительно земли $R2A = R2C = \infty$

2.5. На сенсорной панели нажмите клавишу «Начать опыт».

2.6. Вращая, ручку потенциометра R2B против часовой стрелки добейтесь срабатывания УЗО и запишите значения отключающего дифференциального тока (опыт проделать не менее трёх раз).

2.7. Результаты измерений занести в табл. 12.8.

2.8. Сравните наименьшее значение отключающего дифференциального тока с его номинальным значением $I_{\Delta n}$ (уставкой), которое приведено на панели УЗО.

2.9. Рассчитайте и занесите в таблицу 12.8 сопротивление изоляции фазного провода относительно земли R2B:

$$R2B = \frac{U_{\phi}}{I_{\Delta \text{откл}}} - R_0 \quad (12.8)$$

2.10. Сделайте выводы о влиянии сопротивления изоляции в зоне защиты на отключающую способность УЗО.

Таблица 12.8

Зависимость значения отключающего дифференциального тока от сопротивлений изоляции фазных проводов относительно земли в зоне защиты

№ п/п	$I_{\Delta n}$, мА	$I_{\Delta \text{откл}}$, мА	R2B, кОм

3. Определите эффективность УЗО при косвенном прикосновении в зоне действия УЗО (корпус не заземлен) для сети с изолированной нейтралью.

3.1. С помощью соответствующих клавиш на сенсорной панели установите: «Режим нейтрали – изолированная»; «Корпус изолирован»; «Сопротивление изоляции R1A, R1B, R1C»; «Косвенное прикосновение человека к корпусу».

3.2. Включите автоматический выключатель QF6 и УЗО FD5.

3.3. Установите наименьшее значение R_h .

3.4. Установите сопротивление изоляции R1A, R1B, R1C согласно таблице 12.9.

3.5. Нажмите клавишу «Начать опыт» на сенсорной панели.

3.6. Полученные результаты занесите в табл.12.9.

3.7. Повторите опыт для всех значений сопротивления изоляции.

3.8. По окончании проведения измерений нажмите на сенсорной панели «Остановить».

3.9. Оцените эффективность УЗО.

Таблица 12.9

R1A, R1B, R1C, кОм	Срабатывание УЗО (да/нет)	I _h , мА
10		
25		
50		
100		

4. Определите эффективность УЗО при косвенном прикосновении в зоне действия УЗО (корпус заземлён).

4.1. Нажмите на сенсорной панели клавиши: «Косвенное прикосновение человека в зоне действия УЗО»; «Корпус заземлён».

4.2. Включите автоматический выключатель QF6 и УЗО .

4.3. Нарисуйте схему данного опыта.

4.4. Установите наименьшее значение R_h.

4.5. Установите сопротивление изоляции R1A, R1B, R1C согласно таблице 12.10.

4.6. Нажмите на сенсорной панели клавишу «Начать опыт».

4.7. Полученные результаты занесите в табл. 12.10.

4.8. Повторите опыт для всех значений сопротивления изоляции.

4.9. По окончании проведения измерений нажмите на сенсорной панели «Остановить».

4.10. Оцените эффективность УЗО.

Таблица 12.10

R1A, R1B, R1C, кОм	Срабатывание УЗО (да/нет)	I _h , мА
10		
25		
50		
100		

Содержание отчёта

1. Принципиальные схемы всех проводимых опытов.
2. Характеристики исследуемых УЗО, приведенные на их панелях с расшифровкой обозначений.
3. Полученные результаты опытов в виде таблиц и отдельных значений.
4. Результаты расчёта сопротивлений изоляции.

5. Выводы и рекомендации по всем полученным в лабораторной работе результатам измерений.

Контрольные вопросы

1. Принцип действия УЗО на дифференциальном токе.
2. Как связан дифференциальный ток с сопротивлением изоляции вне зоны защиты и в зоне защиты УЗО?
3. Какие характеристики УЗО определяют безопасность человека?
4. Как связаны между собой, с точки зрения безопасности, уставка УЗО по дифференциальному току и его быстродействие?
5. Можно ли использовать УЗО для контроля сопротивления изоляции сети?
6. Почему УЗО не срабатывает при прямом прикосновении до места расположения УЗО в сети?
7. Чем обусловлена эффективность УЗО при прямом прикосновении в зоне защиты?
8. Чем обусловлена эффективность УЗО при косвенном прикосновении к заземлённому корпусу?
9. Влияет ли сопротивление изоляции вне зоны защиты (R_1) на эффективность УЗО при прямом и косвенном прикосновении в зоне защиты?
10. Влияют ли на срабатывание УЗО сопротивление изоляции R_1 и R_2 , а также сопротивление человека, если корпус заземлен?
11. Можно ли использовать четырёхполюсные УЗО для однофазных электроприёмников?
12. Как должны быть согласованы по номинальному току УЗО без функции защиты от сверхтоков и автоматический выключатель для обеспечения защиты от токов короткого замыкания?

Литература

1. Основы охраны труда и техники безопасности в электроустановках: учебник для вузов / В.Т. Медведев, Е.С. Колечицкий, О.Е. Кондратьева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015, с. 296 - 321.
2. Долин П.А., Медведев В.Т., Корочков В.В., Монахов А.Ф. Электробезопасность. Теория и практика: учебное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2012. с. 212-242.

Лабораторная работа № 13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУППОВОГО ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ

Цель работы

Освоение методики определения и расчёта удельного электрического сопротивления земли. Определение зависимости коэффициента использования от расстояния между электродами и их количеством. Освоение методов определения сопротивления группового заземлителя.

Содержание работы

1. Измерение сопротивления растеканию тока контрольного зонда. Определение удельного сопротивления грунта с учётом сезонности.
2. Определение зависимости сопротивления группового заземлителя от длины электродов и расстоянием между ними. Получение зависимости коэффициента использования от расстояния между электродами и их длиной.
3. Определение зависимости сопротивления группового заземлителя от количества электродов. Получение зависимости коэффициента использования от количества электродов.
4. Определение сопротивления группового заземлителя.
5. Расчёт сопротивления группового заземлителя и сравнение его с полученными экспериментальными данными.

Сопротивление многослойной земли

При расчёте заземлителей обычно принимают допущения, что земля во всем своем объеме однородна, то есть в любой точке обладает одинаковым удельным сопротивлением ρ , $\text{Ом} \cdot \text{м}$

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.

В последние годы все шире начинает внедряться в практику метод расчёта заземлителей, при котором условно принимается, что земля имеет два слоя, обладающих каждый своим удельным сопротивлением ρ_B и ρ_H (рис.13.1).

При этом верхний слой подвержен непосредственному воздействию погодных условий и его удельное сопротивление ρ_B имеет значительные сезонные колебания, которые подлежат учёту при расчётах заземлителей.

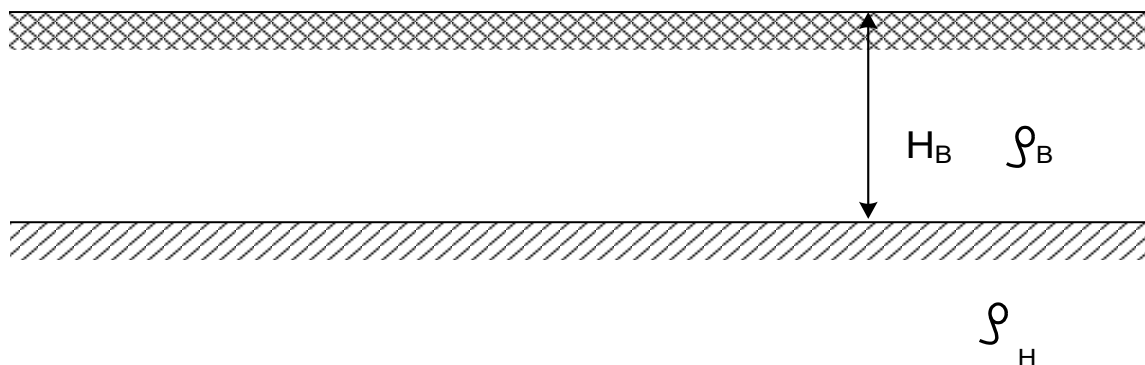


Рис.13.1. Двухслойная модель земли.

ρ_B и ρ_H - удельные сопротивления соответственно верхнего и нижнего слоев земли;

H_B - мощность (толщина) верхнего слоя;

Учёт неоднородности земли, то есть наличия в ней горизонтальных слоев с разными сопротивлениями значительно усложняет расчёт заземлителей. С другой стороны, учёт слоистости земли значительно повышает точность расчёта заземлителей и, следовательно, удешевляет их сооружение.

Удельное сопротивление земли определяется методом 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. После погружения зонда измеряется его сопротивление растеканию тока R , Ом при данной глубине его погружения, то есть длине погруженной в землю части зонда L , м. Затем для значения R вычисляется измеренное удельное сопротивление земли, соответствующее данной глубине погружения зонда, $\text{Ом} \cdot \text{м}$;

$$\rho = R \frac{2\pi L}{\ln \frac{4L}{d}} \quad (13.1)$$

где d – диаметр зонда, м.

Формула (13.1) получена из формулы для вычисления сопротивления стержневого заземлителя круглого сечения;

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d} \quad (13.2)$$

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 определяется по таблице 13.1, после чего по таблице 13.2 определяется толщина слоя сезонных изменений H_c и коэффициент сезонности Ψ .

Расчётные значения удельного сопротивления верхнего слоя грунта, то есть лежащего в пределах H_c , определяются путем умножения вычисленных по (3) ρ на коэффициент Ψ :

$$\rho = \rho_{изм} \cdot \psi \quad (13.3)$$

Все остальные слои (лежащие ниже H_c) считаются не подверженными сезонным изменениям, поэтому их расчётные значения ρ_n оказываются равными измеренным, то есть

$$\rho = \rho_{изм} \quad (13.4)$$

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), °С	от -20 до -15	от -14 до -10	от -10 до 0	от 0 до +5
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	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	Условная толщина слоя сезонных изменений H_c , м	Влажность земли во время измерений ее сопротивления		
		повышенная	нормальная	малая
I	2.2	7.0	4.0	2.7
II	2.0	5.0	2.7	1.9
III	1.8	4.0	2.0	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.

Защитное заземление

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землёй или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциала и т.п.).

Замыкание на корпус – случайное электрическое соединение токоведущих частей с металлическими нетоковедущими частями электроустановки.

Назначение защитного заземления – устранение опасности поражения электрическим током в случае прикосновения к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением.

Заземлители безопасности могут состоять из двух частей: искусственной и естественной. Естественный заземлитель – сторонняя проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землёй непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемая для целей заземления. Естественными заземлителями служат трубы, опоры, фундамент и т.д. Искусственные заземлители выполняются из электродов, заглубленных в грунт.

По условиям безопасности обслуживающего персонала заземление должно обладать сравнительно малым сопротивлением, обеспечить которое можно путем увеличения геометрических размеров одиночного заземлителя (электрода) или применением нескольких параллельно соединенных горизонтальными полосами электродов, именуемых групповым заземлителем.

Используя групповой заземлитель, можно выровнять потенциал на территории, где размещаются заземляющие электроды, что в ряде случаев играет решающую роль в обеспечении безопасности обслуживающего персонала.

Распределение потенциала на поверхности земли при использовании группового заземлителя и значение потенциала самого группового заземлителя (электродов) зависит от количества используемых электродов, их формы и размеров, а также от расстояния между электродами.

При выполнении заземлителей нужно чтобы его сопротивление было не выше нормированной величины, и в тоже время его конструкция была экономически рациональной. Снижение стоимости заземлителя можно получить учитывая при расчёте многослойность земли со слоями разной проводимости. Такой учёт позволяет выполнить расчёт заземлителя с более высокой точностью по сравнению с расчётом, выполненным при предположении однородности грунта. Повышение точности расчёта приводит к снижению стоимости заземлителя.

Сопротивление растекания тока заземлителей зависит от конструктивных особенностей его выполнения: длины и диаметра электродов, их числа и расстояния между ними. При достаточно близком расположении вертикальных электродов друг от друга начинает проявляться эффект их взаимного экранирования, в результате чего результирующее сопротивление группового заземлителя повышается по сравнению с заземлителем такой же конструкции (те же длина, диаметр и количество электродов), но электроды которого расположены на большем расстоянии. Значения коэффициента использования определяются в частях 2 и 3 лабораторной работы.

Расчёт заземлителя

Рассчитать заземление это значит определить необходимое количество вертикальных электродов, при котором сопротивление растекания тока заземлителя будет равно нормированной величине.

Исходными данными являются: нормированное значение сопротивления растекания тока, удельное сопротивление слоев грунта и глубина верхнего слоя, полученные по табличным данным, исходя из климатических характеристик местности, где будет располагаться заземлитель, а так же коэффициента взаимного экранирования.

Сопротивление заземлителя, состоящего из одного вертикального электрода, определяется по формуле (13.5).

$$R = \frac{\rho_{\text{эке}}}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d} \quad (13.5)$$

где L – длина электрода, м.

d – диаметр электрода, м.

$\rho_{\text{эке}}$ – эквивалентное удельное сопротивление земли, Ом·м.

Расчёт эквивалентного удельного сопротивления земли производится по формуле (6) и нужен для учёта влияния двуслойности земли.

$$\rho_{\text{эке}} = \frac{(\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L)}{(\rho_1 \cdot (L - H + t) + \rho_2 \cdot (H - t))} \quad (13.6)$$

где ρ_1 – удельное сопротивление верхнего слоя, Ом·м.

ρ_2 – удельное сопротивление нижнего слоя, Ом·м.

H – глубина верхнего слоя, м.

t – глубина залегания электрода, м

Обычно заземлители устанавливают на некоторой глубине под поверхностью земли с целью снижения влияния сезонных изменений в грунте. Обычно эта глубина равна 0.5-0.8 метрам.

Если заземлитель состоит из n вертикальных электродов, то его суммарное сопротивление будет рассчитываться по формуле (13.7)

$$R_{\text{об}} = \frac{R}{n \cdot \eta} \quad (13.7)$$

где n – количество вертикальных электродов

R – сопротивление одного отдельно взятого электрода, Ом.

η – коэффициент использования.

Коэффициент использования показывает, как влияют друг на друга токи растекания с одиночных заземлителей при различном расположении последних. При соединении параллельно, токи растекания одиночных

заземлителей оказывают взаимное влияние друг на друга, поэтому чем ближе расположены друг к другу заземляющие стержни, тем общее *сопротивление заземляющего контура больше*.

Это явление учитывается коэффициентом использования вертикальных заземлителей, величина которого зависит от типа и количества одиночных заземлителей, их геометрических размеров и взаимного расположения в грунте.

Значение коэффициента использования зависит от расстояния между соседними электродами и их числа. С увеличением расстояния уменьшается взаимодействия полей единичных заземлителей и η возрастает; при расстоянии больше 40 м проводимость заземлителей используется полностью и $\eta = 1$. Как правило, при расчёте заземлителей определение коэффициента использования расчётным путем оказывается сложным. Поэтому при расчёте заземляющих устройств значения η берутся из таблиц и кривых, составленных на основании опытов (табличные значения).

Так как все вертикальные электроды соединены горизонтальной шиной, то она также вносит свой вклад в общее сопротивление заземлителя, снижая его. Сопротивление одной горизонтальной соединительной полосы рассчитывается по формуле (13.8).

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_1}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{2bt} \quad (13.8)$$

где l – длина соединительной полосы, м
 b – ширина полосы, м

Суммарное сопротивление группового заземлителя рассчитывается по формуле (13.9)

$$R_{об} = \frac{R_1 R_2}{\eta R_2 + n \eta R_1} \quad (13.9)$$

где R_1 – сопротивление вертикального электрода, Ом

R_2 – сопротивление горизонтальной соединительной пластины, Ом

n – количество вертикальных электродов.

Применяемое оборудование

Работа выполняется на компьютере в программе, интерфейс которой показан на рис.13.2.



Рис.13.2. Меню выбора варианта

Перед тем как приступить к выполнению работы студент должен выбрать номер варианта задания, соответствующий номеру бригады. Для того что бы приступить к выполнению работы нажмите кнопку «1 часть».

1 часть. Измерение удельного сопротивления грунта

Интерфейс 1 части работы показан на рис.13.3.

< Назад
Измерение Удельного Сопротивления Грунта
2 часть >

Длина зонда L, м	1.6
Диаметр зонда d, см	4.5
Климатическая зона	II
Влажность земли	низкая

	напряжение U, В	ток I, А
1		
2		
3		
4		
5		
Среднее значение		

$$R = \frac{U}{I} = \boxed{} \text{ Ом}$$

$$\rho_{изм} = R \frac{2\pi L}{\ln \frac{4L}{d}} = \boxed{} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\psi = \boxed{}$$

$$\rho = \rho_{изм} \cdot \psi = \boxed{} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Рис.13.3. Интерфейс 1 части работы

В программе имитируется погружение в землю контрольного зонда (электрода) заданного размера для измерения его сопротивления.

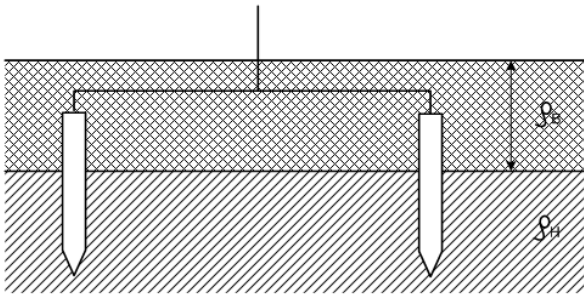
Измерение сопротивления производится методом вольтметра-амперметра. Они схематически показаны на интерфейсе программы и включены в схему измерения, в которой контрольный зонд изображен по центру. В левой нижней части размещены таблицы с данными по зонду и грунту, а также измеренными напряжениями и током.

В правой части находятся сопротивление зонда и удельное сопротивление грунта, которые автоматически рассчитываются из полученных во время эксперимента средних значений тока и напряжения. Удельное сопротивление верхнего слоя грунта подверженного сезонным изменения рассчитывается после подстановки соответствующего варианту задания значения коэффициента сезонности Ψ в соответствующее окошко.

2 часть. Получение зависимости значения коэффициента использования от расстояния между электродами

Интерфейс 2 части работы показан на рис.13.4.

< 1 часть
Получение зависимости значения коэффициента использования от расстояния между электродами
3 часть >



расстояние а, м	R при L=5 м	R при L=10 м
2.5		
5		
10		
20		
30		
40		

Измерение сопротивления

Длина электродов: ☒ n = 2, Длина L = 5 м
☐ n = 2, Длина L = 10 м

Рис.13.4. Интерфейс 2 части работы

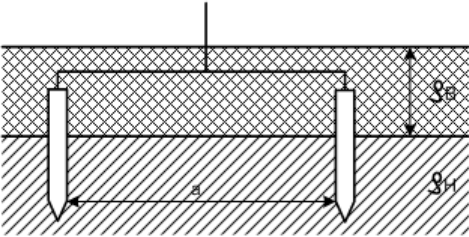
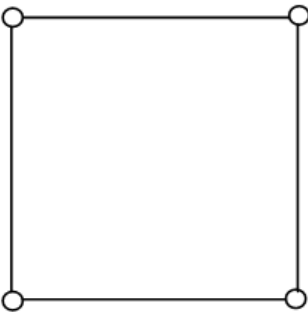
В программе имитируется измерение сопротивления группового заземлителя, состоящего из 2 вертикальных электродов размером 5 или 10 метров при различных расстояниях между ними. Данный заземлитель схематически показан на интерфейсе программы. Переключение между электродами разной длины производится путем выбора соответствующего параметра в нижней части интерфейса. Результаты измерений выводятся в таблице в правой части интерфейса.

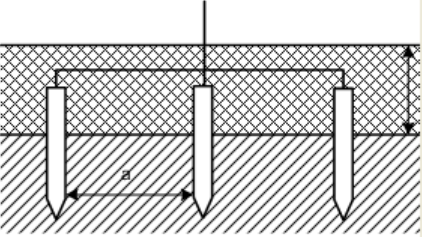
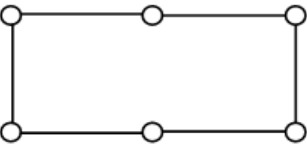
3 часть. Получение зависимости значения коэффициента использования от количества электродов

Интерфейс 3 части работы показан на рис.13.5.

В 3 части работы схематически представлены групповые заземлители, состоящие из 4 и 6 электродов. Переключение между заземлителями, измерение сопротивления и отображение результатов измерений производится также как и в части 2 лабораторной работы.

< 2 часть
Получение зависимости значения коэффициента использования от количества электродов
4 часть >

Измерение сопротивления

Количество электродов

☒ n = 4, Длина L = 10 м

☐ n = 6, Длина L = 10 м

расстояние a, м	R при n = 4	R при n = 6
2,5		
5		
10		
20		
30		
40		

Рис. 13.5. Интерфейс 3 части работы

4 часть. Измерение сопротивления заземлителя

Интерфейс 4 части работы показан на рис.13.6.

В программе имитируется измерение сопротивления группового заземлителя методом вольтметра-амперметра. В таблице в левой части интерфейса приводятся конструктивные параметры заземлителя, а также параметры грунта. В правой части находится таблица, в которую заносятся результаты измерений напряжения и тока.

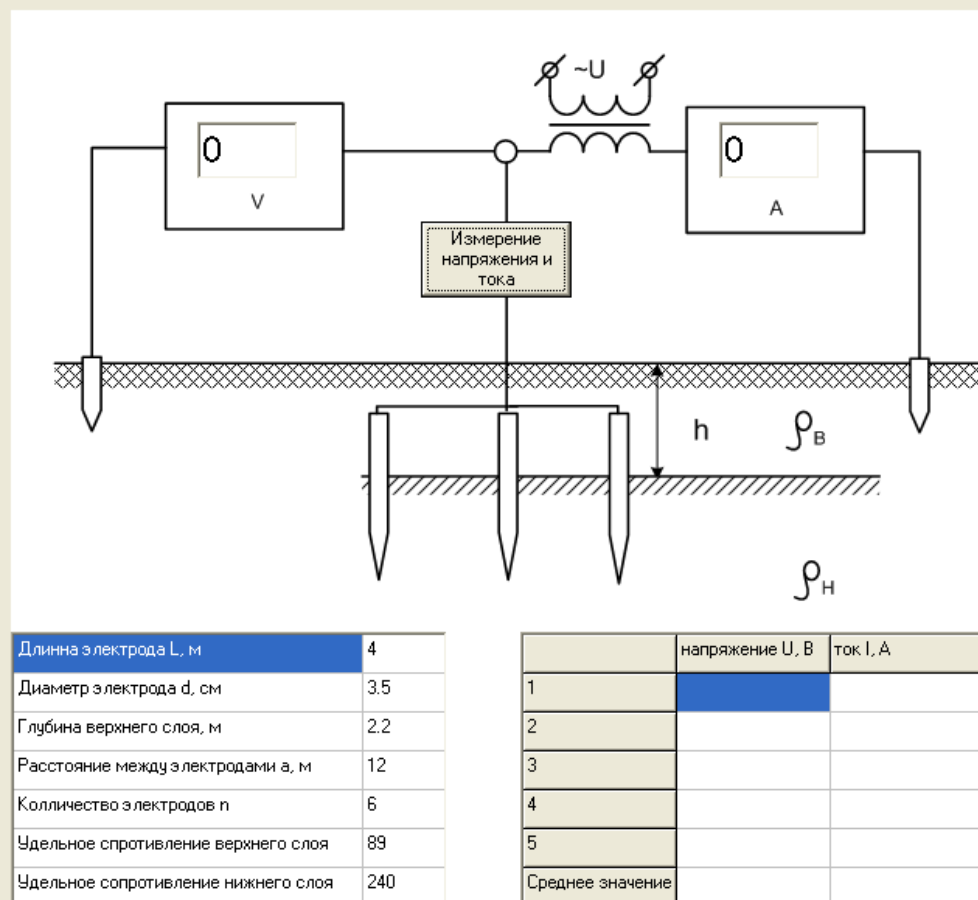


Рис. 13.6. Интерфейс 4 части работы

Порядок проведения работы

1 часть. Измерение удельного сопротивления грунта

- 1) Выбрать вариант задания, соответствующий номеру бригады. Для выполнения первой части работы нажать кнопку «1 часть».
- 2) Нажатием кнопки «Измерение напряжения и тока» произвести 5 измерений. Результаты занести в таблицу 13.3.
- 3) По результатам измерений программа высчитает сопротивление зонда и измеренное удельное сопротивление земли. В соответствии с заданием и таблицей 13.2 подобрать нужный коэффициент сезонности Ψ и занести его в соответствующее окошко. Заполнить таблицу 13.4 в соответствии с полученными расчётными данными.
- 4) Для перехода к следующей части работы нажать кнопку «2 часть».

2 часть. Получение зависимости коэффициента использования от расстояния между электродами

- 1) Снять зависимость сопротивления группового заземлителя от расстояния между электродами при их количестве 2 штуки и длине 5 метров.
- 2) Переключить длину электродов на 10 метров.
- 3) Снять зависимость сопротивления группового заземлителя от расстояния между электродами при их количестве 2 штуки и длине 10 метров.
- 4) Результаты измерений занести в таблицу 13.5.
- 5) Для выполнения следующей части работы нажать кнопку «3 часть».

3 часть. Получение зависимости коэффициента использования от количества электродов

1. Снять зависимость сопротивления группового заземлителя от расстояния между электродами при их количестве 4 штуки и длине 10 метров.
2. Переключить количество электродов на 6 штук.
3. Снять зависимость сопротивления группового заземлителя от расстояния между электродами при их количестве 6 штук и длине 10 метров.
4. Результаты измерений занести в таблицу 13.5.
5. Для выполнения следующей части работы нажать кнопку «4 часть».

4 часть. Измерение сопротивления заземлителя

1. Нажатием кнопки «Измерение напряжения и тока» произвести 5 измерений. Результаты занести в таблицу 13.7.
2. Заполнить таблицу 13.8.

Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

По 1 части:

- 1) Элементарная схема измерения сопротивлений заземлителей растеканию тока методом амперметра-вольтметра.
- 2) Таблицу 13.3 с результатами измерений тока и напряжения.

Таблица 13.3.

Измеренные значения тока и напряжения

	Напряжение U, В	Ток I, А
1		
2		
3		
4		
5		
Среднее значение		

3)Таблицу 13.4 с результатами расчётов.

Таблица 13.4

Расчётные значения

L , м	d, см	Климатическая зона	Влажность	R, Ом	$\rho_{изм},$ Ом·м	Ψ	$\rho,$ Ом·м

По 2 и 3 части:

1)Таблицу 13.5 с результатами измерений сопротивления от параметров заземлителя.

2)По данным таблицы 13.5 по формуле (13.7) рассчитать коэффициенты использования электродов. Результаты занести в таблицу 13.6.

3) По результатам, полученным в таблице 13.6, построить график зависимости коэффициента использования от отношения расстояния между электродами к их длине (a/L) для всех измеренных длин и количеств электродов.

Таблица 13.5

Результаты измерения сопротивления

Расстояние между электродами a, м	Сопротивление заземлителя R, Ом.			
	2 электрода, L=5 м	2 электрода, L=10 м	4 электрода, L=10 м	6 электродов, L=10 м
2,5				
5				
10				
20				
30				
40				

Таблица 13.6

Расчётные значения коэффициентов использования

Расстояние между электродами а, м	Коэффициент использования h			
	2 электрода, L=5 м	2 электрода, L=10 м	4 электрода, L=10 м	6 электродов, L=10 м
2,5				
5				
10				
20				
30				
40				

По 4 части:

- 1) Элементарная схема измерения сопротивления заземлителей методом амперметра-вольтметра с отображенной конструкцией заданного заземлителя.
- 2) Таблица 13.7 с результатами измерения напряжения и тока.

Таблица 13.7

Результаты измерения напряжения и тока

	Напряжение U, В	Ток I, А
1		
2		
3		
4		
5		
Среднее значение		

- 3) Расчёт сопротивления заземлителя по формуле $R = \frac{U_{cp}}{I_{cp}}$.

По 5 части:

- 1) Таблица 13.8 с исходными данными для расчёта заземлителя.
- 2) Исходя из графика, построенного в 3 части работы, определить значение коэффициента использования для данного заземлителя.
- 3) По данным таблицы 13.8 и найденному коэффициенту использования рассчитать сопротивления данного группового заземлителя по методу, описанному в теоретической части.
- 4) Сравнить полученный результат расчётов с результатом измерений в 4 части.

Таблица 13.8

Исходные данные

Длина электрода L , м	Диаметр электрода d , см	Глубина верхнего слоя, м	Расстояние между электродами a , м	Количество электродов n	Удельное сопротивление верхнего слоя ρ_1 , Ом·м	Удельное сопротивление нижнего слоя ρ_2 , Ом·м

Отчёт должен содержать выводы о целесообразности учёта неоднородности земли и взаимного расположения электродов при расчётах групповых заземлителей.

Контрольные вопросы

1. Почему разные слои земли имеют разные удельные сопротивления?
2. Что такое эквивалентное удельное сопротивление многослойной земли?
3. Что может оказывать влияние на значение коэффициента использования группового заземлителя?
4. Почему не рекомендуется располагать электроды в групповом заземлителе на расстояниях меньших, чем их длина?
5. От каких факторов зависит значение сопротивления растеканию тока заземлителя в многослойной земле?