

Министерство образования и науки Российской Федерации

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО**

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
Политехнического университета
Санкт-Петербург
2016

Министерство образования и науки Российской Федерации

—
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ.

ИЗДАТЕЛЬСТВО
Политехнического университета
Санкт-Петербург
2016

УДК 658.3.82.621.31(075.8)
Б81

Рецензенты:

Заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор кафедры биотехносферной безопасности Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета, президент МАНЭБ О. Н. Русак;
доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого В.Н. Тарабанов.

Авторы:

: Ефремов С.В. – работы № 2, 3, 14;
Малаян К.Р. – работы № 8, 9, 10, 10а;
Монашков В.В. – работы № 2, 3, 14;
Каверзнева Т.Т. – работы № 4, 5, 5а;
Салкуцан В.И. – работы № 4, 5, 5а;
Струйков Г.В. – работы № 1, 1а, 10а, 15;
Малышев В.П. – работы № 7, 8, 9а, 11, 12, 13;
Маньков В.Д. – работы № 8, 9, 10, 10а;
Терентьев О.Н. – работа № 6.

Безопасность жизнедеятельности. Техносферная безопасность Лабор-й. практикум /С.В. Ефремов, и др. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 146 с.

Настоящее руководство является практическим пособием для лабораторных работ по разделам дисциплины «Безопасность жизнедеятельности». Предназначено для укрепления, углубления полученных теоретических знаний и приобретения практических навыков по измерению вредных и опасных факторов.

Изложен теоретический материал, необходимый для понимания физических процессов при выполнении лабораторных работ, а также конкретные рекомендации по их выполнению и оформлению результатов.

Предназначено для студентов всех специальностей Санкт-Петербургского Политехнического университета, изучающих дисциплину «Безопасность жизнедеятельности», а также для студентов, обучающихся по направлению «Техносферная безопасность».

Научный редактор В. П. Малышев.

Печатается по решению Совета по издательско деятельности Ученого Совета Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

© Малышев В.П., научное редактирование, 2016

© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Работа 1. Эффективность и качество освещения	4
Работа 2. Микроклимат производственных помещений	14
Работа 3. Исследование запыленности воздушной среды	23
Работа 4. Звукоизоляция и звукопоглощение	30
Работа 5 и 5а. Исследование виброизоляции	39
Работа 6. Защита от теплового излучения	52
Работа 7. Исследование условий труда пользователя персонального компьютера	57
Работа 8. Исследование опасности поражения током в трехфазных электрических сетях.	68
Работа 9 и 9а. Исследование электрического сопротивления тела человека.	84
Работа 10. Исследование эффективности защитных мер в электроустановках	94
Работа 10а. Исследованию эффективности защитного заземления и зануления.	105
Работа 11. Защита от облучения электромагнитным полем сверхвысокой частоты.	109
Работа 12. Измерение уровня электромагнитного поля, создаваемого СВЧ печью.	116
Работа 13. Лазерное излучение и защита от него.	119
Работа 14. Ионизирующие излучения	128
Работа 15. Исследование энергоэффективности современных источников света.	141

Работа № 1

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ОСВЕЩЕНИЯ

Цель работы – приобретение навыков измерения освещенности на рабочем месте, получение знаний по оценке влияния на освещенность отраженного света и положения рабочей поверхности, а также оценки характеристик осветительных приборов (светильников).

Общие сведения

Важнейшим источником информации, поступающей в мозг человека из внешней среды, является зрение. Качество информации, получаемое посредством зрения, во многом зависит от освещения. Освещение, удовлетворяющее гигиеническим и экологическим требованиям, называется рациональным. Рациональное освещение производственных помещений оказывает положительное психофизиологическое воздействие на работающих. Способствует повышению производительности труда, обеспечению его безопасности, сохранению высокой работоспособности человека в процессе труда.

Свет оказывает положительное влияние на эмоциональное состояние человека, воздействует на обмен веществ, сердечно-сосудистую систему, нервно-психическую сферу. Он является важным стимулятором не только зрительного анализатора, но и организма в целом.

При недостаточной освещенности и плохом качестве освещения состояние зрительных функций находится на низком исходном уровне, повышается утомление зрения в процессе выполнения работы, возрастает опасность травм. С другой стороны, существует опасность отрицательного влияния на органы зрения слишком большой яркости (блескости) источников света. Следствием этого может явиться временное нарушение зрительных функций глаза (явление слепимости). Кроме того, следует учитывать, что основная обработка изображения происходит в мозгу. Поэтому при нерациональной освещенности зрительный аппарат, центральная нервная система и мозг функционируют в перенапряженном режиме, что сказывается на самочувствии человека.

Основные светотехнические понятия и определения

Свет (видимое излучение) – представляет собой излучение, которое, воздействуя на рецепторы сетчатки (палочки и колбочки), вызывает зрительное ощущение.

По своей природе это электромагнитные волны длиной от 380 до 760 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). Наибольшая чувствительность зрения – к излучению

длиной волны 555 нм (желто-зеленый цвет), которая уменьшается к границам видимого спектра.

Свет характеризуется количественными и качественными показателями. К количественным показателям относятся: световой поток, сила света, освещенность, яркость и некоторые другие.

Световой поток Φ – поток лучистой энергии через произвольную площадь в единицу времени. Единица светового потока - люмен (лм) - это световой поток, излучаемый точечным источником с телесным углом в 1стерадиан при силе света равной 1 канделе.

Сила света I – пространственная плотность светового потока в заданном направлении. Она равна отношению светового потока к величине телесного угла (стерадиана), в котором он излучается. Единицей силы света является кандела (кд)

$$I = \Phi / \omega \quad (1)$$

Телесный угол ω – часть пространства, ограниченная конусом с вершиной в центре сферы, опирающимся на поверхность S . Телесный угол определяется отношением площади S , которую конус вырезает на поверхности сферы, к квадрату радиуса R этой сферы.

$$\Omega = S / R^2 \quad (2)$$

Освещенность E – поверхностная плотность светового потока.

$$E = \Phi / S \quad (3)$$

Единица освещенности – **люкс (лк)** – освещенность поверхности площадью 1 кв. м при световом потоке падающего на него излучения равном 1 люмену.

Яркость L – поверхностная плотность силы света в данном направлении, определяется силой света, излучаемой с единицы площади поверхности в заданном направлении, или другими словами – отношение силы света в данном направлении к площади проекции излучающей поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению.

$$L = I / S_{\text{пр}} \text{ (кд/м}^2\text{)} \quad (4)$$

Для оценки условий зрительной работы учитывают качественные характеристики: фон, контраст объекта с фоном, видимость объекта. К качественным показателям освещения относятся также: коэффициент пульсации, показатели ослепленности, спектральный состав света и некоторые другие.

Фон – это поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается.

Коэффициент отражения поверхности - отношение величины отраженного светового потока к падающему.

$$\rho = \Phi_{\text{отр}} / \Phi_{\text{пад}} \quad (5)$$

Фон считается светлым, если коэффициент отражения $\rho > 0,4$, средним при $0,2 \leq \rho \leq 0,4$ и темным при $\rho < 0,2$.

Контраст объекта с фоном определяется соотношением

$$k = \frac{|L_{об} - L_{ф}|}{L_{ф}},$$

где $L_{об}$ - яркость объекта, $L_{ф}$ - яркость фона. Контраст считается большим при $k > 0,5$, средним при $0.2 \leq k \leq 0.5$ и малым при $k < 0,2$.

Коэффициент пульсаций освещенности определяется соотношением $K_n = \frac{E_{макс} - E_{мин}}{2E_{сред}} 100\%$, где $E_{макс}$, $E_{мин}$, $E_{сред}$ - максимальная, минимальная и средняя освещенности за период колебания напряжения питания.

Основной характеристикой искусственных источников света является световая отдача. **Световая отдача** – отношение номинального светового потока источника света к потребляемой мощности.

$$\eta = \Phi / P \quad (\text{лм/Вт}) \quad (6)$$

Виды и системы освещения

Производственное освещение бывает естественным, искусственным и совмещенным.

Естественное освещение обусловлено прямыми солнечными лучами и рассеянным светом небосвода и меняется в зависимости от географической широты, времени суток, времени года, степени облачности, прозрачности атмосферы. Основной характеристикой естественной освещенности является коэффициент естественной освещенности (КЕО), определяемый соотношением:

$$КЕО = \frac{E_{внут}}{E_{внеш}} 100\%,$$

где $E_{внут}$ - освещенность в данной точке помещения; $E_{внеш}$ - освещенность на горизонтальной поверхности под открытым небосводом.

Искусственное освещение применяется при недостаточности естественного освещения или отсутствии его (в темное время суток). По функциональному назначению искусственное освещение разделяется на: рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное и дежурное. Искусственное освещение создается искусственными источниками света: лампами накаливания или газоразрядными лампами

Совмещенное освещение представляет собой дополнение естественного освещения искусственным в светлое время суток при недостаточном по нормам естественном освещении.

Искусственное освещение может быть общим и местным. При общем освещении светильники размещают в верхней зоне равномерно (рав-

номерное освещение) или применительно к расположению оборудования (локализованное освещение).

При местном освещении световой поток от светильников концентрируется непосредственно на рабочих местах. При дополнении общего освещения местным оно называется комбинированным освещением.

Для искусственного освещения помещений рекомендуется применение газоразрядных ламп (люминесцентных, дуговых ртутных, металлогалогенных и др.).

Как правило, на рабочих местах должно использоваться естественное и искусственное освещение. Одно местное освещение в производственных условиях не применяется, так как резкий контраст между ярко освещенными и неосвещенными участками утомляет глаза, замедляет процесс работы и может послужить причиной несчастных случаев и аварий. Минимальная величина освещенности, создаваемая общим освещением в системе комбинированного освещения, должна быть не менее 10% от нормированной величины.

Источники искусственного освещения.

Электрические лампы — источники оптического излучения, создаваемого в результате преобразования электрической энергии. Электрические лампы подразделяются на лампы накаливания (ЛН), в которых свет создается телом накала, раскаленным в результате прохождения по нему электрического тока, и разрядные лампы (РЛ), в которых свет создается в результате электрического разряда в газе, парах металлов или в газовой среде, содержащей пары металлов.

ЛН относятся к тепловым источникам света, в которых свечение возникает путем нагревания нити накала до высоких температур. Они просты и надежны в эксплуатации. Недостатками их являются: низкая световая отдача (порядка 20 лм/Вт), ограниченный срок службы (~ 1000 часов), преобладание излучения в желто-красной части спектра, что искажает цветовое восприятие. Определенными преимуществами обладают галогеновые лампы накаливания. В колбе данных ламп наряду с вольфрамовой спиралью содержатся пары элементов галогеновой группы, например, йода, что повышает температуру накала нити и существенно уменьшает ее испарение. Срок службы данного типа ламп составляет величину до 3000 часов, а световая отдача – до 30 лм/Вт.

РЛ имеют более высокую световую отдачу (более 100 лм/Вт) и в 5 ÷ 10 раз больше срок службы (до 15000 ч) по сравнению с ЛН, а также более широкий диапазон мощностей при весьма разнообразных спектрах излучения. Соответствующий подбор среды и условий разряда позволяет создавать высокоэффективные источники излучений во всех областях оптического диапазона. Все указанное обусловило широкое применение РЛ не

только для освещения, но и для многочисленных специальных целей. Например, для дальнометрии, аэрофотосъемки, накачки лазеров, в облучающих установках, а также для изучения перемещающихся объектов и быстропротекающих процессов.

РЛ присущ и ряд недостатков. Прежде всего, это определенная сложность включения их в электрическую сеть, связанная с особенностями разряда, так как для его зажигания требуется более высокое напряжение, чем для поддержания устойчивого горения; пульсация светового потока, длительное время (от нескольких секунд до нескольких минут) выхода на оптимальный режим работы, а так же сложность утилизации.

Значительную опасность при использовании газоразрядных ламп представляет так называемый *стробоскопический эффект* – явление искажения зрительного восприятия вращающихся объектов в мелькающем свете, возникающее при совпадении кратности частотных характеристик движения объектов и изменения светового потока во времени. По экономическим и светотехническим характеристикам преимущество следует отдавать РЛ.

В настоящее время широкое применение получили светодиодные источники света. Практически все недостатки, присущие лампам накаливания и газоразрядным лампам, у них отсутствуют. К преимуществам светодиодных источников можно отнести следующие: большой срок службы (до 60 тыс. час.), низкое рабочее напряжение и малый потребляемый ток, экологическая и пожарная безопасность, чистота и насыщенность цветовой гаммы, лучшая направленность светового потока, отсутствие влияния низких и высоких температур окружающей среды на их эксплуатацию и др. Основным недостатком является их высокая стоимость.

Лампа с арматурой называется *светильником*. Основное назначение светильников заключается в распределении светового потока источников света в требуемых для осветительных установок направлениях и защите ламп, оптических элементов и электрических аппаратов светильников от воздействия окружающей среды.

Осветительные приборы за счет наличия арматуры испускают в окружающую среду меньшую величину светового потока Φ_c , чем сам источник света $\Phi_{л}$. Отношение этих величин определяет коэффициент полезного действия светильника

$$\eta = \Phi_c / \Phi_{л},$$

Отношение светового потока $\Phi_{расч}$, падающего на расчетную плоскость (плоскость с нормированной освещенностью $E_{норм}$), к световому потоку источника света $\Phi_{л}$ называется коэффициентом использования светильника:

$$K_{исп} = \Phi_{расч} / \Phi_{л} \quad (7)$$

Нормирование производственного освещения

Нормирование освещенности рабочего места производится в зависимости от точности зрительной работы, характеризуемой размерами объекта различения. На условия зрительной работы, ее разряд кроме размеров объекта различения (деталь предмета с минимальными размерами) влияют также контраст с фоном, яркость фона и система освещения. Значения нормативных данных освещенности рабочего места определяются по СНиП 23–05–95 (2003) Строительные нормы и правила «Естественное и искусственное освещение»; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» и другими, в том числе ведомственными нормативными документами.

Для естественного освещения регламентирован коэффициент естественной освещенности (КЕО) %; для искусственного – наименьшая освещенность на рабочих поверхностях в производственных помещениях, лк.

Согласно СНиП зрительные работы делятся на 8 разрядов в зависимости от размера различаемой детали; разбиваются на подразряды (а, б, в, г) в зависимости от контраста детали различения с фоном и от коэффициента отражения фона. Для каждого подразряда установлены определенные наименьшие значения освещенности, понижающиеся по мере увеличения размера деталей, увеличения контраста с фоном, увеличения коэффициента отражения и др.

По СНиП определяются нормы освещенности для отдельных разрядов работ при соответствующей системе освещения, коэффициент пульсаций, показатели ослепленности и комфорта, а также КЕО, что необходимо для проектирования зданий и сооружений.

Измерение освещенности

Для измерения освещенности в настоящее время применяют люксометры (рис.1). Отсчет показаний люксометра можно вести по двум шкалам до 30 лк и до 100 лк в зависимости от положения переключателя "диапазон измерения". Для расширения пределов измерений фотоэлемент снабжен насадками, перекрывающими часть падающего светового потока: основной полусферической матовой насадкой с резьбовым соединением с фотоэлементом (маркировка К) и тремя дополнительными плоскими насадками (маркировки М; Р; Т), расположенными внутри полусферической насадки. При наличии на фотоэлементе насадок К и М показания умножаются на коэффициент $K=10$, насадок К и Р на 100; насадок К и Т на 1000.

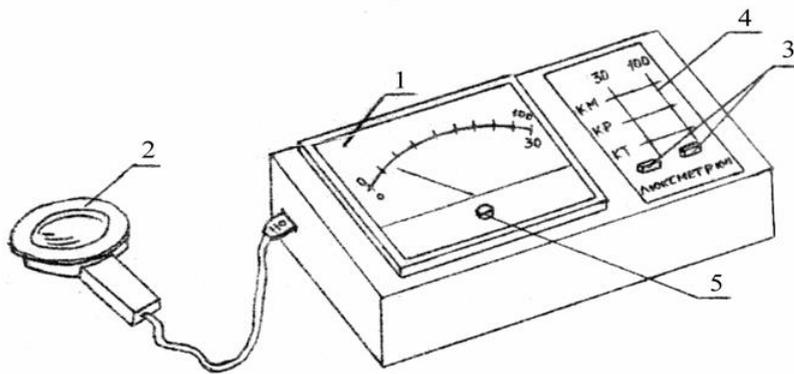


Рис.1. Переносной фотоэлектрический люксметр

1 – шкала люксметра; 2 – селеновый фотоэлемент; 3 – кнопки переключателя диапазонов измерений; 4 – табличка пределов измерений; 5 – корректор нуля.

Условия проведения работы №1

Для оборудования рабочего места лабораторной работы в изолированной от внешнего света комнате в ауд. 106 гидрокорпуса применяются следующие устройства и приборы:

- стол с темной рабочей поверхностью;
- лебедочная установка для подвески светильников;
- комплект светильников (рис.2);
- штатив с рамкой для поддержания фотоэлемента люксметра;
- люксметр;
- образцы цветного покрытия

Измерение начинают выполнять с надетым на фотоэлемент светофильтром.

Порядок проведения лабораторной работы № 1 (ауд. 106 ГК)

Получив задание от преподавателя, изучите общие сведения и условия проведения работы и приступите к ее выполнению в следующем порядке.

1. *Исследование зависимости величины освещенности от высоты подвеса светильника.* Подвесьте светильник на высоту 0,5м. Замерьте освещенность в центре стола, и полученные данные внесите в таблицу, приведенную на отчетном бланке. Затем аналогично измерьте освещенность при высоте подвеса светильника 0,75; 1,0; 1,25 м. Если при измерениях стрелка люксметра отклоняется менее чем на 10 делений шкалы, то следует перейти к измерениям без светофильтра. Результаты измерений внесите в таблицу отчетного бланка и по ним постройте первый график $E=f(H)$, где E – освещенность (лк), H – высота подвеса (м)

В выводах сделайте заключение о характере (пропорциональности) изменения освещенности от высоты подвеса светильника.

2. *Исследование зависимости отражения светового потока от цвета рабочей поверхности.* Рекомендованный светильник подвесьте на высоту, указанную в работе. Над центром стола с помощью штатива установите фотоэлемент, обращенный светочувствительной стороной к рабочей поверхности стола. Под фотоэлементом поочередно расположите листы различных цветов (в том числе ахроматических белого и черного). От листа каждого цвета измерьте создаваемую им величину отраженной освещенности. Результаты измерений внесите в таблицу отчетного бланка и по ним постройте второй график $E=f(\text{цвет})$ в виде гистограммы.

3. *Исследование зависимости освещенности поверхности от мощности источников света.* Светильники одинаковой формы (№6) с лампами различной мощности подвесьте на заданной высоте над центром стола и замерьте создаваемую ими освещенность. Результаты измерений внесите в таблицу отчетного бланка и по ним постройте график $E=f(P)$, где

4. *Исследование зависимости освещенности поверхности от направления освещения.* Уберите цветные образцы со стола, а на раму штатива положите фотоэлемент люксметра светочувствительной стороной вверх. Изменяя угол наклона плоскости светоприемного отверстия по отношению к светильнику в пределах от 0° до 90° , проследите изменение соответствующих показаний люксметра. Результаты измерений внесите в таблицу бланка отчета и по ним постройте график $E=f(\varphi^{\circ})$.

В выводах выскажите соображения о характере изменения линии графика и причинах изменения освещенности поверхности при ее наклоне.

5. *Сравнение люминесцентных и светодиодных источников света.* Измерить освещенность и пульсацию светового потока в центре рабочего стола от светильника на потолке с люминесцентными лампами, а затем со светодиодами. Вычислить отношения освещенностей к потребляемой мощности для обоих светильников (потребляемая мощность светильника с люминесцентными лампами 80 Вт, со светодиодами – 50 Вт).

Порядок проведения лабораторной работы №1а (ауд.104 ГК)

1. Установить стенки макета производственного помещения таким образом, чтобы стороны, окрашенные в светлые или темные тона (по заданию преподавателя), были обращены внутрь помещения.

2. Включить установку с помощью автомата защиты, который находится на задней панели каркаса.

3. Включить лампу (выбор ламп производится в соответствии с вариантом по заданию преподавателя).

4. Произвести измерение освещенности и коэффициента пульсации с помощью люксметра-пульсометра не менее чем в пяти точках макета производственного помещения (в центре и углах «пола»), определить среднее значение освещенности E_{cp} .

5. Включить одновременно газоразрядные лампы №№ 1; 2; 3. Повторить измерения пункта 4. Сравнить полученные результаты измерений пп.4 и 5 и значения нормируемой освещенности вашего варианта.

6. По результатам измерений освещенности вычислить значение фактического светового потока Φ_c по формуле:

$$\Phi_c = E_{cp} \cdot S, \text{ (лм)}$$

где E_{cp} – среднее значение освещенности;

S – площадь макета помещения, m^2 . $S = 0,4 m^2$.

7. Вычислить коэффициент полезного действия светильника η , а также светоотдачу по формуле (6). Номинальный световой поток Φ_n выбрать для каждого типа ламп по табл.2.

8. Вычислить $\Phi_{расч}$ по величине расчетной плоскости ($S_{расч}=0,4 m^2$ при $E_{норм}=300$ лк и $S_{расч}=0,8 m^2$ при $E_{норм}=200$ лк, $E_{норм}$ выбрать по СНИП 23-05-95 табл.1) и определить коэффициент использования светильника по формуле (7).

9. Повторить измерения для другого типа ламп. Сравнить значения светоотдачи, полученные различных источников света.

10. Включить люминесцентную лампу типа КЛ9 в центре установки и вентилятор. Вращая ручку «Частота», регулирующую скорость вращения лопастей вентилятора, подобрать такую частоту, при которой возникает стробоскопический эффект (лопасти кажутся неподвижными).

11. Выключить стенд.

12. Измерить освещенность и коэффициент пульсации светового потока не менее чем в 5 точках на рабочих столах в лаборатории. Сравнить с нормами освещенности (СНиП 23-05-95 и СанПиН 2.2.1/2.1.1. 1278-03).

Таблица 1

Номера вариантов для лаб. работы №1а и характеристика зрительной работы

№ Вар.	Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Коэффициент пульсации освещенности	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Тип ламп
1	Высокой точности	0,3 – 0,5	15	Большой	светлый	1; 5
2	Высокой точности	0,3 – 0,5	15	средний	средний	4; 7
3	Средней точности	0,5 – 1	20	малый	темный	4; 5
4	Средней точности	0,5 – 1	20	средний	светлый	3; 5
5	Грубая (очень малой точности)	Более 5	20	-	-	3; 7

12. Составить отчет о работе.

Примечание: Горизонтальная освещенность в лабораториях высших учебных заведений - 400 лк, коэффициент пульсации - 10 %. (Из СанПиН 2.2.1/2.1.1. 1278-03)

Типы ламп и их характеристики

№	Тип ламп	Потребляемая мощность, Вт	Номинальный световой поток, лм
1,2,3	Лампа люминесцентная КЛ9	9	465*
4	Лампа люминесцентная СКЛЭН	11	700
5	Лампа накаливания криптоновая	60	800
6	Лампа накаливания вакуумная	60	730
7	Лампа галогенная	50	1700

* После минимальной продолжительности горения (2000 часов).

Вопросы для самоконтроля

1. Какова роль освещения в жизнедеятельности человека?
2. Перечислите количественные и качественные показатели освещения.
3. В каких единицах измеряется освещенность, световой поток, сила света, яркость, световая отдача?
4. Перечислите основные виды производственного освещения.
5. Как подразделяется искусственное освещение по функциональному назначению?
6. Как конструктивно подразделяют естественное и искусственное освещение?
7. В каких случаях необходимо применение комбинированного освещения?
8. Что такое КЕО? В какой точке производственного помещения нормируется минимальный КЕО при боковом естественном освещении?
9. От чего зависит величина нормируемой величины освещенности на рабочем месте?
10. От чего зависит величина освещенности на рабочем месте при совмещенной системе освещения?
11. Перечислите основные источники искусственного освещения в производственном помещении.
12. Каковы преимущества и недостатки газоразрядных ламп перед лампами накаливания?
13. Каковы преимущества светодиодных источников света?
14. По каким признакам классифицируются осветительные приборы? Что такое КПД светильника, коэффициент использования светильника?

Работа № 2

МИКРОКЛИМАТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ.

Цель работы – ознакомление с нормированием микроклиматических условий на рабочем месте и получение навыков работы с приборами для изменения параметров микроклимата.

Общие сведения

Одним из необходимых условий высокой производительности труда, нормальной жизнедеятельности человека является обеспечение оптимальных микроклиматических условий на рабочем месте. Микроклимат зависит от теплофизических особенностей технологического процесса, климата, сезона года, условий отопления, вентиляции и характеризуется температурой, относительной влажностью, скоростью движения воздуха и атмосферным давлением. Жизнедеятельность человека связана с непрерывным обменом теплом с окружающей средой. Одной из важных характеристик организма человека является средняя температура тела (внутренних органов) порядка $36,6^{\circ}\text{C}$, которая зависит от степени нарушения теплового баланса, и уровня энергозатрат при выполнении физической работы. При выполнении работы средней тяжести и тяжелой при высокой температуре воздуха она может повышаться на $1 - 2^{\circ}\text{C}$. Наивысшая температура внутренних органов, которую выдерживает человек, составляет $+43^{\circ}\text{C}$, а минимальная (при переохлаждении) $+25^{\circ}\text{C}$. Чтобы не происходило отклонения температуры внутренних органов от оптимальной, необходимо соблюдение теплового баланса между человеком и окружающей средой. В общем случае теплообмен осуществляется в основном такими физическими процессами, как конвекция, излучение и испарение. Конвективный теплообмен определяется соотношением:

$$Q_k = \alpha_k S_{\text{эфф}} (t_{\text{ср}} - t_{\text{чел}}),$$

где α_k - коэффициент теплоотдачи конвекцией, $S_{\text{эфф}}$ - эффективная поверхность тела человека, $t_{\text{ср}}, t_{\text{чел}}$ - температура окружающей среды и человека, соответственно. Как следует из приведенного соотношения, конвективный теплообмен зависит от разности температур между окружающей средой и телом человека, омываемой воздухом эффективной поверхности тела, а также от относительной влажности, скорости движения воздуха и атмосферного давления (определяет толщину пограничного слоя воздуха у поверхности тела).

Теплообмен за счет излучения определяется соотношением

$$Q_{изл} = \alpha_{изл} S_{изл} \left[\left(\frac{t_{чел}}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{ср}}{100} \right)^4 \right],$$

где $\alpha_{изл}$ - приведенный коэффициент излучения, $S_{изл}$ - площадь излучающей поверхности.

Количество теплоты, отдаваемое человеком в окружающую среду за счет процесса испарения, определяется соотношением

$$Q_{исп} = m_{исп} q,$$

где $m_{исп}$ - масса выделяемого и испаряющегося пота, q - скрытая теплота испарения. При увеличении физической нагрузки и внешней температуры скорость потовыделения растет. Так, при температуре воздуха в 28°C потовыделение у человека не занятого физическим трудом составляет 1,7 г/мин, а при выполнении тяжелой работы – 8,9 г/мин. Можно отметить, что из всей теплоты, передаваемой организмом человека в сутки (средняя величина 2600 ккал) при нормальных условиях (20°C , 760 мм рт.ст.), основная часть (44%) передается за счет излучения. За счет конвекции передается 31%, за счет испарения – 21%.

С изменением параметров микроклимата или условий труда нарушаются условия для теплового баланса. В этом случае в организме возникают процессы, способствующие его восстановлению – процессы терморегуляции. К таким процессам относятся процесс испарения, изменение интенсивности кровообращения (за счет расширения и сужения сосудов) и биохимический процесс (изменение интенсивности окислительных процессов в организме). Терморегуляция позволяет обеспечить жизнедеятельность человека, но его состояние отклоняется от оптимального. В частности, в результате интенсивного потовыделения возможна большая потеря жидкости. Обезвоживание организма на 6% приводит к нарушению умственной деятельности, снижению остроты зрения. Длительное воздействие высокой температуры в сочетании с повышенной влажностью могут привести к головокружению, общей слабости, искажению цветового восприятия, учащению пульса, потере сознания. Потеря влаги до 20% от массы тела может привести к смертельному исходу. Повышенная относительная влажность воздуха окружающей среды (при пониженных температурах), а также его высокая скорость способствуют переохлаждению организма человека.

На самочувствие человека может оказывать существенное влияние атмосферное давление. При его заметном изменении (на поверхности Земли возможно изменение от 680 мм рт.ст. до 810 мм рт.ст.) повышается нагрузка на сердечно сосудистую систему, что отрицательно сказывается на людях с сердечно сосудистыми заболеваниями.

Гигиеническое нормирование показателей микроклимата рабочих мест производственных помещений обеспечивает сохранение теплового

баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

Нормирование показателей микроклимата производится с учетом интенсивности энергозатрат работающих, времени выполнения работы и периодов года.

Гигиенические нормативы учитывают сезоны года: холодный и теплый. Холодный период характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха $+10^{\circ}\text{C}$ и ниже, теплый выше $+10^{\circ}\text{C}$.

Нормативы рассматривают два уровня критериев:

- оптимальные условия микроклимата;
- допустимые 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. 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.) и в других случаях.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в табл. 1, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Таблица 1

Оптимальные микроклиматические условия

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Температура поверхностей, $^{\circ}\text{C}$	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 микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период

8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

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

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 2 применительно к выполнению работ разных категорий в холодный и теплый периоды года.

Таблица 2

Допустимые значения параметров микроклимата в рабочей зоне.

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более	Температура поверхностей, °С
Холодный	I а	20-26	15-75	0,1	19-26
	I б	19-25	15-75	0,2	18-25
	II а	17-24	15-75	0,3	16-24
	III а	15-23	15-75	0,4	14-23
	III	13-22	15-75	0,4	12-22
Теплый	I а	21-29	15-75	0,2	20-29
	I б	20-29	15-75	0,3	19-29
	II а	18-28	15-75	0,4	17-28
	III а	16-28	15-75	0,5	15-28
	III	15-27	15-75	0,5	14-27

Все виды работ по уровню интенсивности энергозатрат организма подразделяются на пять категорий:

- к категории Ia относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 139 Вт, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (сфера управления и т.п.).

- к категории Ib относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 140-174 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (полиграфия, связь и т.п.).

- к категории IIa относятся работы с интенсивностью энергозатрат 175-232 Вт, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1

кг) изделий в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения (механосборочные цеха и т.п.).

- к категории Пб относятся работы с интенсивностью энергозатрат 233-290 Вт, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (механизированные, литейные, прокатные, сварочные цеха и т.п.).

- к категории ПIII относятся работы с интенсивностью энергозатрат более 290 Вт, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий (кузнечные цеха с ручной ковкой и т.п.).

Условия проведения работы

На рис. 1 представлена лабораторная установка, которая содержит:

1 — блок управления; 2 — вентилятор; 3 — психрометр; 4 — корпус установки; 5 — барометр-анероид; 6 — датчик анемометра; 7 — термоанемометр.

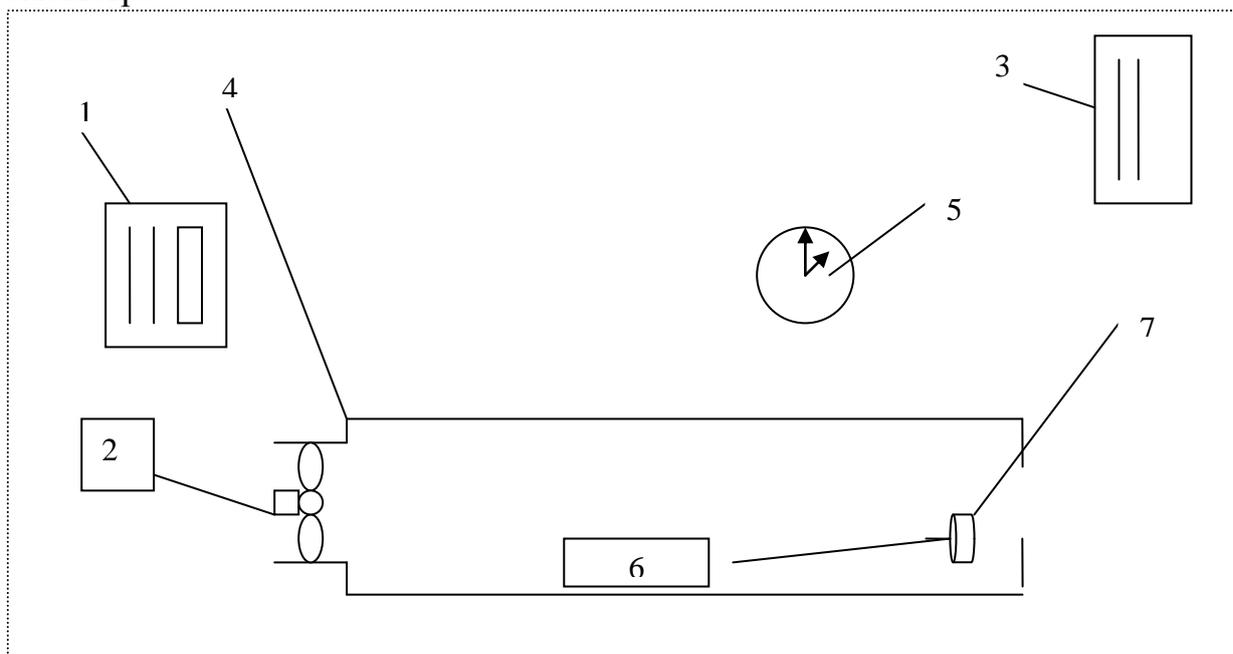


Рис. 1 Лабораторная установка

Лабораторная установка является моделью рабочей зоны, где имеется возможность изменять скорость движения воздуха посредством различных оборотов двигателя вентилятора.

Остальные параметры микроклимата принимаются по значениям фактических условий в помещении лаборатории.

Для экспериментального исследования метеорологических характеристик при проведении лабораторной работы применяется комплекс приборов, измеряющих температуру, относительную влажность, подвижность воздуха и атмосферное давление.

При выполнении лабораторной работы температуру воздуха внутри помещения измеряют с помощью сухого (спиртового) термометра, а снаружи — с помощью спиртового термометра.

Относительную влажность воздуха определяют с помощью психрометра Августа, принцип действия которого основан на разности показаний двух расположенных рядом термометров, резервуар одного из них обернут увлажненной тканью. При испарении влаги с поверхности резервуара «влажного» термометра отдается тепло, поэтому его показания оказываются ниже показаний «сухого». Эта разница тем больше, чем ниже относительная влажность, приближенную величину которой находят из психрометрической таблицы, представленной на шкале психрометра лабораторной установки.

Точное значение относительной влажности воздуха с учетом барометрического давления определяют расчетным путем:

$$B_p = \frac{f_{мв} - A(t_c - t_v)P}{f_{мс}} 100\%, \quad (1)$$

где $f_{мс}$, $f_{мв}$ — максимальная влажность воздуха при температуре «сухого» и «влажного» термометра соответственно, г/м³;

t_c , t_v — показания соответственно «сухого» и «влажного» термометров психрометра, °С;

P — барометрическое давление, мм рт. ст.;

A — психрометрический коэффициент, $A = 1,4 \cdot 10^{-3}$

Скорость движения воздуха в производственных помещениях измеряют анемометрами и термоанемометрами. Крыльчатые анемометры позволяют проводить измерения в пределах от 0,3 до 3,0 м/с, чашечные — от 1,0 до 30 м/с.

В лабораторной работе используют крыльчатый анемометр. Скорость движения воздуха в м/с фиксируется цифровым датчиком.

Атмосферное давление, сведения о котором необходимы для точного расчета относительной влажности воздуха, измеряют при помощи барометра-анероида 5.

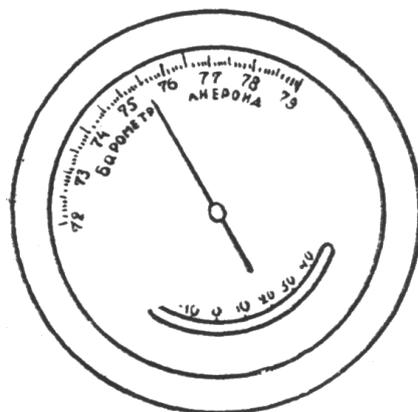


Рис. 2 Барометр-анероид

Задание на работу

Необходимо исследовать метеорологические условия производственного помещения и сопоставить их с нормативными (см. табл.1-2). Для этого следует измерить температуру воздуха снаружи и внутри помещения, определить относительную влажность и скорость движения воздуха при заданных оборотах вентилятора.

Затем для заданной категории работ определить оптимальные и допустимые параметры микроклимата. На основе проведенных исследований сделать заключение о соответствии микроклимата в обследуемом помещении нормативным требованиям.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя вариант задания на выполняемые работы и бланк отчета.

2. В бланке отчета указываются фамилия студента, номер задания и вносится содержание задания (вид помещения, его характеристика и категория выполняемой работы).

3. Для измерения температуры:

а) температуру наружного воздуха определяем по показаниям термометра, расположенного за окном лаборатории снаружи;

б) температуру внутри помещения определяем по показаниям «сухого» термометра психрометра.

4. Для определения влажности:

а) снять показания «сухого» и «влажного» термометров и по психрометрической таблице определить табличное значение относительной влажности $V_{\text{табл}}$, полученные данные занести в отчет.

б) Снять показания барометра-анероида.

в) По справочной таблице 3 определить величины максимальной влажности $f_{\text{мс}}$ и $f_{\text{мв}}$ при температурах «сухого» и «влажного» термометров.

г) Рассчитать по формуле (1) относительную влажность воздуха (V , %) и записать в отчет (расчеты производятся на оборотной стороне отчета).

5. Измерение движения скорости воздуха.

а) Включить экспериментальную установку и вентилятор 2 соответствующими тумблерами 1 (рис. 1).

б) Переключатель оборотов вентилятора установить в положение, соответствующее номеру задания.

в) Дождавшись установления стабильных оборотов вентилятора (3 — 5 с), провести измерение по термоанемометру ТКА-ПКМ. Для этого включить прибор. На дисплее появится значение напряжения питания и обратный отсчет. По его окончании прибор готов к работе. Далее кнопкой

«Измерение» выбрать нужный параметр (V_{cp} м/с) и считать с дисплея измеренное значение.

По табл. 1 и 2 определить оптимальные и допустимые параметры микроклимата для заданной категории работы и занести их в заключительную таблицу отчета. Туда же внести данные результатов произведенных измерений и расчетов.

Таблица 3

**Максимальная влажность воздуха при различных температурах
(плотность насыщенных паров)**

Температура воздуха	14	16	18	20	22	24	26	28
Плотность водяных паров, г/ м ³	12,1	13,6	15,4	17,3	19,4	21,8	24,4	27,2

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Параметры	Значения по вариантам				
	1	2	3	4	5
Вид помещения	Науч. лаборатория	Литейный цех	Сборочный участок	Прокат. цех	Склад
Число оборотов вентилятора, об/мин	150	2200	1450	700	500
Категория работ	I а	III	II б	II а	I б
Период года	Теплый	Холодный	Теплый	Холодный	Теплый

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое микроклимат на рабочем месте?
2. Какие физические процессы участвуют в передаче тепла от тела человека в окружающую среду? От чего зависит их интенсивность?

3. Что понимается под оптимальными и допускаемыми параметрами микроклимата?
4. От чего зависят оптимальные параметры микроклимата?
5. Какие категории работ Вы знаете? Их характеристики.
6. Какие есть механизмы терморегуляции у организма человека?
7. Каковы последствия перегрева организма человека?
8. Почему при отклонении атмосферного давления от нормального (760 мм рт.ст.) прежде всего страдают люди с сердечно сосудистыми заболеваниями?
9. Какими приборами измеряют температуру, относительную влажность, атмосферное давление?
10. Какие технические мероприятия служат для поддержания оптимальных параметров микроклимата на рабочем месте?

Работа №3.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

Цель работы - знание требований к содержанию пыли в воздухе и методов определения запыленности воздушной среды; навыки экспериментального определения содержания пыли в воздухе.

Общие сведения

Пыль - дисперсная система с газообразной средой и твердой дисперсной фазой, обладающей свойством находиться во взвешенном состоянии продолжительное время.

Многие производственные процессы в металлургической, химической, строительной и других отраслях промышленности сопровождаются выделением значительных количеств пыли. Пыль оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека, повышает пожаровзрывоопасность производств и агрессивно действует на окружающую среду.

Как вредный производственный фактор пыль может оказать на организм человека различное физиологическое действие – фиброгенное, аллергическое, токсическое, а также канцерогенное и мутагенное (отдаленные последствия вредного воздействия). Характерное для пыли фиброгенное действие выражается в избирательном поражении тканей легких человека.

Степень вредного физиологического действия пыли зависит как от ее физико-химической природы, так и в значительной мере от дисперсного состава пыли. Известно, что частицы, крупнее 10...15 мкм, в основном задерживаются в верхних дыхательных путях, следовательно, представляют меньшую опасность. Наибольшей фиброгенной активностью обладают аэрозоли дезинтеграции с размерами частиц до 5 мкм и аэрозоли конденсации с частицами 0,3 ... 0,4 мкм. Решающее значение на развитие фиброзного процесса в легких имеет масса поступившей в организм человека пыли, величина которой зависит от ее концентрации в воздухе и времени поступления в организм человека.

С целью исключения и уменьшения неблагоприятного воздействия пыли на человека и окружающую среду допустимое содержание пыли в воздухе производственных помещений и в вентиляционных выбросах ограничивается. Так, содержание пыли в воздухе рабочей зоны ограничивается установленным уровнем предельно допустимых концентраций (ПДК). В нашей стране за ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны приняты концентрации, которые не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья работника как в процессе работы (в течение

всего рабочего стажа при ежедневной работе установленной длительности), так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Вредные вещества по степени воздействия на организм подразделяются на четыре класса опасности:

Классификация веществ по ПДК

Класс опасности	ПДК, мг/м ³	Контроль
1 чрезвычайно опасные	Менее 0,1	Непрерывный
2 высоко опасные	0,1–1,0	Непрерывный
3 умеренно опасные	1,1–10	Периодический
4 мало опасные	Более 10	Периодический

К чрезвычайно опасным веществам можно отнести ртуть, свинец и его неорганические соединения, и ряд других. Основу высоко опасных веществ представляют тяжелые металлы, в частности, медь, марганец, хром, цинк и др., а также кислоты – серная, азотная и т.д. К умеренно опасным веществам относятся алюминий, диоксид азота, пропан, метиловый спирт и др. Наименьшую опасность представляют вещества 4-го класса опасности - ацетон, оксид углерода, этиловый спирт, бытовая пыль и др.

В зависимости от класса опасности вредных веществ предъявляются требования к периодичности контроля воздушной среды на рабочих местах, а именно, для веществ I и II классов опасности необходим непрерывный контроль, для веществ III и IV классов опасности – периодический. При непрерывном контроле за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны предусматривается применение систем самопишущих автоматических приборов, выдающих сигнал превышения уровня ПДК. Частота отбора проб при периодическом контроле устанавливается органами санитарного надзора в зависимости от класса опасности веществ, находящихся в воздушной среде, и от характера технологического процесса

Для защиты воздушного бассейна населенных мест от вредных выбросов предприятий содержание пыли в вентиляционных выбросах должно быть не более:

$$\left\{ \begin{array}{l} C = 100k, \text{ для } Q > 4; \\ C = (160 - 15Q)k, \text{ для } Q \leq 4, \end{array} \right. \quad (1)$$

где C – допустимое содержание пыли в вентиляционных выбросах, мг/м³;

Q – расход вентиляционных выбросов, м³/с;

k – коэффициент, принимаемый в зависимости от ПДК пыли в воздухе рабочей зоны помещения (табл. 1).

Значение коэффициента к.

Коэффициент	ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м ³			
	2 и менее	2-4 включительно	4-6	6 и более
k	0,3	0,5	0,8	1,0

При содержании пыли, превышающей допустимое содержание, вентиляционные выбросы необходимо подвергать пылеочистке.

К методам контроля содержания пыли в воздухе предъявляются следующие требования:

1) максимальная общая погрешность определения не должна превышать $\pm 25\%$;

2) степень задержания пыли фильтром должна быть не менее 95%;

3) отбор проб должен проводиться в зоне дыхания человека при характерных производственных условиях с учетом основных технологических процессов, источников выделения пыли и функционирования технологического оборудования;

4) результаты определения концентрации пыли приводятся к нормальным условиям (температура $+20^{\circ}\text{C}$, атмосферное давление 760 мм рт. ст., относительная влажность 50%).

В настоящее время существует несколько методов по определению содержания пыли в воздухе, которые могут быть поделены на две группы - с выделением дисперсной фазы и без ее выделения. К первой группе относятся: гравиметрический (весовой) и счетный методы, а ко второй – оптический, радиационный, фотоэлектрический и др.

Для гигиенического нормирования содержания пыли в воздухе рабочей зоны применяется гравиметрический метод. Применение аппаратов и методика определения зависят от условий отбора пробы запыленного воздуха. Наиболее типичными являются следующие схемы отбора, представленные на рис. 1:

а) из открытой (свободной) атмосферы в производственных помещениях (рис. 1, а);

б) из закрытых объемов, находящихся при нормальных условиях (камеры, боксы и т. п.) (рис. 1, б);

в) из закрытых объемов, находящихся под разрежением или под давлением с направленным потоком воздуха (вентиляционные каналы, воздухопроводы и т.п.) (рис. 1, в).

Кроме контроля за воздушной средой защитными мерами являются автоматизация и механизация технологических процессов, связанных с выделением вредных веществ, их совершенствование; совершенствование

оборудования, использование вентиляции и средств индивидуальной защиты.

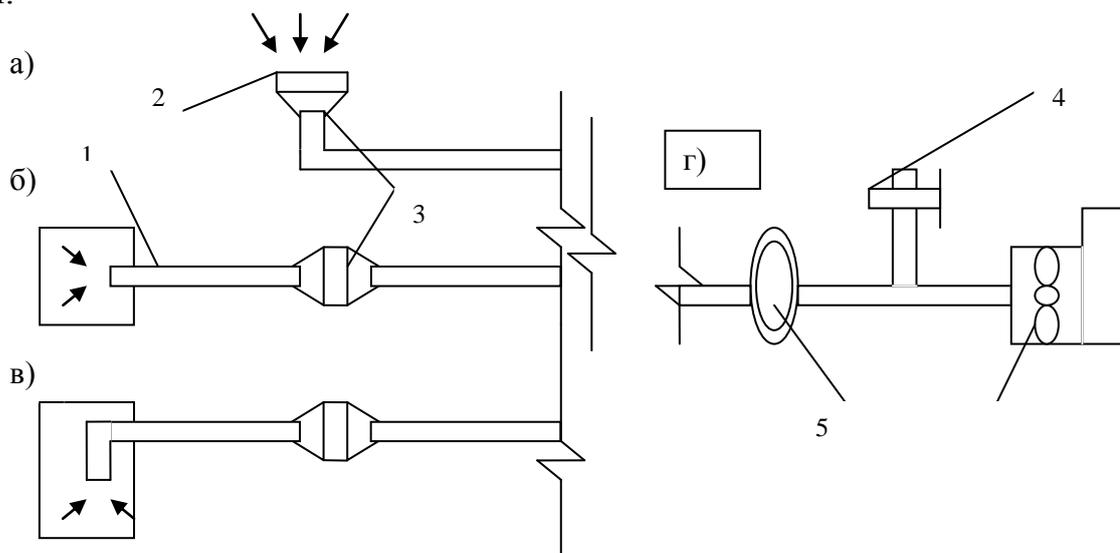


Рис. 1. Схемы отбора проб запыленного воздуха и аспирационной установки

Для любых условий отбора пробы установка состоит из следующих основных узлов: проботборной трубки 1, фильтра 2, фильтродержателя 3; регулятора 4; ротаметра 5 и аспирационной установки (рис. 1 г), которая обеспечивает откачку воздуха из исследуемого объема с регулируемой и измеряемой скоростью.

Наибольшее распространение среди применяемых фильтров нашли аналитические аэрозольные фильтры (АФА), которые имеют высокую степень осаждения (~99,9%) твердых частиц из фильтруемого объема. Конструктивно фильтры АФА (рис. 2 а) состоят из фильтрующего элемента (б) и защитных бумажных колец (в). Фильтры закрепляются в специальных устройствах – аллонжах (рис. 3), которые могут иметь закрытое (рис.3б) и открытое (рис.3а) исполнение.

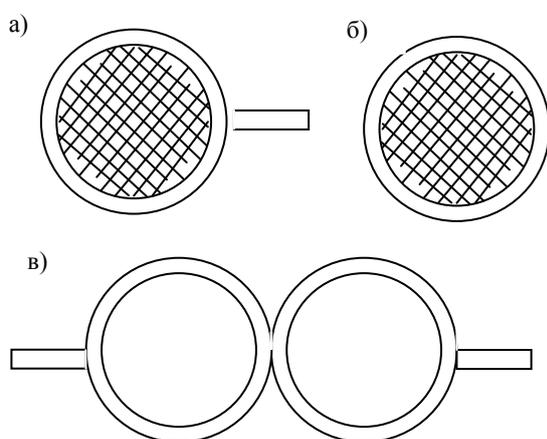


Рис. 2

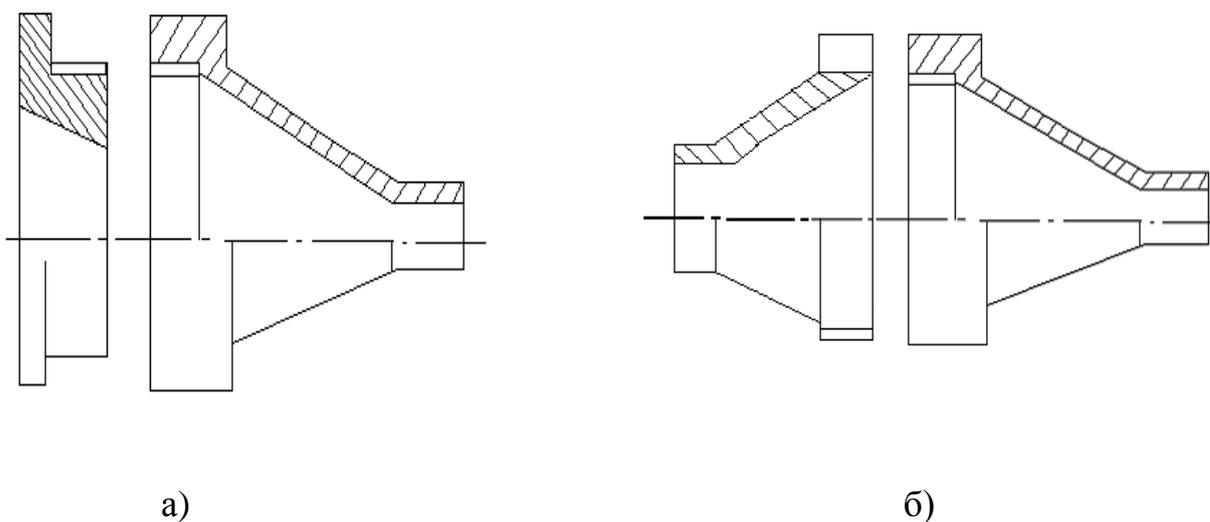


Рис.3

Условия проведения работы

Лабораторная установка, схема которой представлена на рис. 4, позволяет определить содержание пыли в закрытом объеме, находящемся при нормальных условиях. Установка состоит из камеры (А), аспирационного устройства (В) и весов (С).

На камере (А) размещены распыливающее устройство (1), съемный аллонж открытого типа с фильтром АФА и пробоотборной трубкой (2), реле времени создания запыленной среды (3).

На верхней панели аспирационного устройства (В) расположено реле времени работы устройства (4). На передней панели аспирационного устройства расположены ротаметры (5) и регуляторы отбора воздуха из камеры (6), не используемые в данной работе.

На весах имеются клавиши (7) выбора режимов работы.

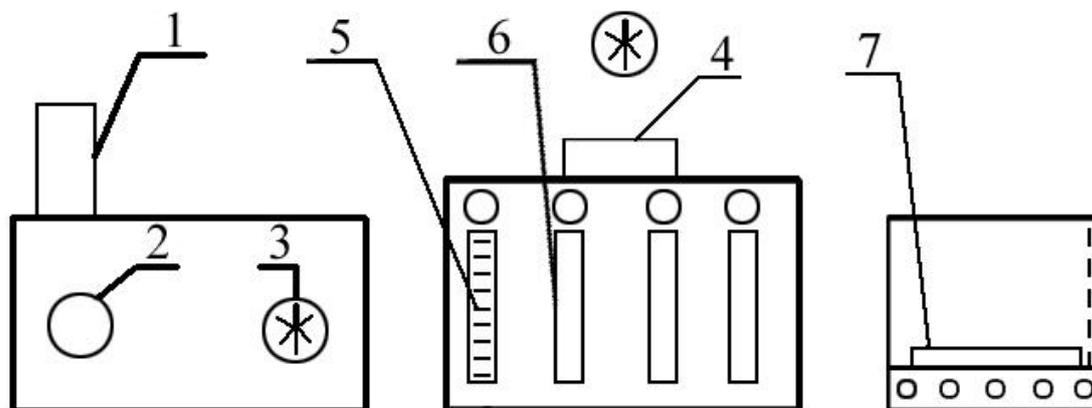


Рис. 4. Лабораторная установка

Методика определения заключается в следующем. Запыленный воздух из исследуемого объема прокачивается с определенной скоростью через фильтр. Привес на фильтре будет равен массе уловленной пыли. Концентрацию пыли в исследуемом объеме можно вычислить по формуле:

$$C = (m_2 - m_1) / V, \quad (2)$$

где C - концентрация пыли в исследуемом объеме, мг/м³;

m_2 - масса фильтра с пылью, мг;

m_1 - масса чистого фильтра, мг;

V - объем прокаченного через фильтр воздуха (м³).

В лабораторных условиях объем прокаченного через фильтр воздуха определяем по формуле

$$V = q \tau \cdot 273P / ((273 + T) \cdot 760) \quad (3)$$

где q - расход прокачиваемого через фильтр запыленного воздуха, м³/с;

τ - время отбора пробы, с;

T - температура воздуха в исследуемом объеме, °С;

P - давление в исследуемом объеме, мм рт. ст.

Порядок выполнения

1. Подготовить фильтр АФА к работе:

а) вынуть фильтрующий элемент из кассеты и снять с бумажной подложки;

б) вложить фильтрующий элемент в защитные кольца;

в) включить весы клавишей;

г) поместить фильтрующий элемент в защитных кольцах в центр платформы весов и занести значение веса чистого фильтра в бланк отчета. Если при пустых весах их показания не равны нулю, необходимо нажать кнопку «Сброс» (-Т-);

д) снять фильтрующий элемент в защитных кольцах с весов, вставить в аллонж и закрепить на камере (А).

2. Создать запыленную среду в камере (А), включив реле (3) на время не менее 2 мин.:

а) установить реле времени (4) на верхней панели аспирационного устройства (В) в положение “25”;

б) установить реле времени отбора пробы (4) на верхней панели камеры (В) в положение соответствующее варианту задания;

в) установить расход воздуха, прокачиваемого через фильтр, с помощью ротаметра (5) в соответствии с вариантом задания;

г) по окончании отбора вынуть фильтрующий элемент в защитных кольцах из аллонжа и положить на платформу весов;

д) занести значение веса запыленного фильтра в бланк отчета;

е) снять значение температуры и давления воздуха в помещении лаборатории с приборов на стенде лабораторной работы №2.

3. Повторить измерения со следующим экземпляром фильтра.

Обработка результатов измерений.

1. По результатам двух опытов вычислить среднюю концентрацию пыли в опытной камере по формулам (3) и (2).

2. Сравнить опытное значение концентрации пыли в камере с ПДК на рабочем месте для пыли заданного состава и сделать выводы.

3. По заданному расходу вентиляционных выбросов и значению ПДК определить по формуле (1) допустимую концентрацию запыленного воздуха, выбрасываемого системами вентиляции в окружающую среду. Сделать вывод о необходимости предварительной очистки воздуха перед выбросом в атмосферу.

4. Результаты исследований и выводы занести в бланк отчета.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Параметры	Значения по вариантам		
	1	2	3
Расход воздуха, прокачиваемого через фильтр, л/мин	6	8	7
Время отбора пробы из опытной камеры (положение рукоятки реле/время в сек.)	1/60	2/120	1/60
ПДК пыли в опытной камере, мг/м ³	2	3	1
Расход вентиляционных выбросов, м ³ /с	2	3	2

Вопросы для самоконтроля

1. Какое действие оказывают вредные вещества (пыли) на организм человека?

2. От чего зависит степень воздействия вредных веществ на организм человека?

3. Каким образом попадают вредные вещества в организм человека?

4. Что такое предельно допустимая концентрация (ПДК)?

5. Какие классы вредных веществ приводятся в ГОСТе? Их ПДК.

6. Какие существуют меры защиты от воздействия вредных веществ?

7. Какие существуют методы определения концентрации пыли в воздухе?

8. В каком случае необходима защита воздушного бассейна от вентиляционных выбросов?

Работа № 4

ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ И ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЕ

Цель работы – приобрести практические навыки в проведении измерений уровня шума и характеристик звукоизоляции конструкционных материалов.

Общие сведения

Работа производственного оборудования, транспорта, бытовой техники часто сопровождается излучением шума чрезмерно высокого уровня, вредно воздействующего на человека. Поэтому, для создания безопасных условий жизнедеятельности необходимо применение мер защиты от шума. В данной лабораторной работе рассматриваются вопросы вредного воздействия шума на человека в зависимости от характеристик шума, вопросы нормирования, измерения и расчета характеристик шума и эффективного использования защитных средств. Дано описание основных методов измерений шумовых характеристик.

Под **шумом** понимают беспорядочное сочетание звуков различных по силе и частоте, возникающих в результате колебательного процесса в упругой среде в диапазоне частот, воспринимаемых ухом человека (f от 16 Гц до 20 кГц). Различные по частоте (высоте тона) и интенсивности (громкости) звуки распространяются со звуковой скоростью в виде продольных колебаний в упругой воздушной среде. Звуковые волны подчиняются законам интерференции (наложения) и дифракции (огибание препятствий, линейные размеры которых меньше длины волны λ).

В большинстве случаев шум возникает в результате механических колебаний деталей машин и образования при этом волн разрежения-сжатия в прилегающих к колеблющимся поверхностям слоях воздуха. Причиной звукообразования могут быть динамические процессы в газах и жидкостях в проточных частях энергетических машин, приводящие к образованию ударных волн, «гидравлических ударов» и турбулентных вихрей.

К шуму относят звуковые колебания в диапазоне частот от 16 до 20000 Гц (более низкие частоты относятся к инфразвуку, а более высокие – к ультразвуку, которые также могут вредно воздействовать на здоровье человека). Амплитуду звукового давления величиной $2 \cdot 10^{-5}$ Па (Н/м^2) на частоте 1000 Гц называют порогом слышимости p_0 , а амплитуда величиной 20 - 200 Па вызывает болевые ощущения и повреждения слухового аппарата (в зависимости от времени воздействия).

Интенсивность звука I определяется соотношением:

$$I = \frac{p^2}{\rho c} \left(\frac{Bm}{m^2} \right)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м^3 , c – скорость звука (для воздуха 340 м/с, для воды 1500 м/с, для стали 5000 м/с). В качестве характеристик шума используют уровни звукового давления: $L(\text{дБ}) = 20 \lg \frac{p}{p_0}$ и интенсивности:

$L(\text{дБ}) = 10 \lg \frac{I}{I_0}$, где индекс “0” относится к соответствующим пороговым значениям ($I_0 = 10^{-12} \text{Вт/м}^2$). Шумы классифицируют по спектральным характеристикам (широкополосные и тональные) и по временным (постоянные и непостоянные - колеблющиеся, прерывистые и импульсные).

Поскольку интенсивность звука нескольких источников является суммой интенсивностей звука каждого источника звука I_i , то соответственно уровень равен:

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{I_0}$$

Отсюда для двух равных источников шума будем иметь:

$$\Sigma L = 10 \lg (2I/I_0) = L_1 + 10 \lg 2$$

Например: если $L_1 = 80$ дБ, число равных источников $N = 2$, то $\Sigma L = 83$ дБ (но никак не 160 дБ). При источниках неодинаковой «шумности» суммарный эффект будет определять, как правило, самый сильный источник; это утверждение тем верней, чем больше разница по шуму источников.

При уровне шума порядка 40-70 дБ создается значительная нагрузка на нервную систему человека, что ухудшает самочувствие и является причиной неврозов. При уровне шума 90 дБ и более может произойти потеря слуха. При воздействии шума свыше 140 дБ возможен разрыва барабанных перепонки.

Орган слуха человека неравномерно воспринимает низкочастотные и высокочастотные звуки: звуки, воспринимаемые на слух одинаково громкими, могут различаться по давлению в 10 раз и более. Неравномерно вредное воздействие шума на человека: с увеличением частоты опасность возрастает. В связи с этим в нормативных документах предписаны предельно допустимые уровни звукового давления, уменьшающиеся с повышением частоты шума. Эти значения рассматриваются в 9-ти октавных полосах со среднегеометрическими частотами: $f_{сз} = 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000$ и 8000 Гц, ограниченных сверху и снизу соответственно верхней f_v и нижней f_n граничными частотами. При этом значения f_v, f_n , и $f_{сз}$ связаны между собой соотношениями: $f_v = 2f_n$; и $f_{сз} = \sqrt{f_v \cdot f_n}$.

Октавные уровни звукового давления выражаются в децибелах (дБ) и вычисляются по формуле:

$$L = 20 \lg (p_{cp}/p_o), \quad (1)$$

где p_{cp} – среднеквадратическое звуковое давление, Па.

Таким образом, уровень интенсивности шума от порога слышимости до порога болевого ощущения изменяется в пределах: 0-140 дБ. Шумомер (измерительный прибор) в режиме измерений октавного уровня звукового давления показывает значение энергетической суммы звуковых давлений, создаваемых в расчетной точке (РТ) всеми частотными составляющими шума в данной октавной полосе. Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в указанных выше 9-ти октавных полосах.

Для ориентировочной оценки шумовой обстановки нормативные документы предлагают использовать показатель, называемый уровнем звука, который выражается в “децибелах А” (дБА) и вычисляется по формуле:

$$L_A = 20 \lg (p_A/p_o), \quad (2)$$

где p_A – скорректированное по шкале «А» шумомера звуковое давление, Па. Практически $L_A = (L_{1000 Гц} + 5) дБ$.

В режиме измерений уровня звука шумомер показывает энергетическую сумму всех частотных составляющих шума от 22,5 до 11300 Гц, скорректированных следующим образом: в уровень каждой частотной составляющей вносится поправка, зависящая от значения частоты. Считается, что уровни звука, выраженные в дБА, соответствуют субъективному воздействию шума на человека.

Формула энергетического суммирования, по которой определяется суммарный октавный уровень звукового давления (дБ) или звука (дБА) имеет вид:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i} \right) \quad (3)$$

где n - общее число суммируемых уровней октав; L_i - уровень звукового давления или звука i -го члена суммы.

Для случаев, когда действие шума на человека носит изменяющийся во времени характер, нормативные документы требуют определения дозы шума или эквивалентного уровня звукового давления:

$$L_e = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i 10^{0,1 L_i} \right), \quad (4)$$

где T – период времени действия шума; L_i – октавный уровень звукового давления, действующий в течение временного отрезка t_i ;

$$T = \sum_{i=1}^n t_i$$

Эквивалентный уровень звука, выражаемый в дБА, вычисляется по той же формуле (4) где под знак суммы подставляются значения L_{Ai} эквивалентного уровня звука, дБА.

Установленные нормативными документами допустимые октавные уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности человека, учитывающие категории тяжести и напряженности труда, а также проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на прилегающей территории жилой застройки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест, для помещений жилых и общественных зданий и территории жилой застройки.

№ п / п	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность.	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2	Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные аналитические работы в лаборатории	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60
3	Работа, выполняемая с часто получаемыми указаниями и акустическими сигналами; работа, требующая постоянного слухового контроля; операторская работа по точному графику с инструкцией; диспетчерская) работа.	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
4	Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

№ п / п	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со средне-геометрическими частотами, Гц									Уровни звука дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
5	Выполнение всех видов работ (за исключением перечисленных в пп. 1-4 и аналогичных им) на постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
6	Классные помещения, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории школ и других учебных заведений, конференц-залы, читальные залы библиотек	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40
7	Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах	79	63	52	с	7 ч	до	23 ч	30	28	40
		72	55	44	с	23 ч	до	7 ч			
9	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, зданиям амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений.	90	75	с	7ч	54	до	23ч	45	44	55
		83	67	с	23ч	44	до	7ч			

Запрещается даже кратковременное пребывание человека в зонах с октавными уровнями свыше 135 дБ. В зонах меньшей шумности разрешается пребывание человека в течение отрезка времени, величина которого определяется, исходя из допустимой нормы эквивалентного шума.

Превышение действующего уровня звукового давления над допускаемым хотя бы в одной октавной полосе частот и хотя бы на 1 дБ, требует принятия мер к снижению шумности на данном рабочем месте.

Защита от шума.

Защита работающих от шума при разработке и модернизации технологических процессов, проектировании производственных участков, зданий и сооружений и организации рабочих мест осуществляется техническими средствами и организационными мероприятиями.

К техническим средствам защиты от шума относятся:

-выбор наименее шумных технологических процессов и оборудования;

-борьба с шумом в источниках звукообразования (например, для зубчатой передачи - повышением класса чистоты и точности изготовления; использованием «незвучных» материалов; улучшением смазки; применением подшипников скольжения вместо подшипников качения и т.д.);

-ослабление интенсивности шума на путях его распространения с помощью звукоизолирующих и звукопоглощающих устройств (звукоизолирующих кожухов, кабин наблюдения и дистанционного управления, глушителей шума, звукопоглощающих облицовочных конструкций на основе волокнисто-пористых материалов), применением принципа защиты расстоянием;

-средства индивидуальной защиты (СИЗ): наушники, шлемы, беруши и т.п.

Для ограничения вредного действия шума проводятся следующие организационные мероприятия:

-выбор рационального режима труда и отдыха, введение перерывов на отдых в течение рабочей смены;

-регулярное медицинское освидетельствование работников «шумных» профессий;

-применение знаков безопасности (повышенной шумности).

Борьба с шумом в источниках звукообразования дает наибольший положительный результат, но требует больших материальных затрат.

Звукоизолирующие устройства характеризуются как наиболее эффективные, простые и экономичные средства защиты от шума, которые следует применять всегда, когда это оказывается возможным.

Характеристика звукоизоляции плоской однослойной перегородки – элемента конструкции звукоизолирующего укрытия – рассчитывается по формуле, дБ:

$$\Delta L_{расч} = G - H \cdot \lg \psi, \quad (8)$$

где G и H – коэффициенты звукоизоляции (табл. 2);

$\psi = f_{кр}/f_{сг}$ – коэффициент частоты;

$f_{сг}$ – среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц;

$f_{кр}$ – критическая частота (резонансная частота поперечных колебаний перегородки), Гц, вычисляемая по формуле:

$$f_{кр} = \frac{6,4 \cdot 10^4}{d \cdot C_{пр}}, \quad (9)$$

где d – толщина перегородки, м;

$C_{пр}$ – скорость распространения продольных звуковых волн в материале перегородки, м/с (табл.2).

Например, для стальной перегородки толщиной 10 мм величина $f_{кр}=1230$ Гц. Поскольку в октаве со среднегеометрической частотой $f_{сг}=31,5$ Гц коэффициент частоты $\psi_{31,5}=1230/31,5=39 > 4$, то характеристика звукоизоляции перегородки в этой октаве $\Delta L_{расч}=43-13,3 \lg 39=21,8$ дБ. Аналогично в октавах со среднегеометрическими частотами: 63, 125, 250, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц характеристика звукоизоляции перегородки соответственно: 25,8; 29,8; 33,8; 36,4; 32,1; 36,3; 44,7 и 52,7 дБ.

Характеристика звукоизоляции показывает, на сколько дБ снижаются октавные уровни звукового давления с помощью звукоизолирующего устройства, изготовленного из данного материала.

Глушители шума имеют широкое распространение, например, являются составной частью систем вентиляции и кондиционирования воздуха, обязательны к применению в изделиях предприятий автомобиле- и авиастроения. Характеристики звукоизоляции глушителей даны в справочниках и каталогах предприятий-изготовителей.

Второе по значимости и распространенности техническое средство снижения уровней шума в производственных помещениях - звукопоглощающие облицовочные конструкции и материалы.

СИЗ обязательны к применению в рабочих зонах повышенной шумности, однако эффект от их использования незначителен. Эти средства не могут рассматриваться как равноценная замена технических средств защиты от шума.

Таблица 2

Коэффициенты частоты и скорость продольных звуковых волн в различных конструкционных материалах.

Материал перегородки	Скорость продольной звуковой волны $C_{пр} 10^3$, м/с	Коэффициент частоты											
		$\Psi \geq 4$		$4 > \Psi \geq 2$		$2 > \Psi \geq 1,6$		$1,6 > \Psi \geq 1$		$1 > \Psi \geq 0,5$		$\Psi < 0,5$	
		Коэффициент звукоизоляции											
		G	H	G	H	G	H	G	H	G	H	G	H
Сталь	5,2	43	13,3	39	6,7	30	23,3	30	23,3	30	30,0	31	26,7
Алюминиево-магниево-сплавы	5,1	36	13,3	34	10,0	22	30,0	22	30,0	22	26,7	22	26,7
Органическое стекло	1,9	41	13,3	39	10,0	36	0	30	30,0	30	26,7	30	26,7
Фанера	2,1	34	13,3	30	6,7	25	10,0	25	10,0	25	16,7	22	26,7
Стеклопластик	3,5	36	13,3	34	10,0	28	10,0	28	10,0	28	16,7	25	26,7
Силикатное стекло	4,0	40	16,6	40	16,6	29	19,9	29	19,9	29	26,6	31	19,9

Порядок выполнения работы.

Подключить выход с функционального генератора ФГ-100 к входным гнездам «Генератор» стенда «Звукоизоляция и звукопоглощение», регулятор «частота /Гц/» генератора установить в положение «3,15», множитель частоты установить в положение «10», переключатель «форма» выходного сигнала установить в положение «~», регулятор «Амплитуда /В/» установить в положение «3/В/», подключить генератор к сети нажатием тумблера на задней панели вверху слева. Должен прослушиваться звук на частоте 31,5 Гц, излучаемый динамиком стенда.

Нажатием верхней клавиши  включить шумомер «VOLTcraft» 329. Нажатием клавиш «MAX», «A/C» и «FAST/SLOW» настроить рабочий режим шумомера, при котором на его цифровом индикаторе читаются надписи: «SLOW» и «dBC» (мелким шрифтом). Нажатием нижней клавиши «LEVEL» выбрать рабочий диапазон усиления шумомера, соответствующий показанию цифрового индикатора (крупным шрифтом). Если, например, на индикаторе читается число «70 dBC», то нажатием клавиши «LEVEL» необходимо настроить режим усиления, при котором на индикаторе читаются нижний - верхний пределы усиления «60-90» dBC (в нижней строке мелким шрифтом). Зафиксировать результаты измерения уровня звукового давления по индикатору шумомера и занести его в колонку «Установка б/экрана, Абсолютный уровень шума, дБ», строка «31,5» Гц. Регулятором и множителем частоты настроить частоту выходного сигнала генератора 63 Гц, произвести отсчет уровня звукового давления по индикатору шумомера и результат занести в строку «63» Гц отчета. Повторить измерения уровней звукового давления на частотах 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц.

Генератор ФГ – 100 отключить от сети.

Далее провести измерения при наличии звукоизолирующих материалов. Для этого необходимо откинуть крышку стенда, совместить отверстие звукоизолирующей коробки с микрофоном шумомера, закрыть крышку стенда, включить генератор в сеть. Либо использовать на выбор (или по указанию преподавателя) звукоизолирующие перегородки.

Произвести измерения уровней звукового давления на частотах от 31,5 до 8000 Гц. Результаты занести в графу L_2 «Шумозаглушающие материалы. Абсолютный уровень шума, дБ». Выключить генератор и шумомер. В строку «Измеренных на установке характеристик звукоизоляции выбранного образца $L_{\text{экс}}$, дБ» таблицы отчета занести арифметическую разность результатов измерений уровней звукового давления, создаваемого динамиком на микрофоне при свободном распространении звука и при экранировании микрофона звукоизолирующей коробкой ($L_1 - L_2$). В графу $L_{\text{доп}}$ вписать нормы шума из таблицы 1 согласно заданию.

Построить графики. Сделать выводы об эффективности звукоизолирующей коробки.

В усложненном варианте задания произвести расчет характеристики звукоизоляции стенки коробки (материал: фанера, $h=8$ мм), результаты расчета занести в таблицу отчета и представить на графике. Сделать выводы о степени согласованности результатов измерений и расчета характеристики звукоизоляции материала коробки.

Вопросы для самоконтроля

1. Каким свойством должна обладать среда, чтобы в нем распространялись звуковые волны?
2. Чем уровень звукового давления отличается от уровня звука?
3. Назовите слышимый частотный диапазон звуковых волн.
4. Как осуществляется нормирование шума для основных видов трудовой деятельности человека?
5. Каково медико-биологическое воздействие повышенного уровня шума на организм человека?
6. Назовите технические средства защиты от шума.
7. Назовите организационные мероприятия для ограничения вредного воздействия повышенного шума на человека.
8. Какими параметрами определяется резонансная (критическая) частота поперечных колебаний перегородки - элемента звукоизолирующего перекрытия?
9. Назовите средства индивидуальной защиты органов слуха от шума.
10. Какими параметрами определяется акустическая постоянная производственного помещения?
11. Как изменяется уровень интенсивности шума от порога слышимости до порога болевого ощущения?
12. Какими исходными данными надо обладать для вычисления эквивалентного уровня звукового давления?

Работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ

Цель работы — определить экспериментальным путем эффективность применения пружинных амортизаторов для снижения уровня вибраций.

Общие сведения

Вибрация – это колебательное движение материальной точки или механической системы.

Причиной возникновения вибраций являются возмущающие силы, которые возникают при работе машин. Их источниками могут быть движущиеся возвратно-поступательные детали, например, в поршневых двигателях, компрессорах, виброуплотнителях бетонных и асфальтобетонных смесей, пневматических молотах и других виброинструментах и машинах. Возмущающие силы возникают также при вращении неуравновешенных масс, например, роторов электрических машин, паровых и газовых турбин, а также при вращении любых деталей, в которых может появиться дисбаланс или из-за неточности изготовления, или из-за конструктивных особенностей машины.

Вибрации, возникающие при работе машин, при отсутствии защиты передаются на организм человека, вызывая в нем функциональные расстройства. По характеру воздействия на организм различают общую и локальную (местную) вибрации. Общая вибрация организма возникает при передаче колебаний через площадку, основание или пол при работе стоя или через сиденье при работе сидя. Локальные вибрации воздействуют на руки рабочего при работе с механизированным электрическим и пневматическим инструментом или передаются через органы управления машиной при работе на дорожных механизмах, строительных и транспортных машинах.

Отдельные части тела и внутренние органы (например, голова, сердце, желудок, печень) можно рассматривать как колебательные системы с определенной массой и упруговязкими связями. Такие системы обладают собственными частотами колебаний, и при совпадении частоты вибрации (вынужденных колебаний) с этими частотами возникают резонансные колебания, которые особенно опасны для организма человека. Так собственная частота органов, расположенных в грудной клетке и брюшной полости, составляет 3 – 3,5 Гц, головы в положении сидя – 20 а зрительного аппарата 60 – 90 Гц. Поэтому при соответствующих частотах вибраций затруднено зрительное восприятие изображений, осуществляется воздействие на вестибулярный аппарат.

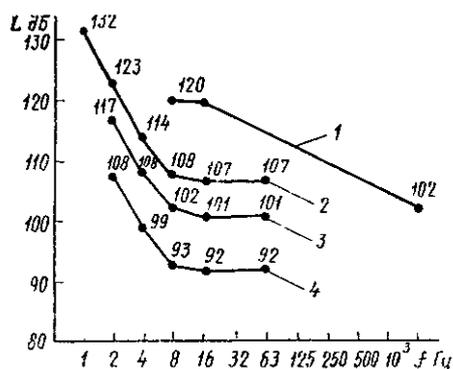


Рис. 1 Нормы уровней вибрации

Локальные вибрации вызывают спазмы (сужения) сосудов, изменения в нервно-мышечной системе и костно-суставном аппарате. Ухудшается снабжение кровью пальцев рук, кисти или рук в целом, нарушается тактильная чувствительность кожи, уменьшается подвижность суставов, возникают боли в суставах, руки становятся более чувствительными к холоду. Эти симптомы сопутствуют заболеванию, называемому **виброблезнью**. **Виброблезнь** — это профессиональное заболевание, которое поддается эффективному лечению только на ранних стадиях. В более тяжелых случаях заболевание приводит к инвалидности.

Нормы вибраций (рис. 1) установлены стандартом (ГОСТ 12.1.012 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.). Этим стандартом при частотном анализе установлены допустимые средние квадратичные значения виброскорости или ускорения (или их логарифмические уровни, измеренные в дБ): 1 - локальной, 2 – транспортной, 3 – транспортно-технологической, 4 – технологической.

Диапазон частот вибраций разбивается на октавные полосы со среднегеометрическими частотами 1, 2, 3, 4, 8, 16, 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000 Гц.

Среднегеометрическая частота

$$f_{cp} = \sqrt{f_1 f_2},$$

где f_1 и f_2 — граничные частоты полосы; в октавной полосе $f_2 = 2f_1$.

Частота

$$f = 1/T, \text{ Гц}$$

где T — период колебаний, с.

Угловая частота

$$\omega = 2\pi f.$$

Кроме частоты, вибрацию характеризуют следующие параметры: u_m — амплитуда смещения, м; V_m — амплитуда скорости, м/с; a_m — амплитуда ускорения, м/с².

В практике виброакустических исследований вибрации оцениваются не амплитудными значениями параметров, а действующими значениями,

т. е. средними квадратичными значениями мгновенных значений параметра.

При гармонических колебаниях средние квадратичные значения виброскорости и виброускорения можно выразить через амплитудные значения соответственно

$$V = V_m / \sqrt{2},$$
$$a = a_m / \sqrt{2}.$$

Виброскорость и виброускорение принято выражать в уровнях параметра относительно условного нулевого порога. Уровень параметра — это логарифмическое отношение абсолютного значения параметра к пороговому (опорному) значению, выбранному в качестве начала отсчета.

Уровень виброскорости

$$L_V = 10 \lg(V^2/V_0^2) = 20 \lg(V/V_0) \text{ дБ},$$

уровень виброускорения

$$L_a = 20 \lg(a/a_0) \text{ дБ}$$

$V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с и $a_0 = 10^{-6}$ м/с² — пороговые значения виброскорости и виброускорения.

Методы и средства защиты от вибрации

Классификация средств и методов защиты от вибрации определяется соответствующими нормативными документами: (Средства измерения и контроля вибрации на рабочих местах. Технические требования.). Средства защиты от вибрации делятся на коллективные и индивидуальные. Средства коллективной защиты, в свою очередь, делятся на воздействующие на источник возбуждения и средства защиты от вибрации на путях ее распространения.

К первым относятся динамическое уравнивание, антифазная синхронизация, изменение характера возмущающих воздействий, изменение конструктивных элементов источника возбуждения, изменение частоты колебаний. Используются, как правило, на этапе проектирования или изготовления машины.

Средства защиты от вибрации на путях ее распространения могут быть заложены в проекты машин и производственных участков, а могут быть применены на этапе их эксплуатации.

Одним из распространенных способов защиты работающих от вибрации является виброизоляция машин. Под виброизоляцией понимают установку машины на амортизаторы, т. е. на упругие элементы, пружинные или резиновые, обладающие небольшой жесткостью. С применением амортизаторов уменьшается передача вибраций от машины на основание. Передача вибраций зависит от соотношения частот — собственной частоты колебаний системы и частоты вынужденных колебаний. Собственная частота колебаний машины, установленной на амортизаторы, определяется свобод-

ными колебаниями, возникающими при отсутствии возмущающих сил. Свободные колебания происходят с собственной частотой ω_0 , которая зависит только от параметров системы:

$$\omega_0 = \sqrt{K/m},$$

где K — жесткость амортизаторов, Н/м;

m — масса машины, кг.

Частота вынужденных колебаний определяется частотой возмущающей силы. Если возмущающая сила возникает из-за вращения неуравновешенной массы с угловой скоростью ω , то частота вынужденных колебаний равна ω , при этом смещение машины изменяется по гармоническому закону $y = Y_m \sin \omega t$, где y — смещение машины, м; Y_m — амплитуда смещения, м; ω — частота вынужденных колебаний, 1/с.

Амплитуда колебаний в установившемся режиме

$$Y_m = \frac{1}{\left|1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right|} \cdot \frac{F_m}{K} = \mu \frac{F_m}{K}, \quad (1)$$

где F_m — амплитуда возмущающей силы, Н;

μ — коэффициент передачи.

Коэффициент передачи — это отношение амплитуды силы, передающейся через пружины на основание, к амплитуде возмущающей силы. Коэффициент передачи зависит от соотношения частот:

$$\mu = \left|1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right|^{-1} \quad (2)$$

В этой формуле $F_{осн}$ — амплитуда силы, действующей на основание.

При изменении частоты вынужденных колебаний от 0 (машина не работает) до определенной постоянной величины (заданная скорость вращения вала двигателя) коэффициент передачи сначала увеличивается и при совпадении частот $\omega/\omega_0 = 1$ стремится теоретически к бесконечности. При этом возникает резонанс колебаний, а амплитуда резко возрастает. Затем коэффициент передачи с ростом частоты ω уменьшается, амплитуда колебаний при этом также уменьшается. Коэффициент передачи дважды принимает значение $\mu=1$ при $\omega=0$ и при $\omega/\omega_0 = \sqrt{2}$.

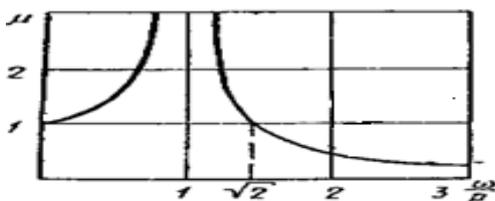


Рисунок 2 Теоретическая резонансная кривая

Когда $\omega/\omega_0 > \sqrt{2}$, коэффициент передачи $\mu < 1$, при этом вибрации, передающиеся на основание через амортизаторы (пружины), становятся меньше вибраций, передающихся от машины, установленной без амортизаторов на основание. Амортизаторы подбирают с запасом, чтобы отношение частот получалось $\omega/\omega_0 \geq 3$. Тогда работа амортизаторов считается эффективной, а коэффициент передачи принимает значение $\mu < 1/8$.

Уменьшение передачи вибраций от машины на основание установкой ее на амортизаторы называется **виброизолирующей** машин.

Благодаря виброизоляции машин уменьшаются вибрации на рабочих местах, расположенных вблизи от машины, но вибрации самой машины могут оставаться достаточно большими.

Виброизоляция машины может быть определена расчетом. Расчет амортизаторов проводится в следующем порядке. Исходными данными для расчета являются параметры вибраций: амплитуда виброскорости (или амплитуда смещения и виброускорения), частота вынужденных колебаний, число и параметры пружин, массы машины с основанием и фундаментной плиты. Жесткость пружинных амортизаторов (Н/м) определяется по формуле

$$K = \frac{Gd^4n}{8D^3i}, \quad (3)$$

где G — модуль сдвига стали, Н/м²; d — диаметр проволоки пружины, м; D — диаметр пружины, м; i — число витков пружины; n — число пружин.

Собственная частота колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}}, \quad (4)$$

где m_1 — масса машины с основанием, кг;

m_2 — масса фундаментной плиты, кг.

Среднеквадратичное значение виброскорости установки (м/с) без амортизаторов

$$V_1 = V_m / \sqrt{2},$$

где V_m — амплитуда виброскорости.

Среднеквадратичное значение виброскорости установки с амортизаторами

$$V_2 = \mu V_1 \text{ (м/с)}.$$

Логарифмические уровни виброскорости установки (дБ) без амортизаторов и с амортизаторами соответственно

$$L_1 = 20 \lg(V_1/V_0), \quad L_2 = 20 \lg(V_2/V_0). \quad (5)$$

Полученные уровни виброскорости сравниваются с допустимыми уровнями.

Когда частота возмущающей силы (от машины) приближается к собственной частоте колебаний внутренних органов и отдельных частей тела,

действие вибраций становится весьма опасным, так как возможно повреждение отдельных частей тела. Особенно опасны вибрации для отдельных органов, прежде всего для головного мозга, с частотой 6 - 9 Гц, а для рук — 30 - 80 Гц.

Гигиеническую оценку вибрации, воздействующей на человека, производят: или частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра; или интегральной оценкой по частоте нормируемого параметра; или дозой вибрации.

В зависимости от принятого метода гигиенической оценки вибрации нормируются различные гигиенические характеристики вибрации. (ГОСТ 12.1.012—90 и СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация. Вибрация в помещениях жилых и общественных зданий).

При частотном (спектральном) анализе нормируемыми являются кинематические параметры: средние квадратические значения виброскорости (или их логарифмические уровни L_v) или виброускорения для локальной вибрации - в октавных полосах частот; для общей вибрации в октавных и 1/3-октавных полосах частот.

Общая и локальная вибрации нормируются отдельно в октавных полосах частот (для общей и локальной вибрации существуют свои октавные полосы).

Условия проведения работы

Установка по исследованию виброизоляции машины (рис.3) состоит из электродвигателя 1, основания электродвигателя 2, сменных амортизаторов 3, индукционного датчика 4, фундаментной плиты 5, пускорегулирующего аппарата с пусковой кнопкой 9, ручкой регулирования скоростей 8, выключателя 7 и электронно-лучевого осциллографа 6.

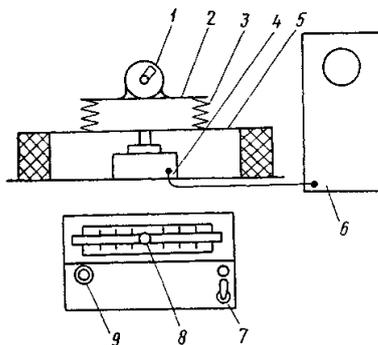


Рис. 3 Схема лабораторного стенда.

При включении электродвигателя вращается закрепленный на валу дисбаланс. Возмущающая сила, которая возникает при этом, вызывает вибрации электродвигателя и его основания. Если электродвигатель с

основанием закреплен жестко на фундаментной плите с помощью винтов, то вибрации полностью передаются на фундаментную плиту.

При установке между основанием и фундаментной плитой пружинных амортизаторов передача вибраций на фундаментную плиту изменяется. Под фундаментной плитой установлен индукционный датчик, электрический сигнал от которого подается на электронно-лучевой осциллограф. На экране осциллографа получается графическое изображение виброскорости, так как величина электрического сигнала пропорциональна скорости перемещения магнитного сердечника датчика.

Задание на работу

Измерить вибрации при установке машины без амортизаторов и с амортизаторами. По результатам измерений определить эффективность виброизоляции машины.

В усложненных вариантах работы следует также рассчитать эффективность виброизоляции машины (см. табл. 1).

Таблица 1

Номера вариантов заданий

Вариант задания	1	2	3	4	5	6
Исследование амортизаторов №	1, 2	2, 3	2, 4	1, 4	2, 4	1, 3
Расчет амортизатора №	-	-	-	3	1	4
Частота вынужденных колебаний, Гц	-	-	-	44	32	16
Амплитуда виброскорости, м/с	-	-	-	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$

Исходные данные для расчета

Масса электродвигателя с основанием $m_1 = 2$ кг.

Масса фундаментной плиты $m_2 = 2$ кг.

Модуль сдвига стали $G = 8 \cdot 10^{10}$ Н/м².

Число амортизаторов $k = 4$.

Параметры пружины даны в табл.2.

Порядок выполнения работы

1. Включить осциллограф и установку.
2. Установить электродвигатель на фундаментную плиту без амор-

тизаторов и закрепить его винтами.

3. Изменяя частоту вращения электродвигателя от 8 до 44 Гц, измерить по экрану осциллографа двойную амплитуду колебаний A (см). Для этого на частоте 44 Гц ручку усилителя осциллографа $B/\text{дел}$ канала B установить в положение 20 мВ/дел). Это положение является опорной точкой для последующих измерений. Величина измеряемого сигнала должна лежать в этом случае в интервале 3-7 см (дел). Если при последующих измерениях сигнал на экране будет мал, необходимо изменить усиление осциллографа, переключив ручку в положение «10 мВ/дел», «5» мВ/дел. Если сигнал велик – в положение «50мВ/дел», «100 мВ/дел» и т.д. В этом случае следует пропорционально изменить величину измеряемого сигнала, либо уменьшив в 2 и более раз. Или, соответственно, увеличив в 2,5, 5 раз. Занести результаты измерений в бланк работы.

4. Установить поочередно амортизаторы согласно заданию между основанием двигателя и фундаментной плитой (ножки основания электродвигателя должны входить в пружины амортизаторов), повторить опыт по п. 3.

Таблица 2

Технические параметры пружин

Номер амортизатора	1	4	3
Диаметр пружины D , м	$18 \cdot 10^{-3}$	$22 \cdot 10^{-3}$	$28 \cdot 10^{-3}$
Диаметр проволоки пружины d , м	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Число витков пружины i	8	13	8

Обработка результатов измерения

1. По формуле

$$V = A / (B\sqrt{2}),$$

где V — среднеквадратичная виброскорость, м/с;

A — двойная амплитуда (размах) колебаний на осциллографе, см;

B — калибровочный коэффициент; $B = 470 \text{ см} \cdot \text{с/м}$,

определить среднеквадратичные значения виброскорости и внести в бланк отчета.

2. Определить логарифмические уровни виброскорости (дБ) по формуле

$$L = 20 \lg (V/V_0)$$

и внести их в бланк отчета.

3. Пользуясь данными измерений и нормами вибраций (**технологическая вибрация**), построить полученные уровни виброскорости и допустимый уровень виброскорости в координатах L (дБ); f (Гц).

Определить по графикам, на сколько децибел уровень виброскорости установки без амортизаторов превышает норму, какие амортизаторы и на каких частотах обеспечивают снижение уровня виброскорости ниже нормы. Полученные в расчете уровни виброскорости сравнить с допустимым уровнем.

Содержание работы № 5а

1. Описание лабораторной работы.

Схема лабораторного стенда представлена на рис. 1. Вибростенд 1 приводится в действие от генератора низкочастотных сигналов 2. На вибростоле 3 вибростенда устанавливается объект виброизоляции 4 посредством сменного виброзащитного модуля 5 (две параллельные пластины, между которыми установлены пружинные виброизоляторы или виброизолирующие прокладки), либо посредством жесткого модуля 6. К объекту виброизоляции 4 прикреплен вибродатчик 7 типа ДН-3, считывающий характеристики виброускорения объекта в направлении вертикальной оси координат Z . Значения виброускорений определяются по показаниям осциллографа 8, на вход которого поступают сигналы от вибродатчика 7.

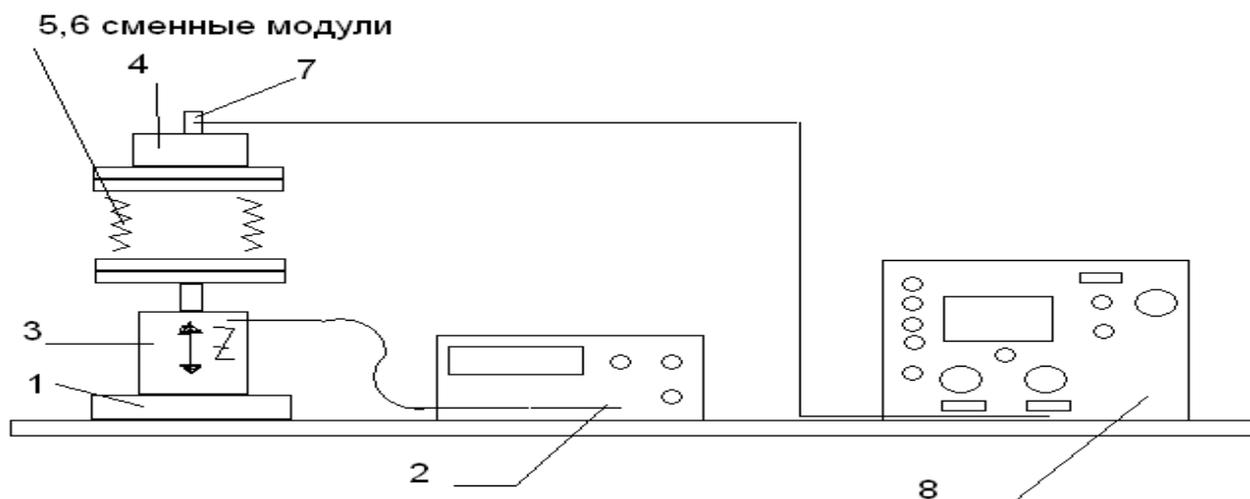


Рис. 1 Схема лабораторного стенда

2. Порядок выполнения работы

Ознакомиться с содержанием разделов «Общие сведения», «защита от вибрации», «методы и средства защиты от вибрации», изложенные в описании к лабораторной работе 5.

Закрепить объект виброизоляции 4 с установленным на нем вибродатчиком 7 на жестком модуле 6, затем жесткий модуль закрепить на вибростоле 3.

Переустановку модулей проводить аккуратно. Для этого необходимо открутить гайки винтов, соединяющие модуль с объектом виброизоляции 4 и вибростолом 3. Причем, гайки откручивать не до конца, а до тех пор, пока не появится возможность «физического» отсоединения объекта виброизоляции со сменным модулем и сменного модуля с вибростолом. Не пытайтесь разобрать другие части установки!

Подготовить генератор сигналов 2 к работе:

- подключить вибростенд 1 к выходным гнездам генератора с помощью двух штекеров, проследив за тем, чтобы цвет присоединяемого провода совпадал с цветом гнезда (красный с красным, черный с черным);
- регулятор выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ установить в положение 8В; переключатель диапазонов частот установить в первоначальное положение 2 – 20 Гц;
- проконтролировать подключение вибродатчика 7 к входному гнезду милливольтметра.

Подключить генератор и осциллограф к сети штепсельными вилками, выключателем на задней панели генератора и кнопкой «сеть» на передней панели осциллографа – через 3 минуты после включения стенд готов к работе.

Произвести измерение величины амплитуды виброускорения, а затем расчет соответствующего уровня виброскорости на первоначальной частоте 2 Гц, указанной в строке «частота колебаний» таблицы «результаты измерений отчета», для этого:

- регулятором подстройки частоты «частота» с точностью до второй значащей цифры настроить частоту 2 Гц, ориентируясь на показания цифрового индикатора генератора. Измеряемый сигнал может быть представлен в данном случае в виде прямой линии, изменяющейся по амплитуде.

Измерить размах «А» (двойную амплитуду) сигнала с экрана осциллографа в сантиметрах, а затем пересчитать его в милливольты путем перемножения размаха А на коэффициент $K_{\text{ц}}$ цены деления вертикальной шкалы экрана осциллографа (см. рис 2); при всех измерениях ручка усиления сигнала на осциллографе должна находиться в крайнем правом положении.

Например, при $A = 7,5$ см. и $K_{\text{ц}} = 2$ мВ/см, имеем $U = 7,5$ см * 2 мВ/см.

Результат занести в первую графу первой строки раздела «Отчет виброизоляции без амортизаторов»).

- в первую графу второй строки этого же раздела занести соответствующее значение виброускорения, $W_{\text{амп}}$ м/с⁻² на частоте $f = 2$ Гц, которое вычисляется как произведение показания осциллографа на масштабный

коэффициент $K = 0,1 \text{ м/(с}^2\text{мV)}$ (например, $U=15 \text{ мV}$ соответствует амплитуде виброускорения $W_{\text{амп}} = 1,5 \text{ м/с}^2$);

- в первую графу с третьей строки этого же раздела с точностью до первого знака после запятой занести соответствующее значение уровня виброскорости в децибелах (дБ) на частоте 2 Гц, которое вычисляется по формуле:

$$L_u = 20 \lg \frac{U_{\text{ср}}}{U_0}, \quad (1)$$

где пороговая виброскорость $U_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}$.

Среднеквадратическая амплитуда виброскорости, в свою очередь, вычисляется по формуле:

$$U_{\text{ср}} = \frac{W_{\text{амп}}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{2}}, \quad (2)$$

(например, если частота $f = 2 \text{ Гц}$, $W_{\text{амп}} = 1,5 \text{ м/с}^2$, то

$$L_u = 20 \lg \frac{1,5}{2\pi \cdot 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 5 \cdot 10^{-8}} = 124,6 \text{ дБ}).$$

Произвести измерения и расчеты по описанной выше методике на остальных частотах колебаний f , Гц, указанных в таблице «Результаты измерений: 4; 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 и 2000 Гц» и их результаты занести в первые три строки таблицы отчета.

Выключить генератор

Установить объект виброизоляции 4 с закрепленным на нем вибродатчиком 7 на вибростоле 3, заменив жесткий модуль 6 на виброизоляционный модуль, номер которого указан в задании.

Включить генератор.

Произвести измерения виброускорений и расчеты уровней виброскорости по описанной выше методике на тех же частотах от 2 до 2000 Гц, а их результаты занести во второй раздел таблицы измерений отчета, указав в нем номер испытуемого виброзащитного модуля.

Задание на работу № 5а.

Измерение характеристик вибраций на вибростенде без амортизатора и с амортизатором и последующее сопоставление полученных значений с нормами уровней вибрации проводить согласно варианту задания (см. таблицу 1 и рис.3). По результатам измерений определить эффективность виброизолятора.

Таблица 1.

Номера вариантов заданий.

Вариант задания	1	2	3	4
Исследование амортизатора №	1	2	3	4
Типы вибрации	локальная	Транспортно - технологическая	технологическая	транспортная

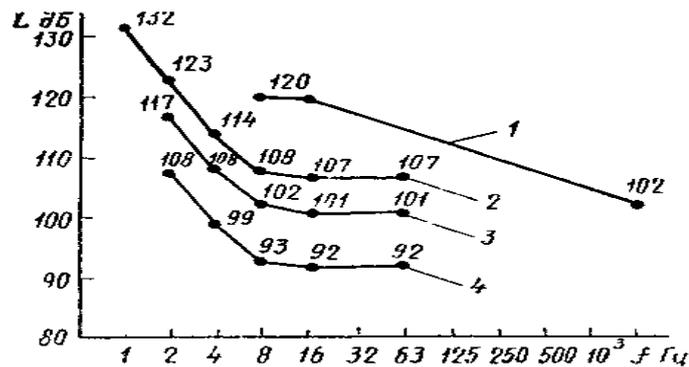


Рис. 3. Нормы уровней вибрации

На бланке графика «Уровни виброскорости» отчета по результатам измерений построить зависимости уровней виброскорости от частоты для случаев работы стенда без амортизаторов, с амортизатором и норму уровней вибрации. В усложненных вариантах работы рассчитать эффективность исследуемого виброизолятора по следующим *исходным данным*:

Масса объекта виброизоляции $m_1 = 240\text{г}$.

Модуль сдвига стали $G = 8 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$

Число пружин $K = 4$.

Параметры пружины даны в таблице 2.

Таблица 2

Технические параметры пружин

Номер амортизатора	1	2	3
Диаметр пружины D , м	$18 \cdot 10^{-3}$	$22 \cdot 10^{-3}$	$28 \cdot 10^{-3}$
Диаметр проволоки пружины d , м	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Число витков пружины	8	13	8

Сделать выводы о проделанной работе.

Вопросы для самоконтроля

1. Как классифицируется вибрация по характеру воздействия на организм человека и пояснить особенности ее воздействия на человека.
2. Как осуществляется нормирование вибрации для основных видов трудовой деятельности человека?
3. Перечислить основные причины возникновения вибраций.
4. Пояснить физический смысл коэффициента передачи.
5. В какой области относительных частот работа амортизаторов является эффективной и каким значениям коэффициента передач соответствуют эта область?
6. Каким образом осуществляется виброизоляция машин относительно фундамента?
7. Какими параметрами определяется жесткость пружинных амортизаторов? Как изменится жесткость амортизатора при увеличении диаметра пружины (проволоки, числа витков) в 2 раза?
8. Чем определяется собственная частота колебаний любой колебательной системы?
9. Каков порядок расчета системы виброизоляции?
10. Пояснить резонансную теорию оценки вредного воздействия вибрации на организм человека.

Работа №6

ЗАЩИТА ОТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы – ознакомить студентов с теорией теплового воздействия на человека, нормативными требованиями к тепловому излучению, с исследованием интенсивности тепловых излучений в зависимости от расстояния до источника и оценкой эффективности защиты от теплового излучения с помощью экранов.

Общие сведения

Лучистый теплообмен между телами представляет собой процесс распространения внутренней кинетической энергии, которая излучается в виде электромагнитных волн в видимой и инфракрасной (ИК) области спектра. Длина волны видимого излучения – от 0,38 до 0,77 мкм, инфракрасного – более 0,77 мкм. Такое излучение называется *тепловым* или *лучистым*.

Воздух прозрачен (диатермичен) для теплового излучения, поэтому при прохождении лучистого тепла через воздух температура его не повышается. Тепловые лучи поглощаются предметами, нагревают их и они становятся излучателями тепла. Воздух, соприкасаясь с нагретыми телами, также нагревается и температура воздушной среды в производственных помещениях возрастает.

Интенсивность теплового облучения человека может быть определена по формуле, являющейся частным случаем закона Стефана – Больцмана (справедлива при $T \gg T_{\text{чел}}$):

$$Q = 0,78F[(T/100)^4 - 110] / R^2, \quad (1)$$

где Q – интенсивность теплового облучения человека, Вт/м²;

F – площадь излучающей поверхности, м²;

T – температура излучающей поверхности, К;

R – расстояние от излучающей поверхности, м.

Из формулы (1) следует, что количество теплового (лучистого) тепла, поглощаемого телом человека, зависит от температуры источника излучения, площади излучающей поверхности и квадрата расстояния между излучающей поверхностью и телом человека.

Тепловой обмен организма человека с окружающей средой заключается во взаимосвязи между образованием тепла (термогенезом) в результате жизнедеятельности организма и отдачей им этого тепла во внешнюю среду. Отдача тепла осуществляется, в основном, тремя способами: конвекцией, излучением и испарением.

Способность человеческого организма поддерживать постоянной температуру тела (в подмышечной впадине — 36,5... 36,9°C с колебаниями в течение суток в пределах 0,5...0,7°C) при изменении параметров микро-

климата и при выполнении различной по тяжести работы называется терморегуляцией. Терморегуляция человеческого организма осуществляется с помощью процесса испарения, функционирования сердечно-сосудистой системы (расширение и сужение сосудов при изменении внешней температуры), а также биохимическим путем (изменяется интенсивность окислительных процессов в организме). В течение всей своей жизни человек существует в пределах очень ограниченного диапазона внутренних температур тела. Однако, в короткие промежутки времени человек может переносить температуру тела ниже 35 °С или выше 41 °С.

Передача тепла ИК-излучением является наиболее эффективным способом теплоотдачи и составляет в комфортных метеоусловиях 44-59% общей теплоотдачи. Тело человека излучает в диапазоне длин волн от 5 до 25 мкм с максимумом энергии на длине волны 9,4 мкм.

В производственных условиях, когда работающий окружен предметами, имеющими температуру, отличную от температуры тела человека, соотношение способов теплоотдачи может существенно изменяться. Отдача человеческого телом тепла во внешнюю среду возможна лишь тогда, когда температура окружающих предметов ниже температуры тела человека. В обратном случае направление потока лучистой энергии меняется на противоположное, и уже тело человека будет получать извне дополнительную тепловую энергию. Воздействие ИК-лучей приводит к перегреву организма и тем быстрее, чем больше мощность излучения, выше температура и влажность воздуха в рабочем помещении, выше интенсивность выполняемой работы.

ИК-излучение, помимо усиления теплового воздействия окружающей среды на организм работающего, обладает специфическим влиянием. С гигиенической точки зрения важной особенностью ИК-излучения является его способность проникать в живую ткань на разную глубину.

Лучи длинноволнового диапазона (от 3 мкм до 1 мм) задерживаются в поверхностных слоях кожи уже на глубине 0,1 – 0,2 мм. Поэтому их физиологическое воздействие на организм проявляется, главным образом, в повышении температуры кожи и перегреве организма.

Лучи коротковолнового диапазона (от 0,78 до 1,4 мкм) обладают способностью проникать в ткани человеческого организма на несколько сантиметров. Такое ИК-излучение легко проникает через кожу и черепную коробку в мозговую ткань и может воздействовать на клетки головного мозга, вызывая его тяжелые поражения. В частности, ИК-излучение может привести при превышении возможности организма к терморегуляции к возникновению специфического заболевания – теплового удара, проявляющегося в головной боли, головокружении, учащении пульса, ускорении дыхания, падении сердечной деятельности, потере сознания.

При облучении коротковолновыми ИК-лучами наблюдается повышение температуры легких, почек, мышц и других органов. В крови, лимфе,

спинномозговой жидкости появляются специфические биологически активные вещества, наблюдаются нарушения обменных процессов, изменяются функциональное состояние центральной нервной системы.

Интенсивность теплового облучения человека регламентируется, исходя из субъективного ощущения человеком энергии облучения. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов не должна превышать: 35 Вт/м² при облучении более 50% поверхности тела; 70 Вт/м² при облучении от 25 до 50 % поверхности тела; 100 Вт/м² – при облучении не более 25 % поверхности тела. От открытых источников (нагретые металл и стекло, открытое пламя) интенсивность теплового облучения не должна превышать 140 Вт/м² при облучении не более 25 % поверхности тела и обязательном использовании средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Нормы ограничивают также температуру нагретых поверхностей оборудования в рабочей зоне, которая не должна превышать 45 °С. Для оборудования, внутри которого температура близка к 100 °С, температура на его поверхности должна быть не выше 35 °С.

В производственных условиях не всегда возможно выполнить нормативные требования. В этом случае должны быть предусмотрены мероприятия по защите работающих от возможного перегрева: дистанционное управление ходом технологического процесса; воздушное или водовоздушное душирование рабочих мест; устройство специально оборудованных комнат, кабин или рабочих мест для кратковременного отдыха с подачей в них кондиционированного воздуха; использование защитных экранов, водяных и воздушных завес; применение средств индивидуальной защиты; спецодежды, спецобуви.

Оценить эффективность защиты от теплового излучения с помощью экранов можно по формулам:

Коэффициент пропускания теплового излучения

$$e = \frac{Q_3}{Q} \quad (2)$$

Коэффициент эффективности экрана

$$n = \frac{Q - Q_3}{Q} * 100, \% \quad (3)$$

где Q – интенсивность теплового излучения без экрана, Вт/м²;

Q₃ – интенсивность теплового излучения за экраном, Вт/м².

Содержание работы. Описание стенда

Стенд представляет собой стол со столешницей, на которой размещаются бытовой электрокамин, индикаторный блок, линейка, стойки с направляющими для установки сменных экранов, подвижная стойка, на

которой установлены измерительные головки (измерителя тепловых потоков и измерителя температуры поверхности экранов).

Бытовой электрокамин используется в качестве источника теплового излучения.

Измерительные головки с помощью винтов крепятся к вертикальной стойке, которая закреплена на плоском основании. Вся эта конструкция может вручную перемещаться по столешнице вдоль линейки.

Стандартная металлическая линейка предназначена для измерения расстояния от источника теплового излучения (электрокамина) до измерительной головки и жестко закреплена на столешнице.

Сменные экраны имеют один типоразмер. Металлические экраны выполнены в виде листов металла с направляющими. Экраны с цепями и брезентом выполнены в виде металлических рамок, в которых закреплены стальные цепи или брезент.

Требования безопасности при выполнении лабораторной работы

1. Не рекомендуется включать электрокамин на полную мощность 1 кВт (включены оба выключателя).
2. Запрещается прикасаться к электронагревательному элементу электрокамина.
3. После проведения лабораторной работы отключить электропитание стенда.
4. При смене экранов во избежание ожогов необходимо использовать брезентовые рукавицы.

Порядок проведения лабораторной работы

1. **Подключить стенд к сети переменного тока.** Включить верхний нагреватель и установить по заданию преподавателя на источнике питания нагревателя напряжение в пределах:

$$U_1 = 50 - 130 \text{ В}$$

$$U_2 = 140 - 220 \text{ В}$$

2. **Включить измеритель теплового потока и температуры экранов ИПП-2м** (Переключатель с правой стороны прибора перевести в положение "1").

3. **Измерить зависимость интенсивности теплового излучения от расстояния до излучателя при U_1 и U_2** (переключатель измерения с левой стороны прибора ИПП-2м перевести в положение "0"): Вручную перемещать штатив вдоль линейки, устанавливая головку измерителя на различном расстоянии от источника теплового излучения, и определять интенсивность теплового излучения в этих точках (интенсивность определять как среднее значение из 3 замеров; время выдержки головки измерителя в

каждой точке не менее 30 секунд). Данные замеров занести в таблицу. Построить графики зависимости среднего значения интенсивности теплового излучения от расстояния.

1. Измерить зависимость интенсивности теплового излучения от площади экрана при U_2 : Установить экран с подвижной шторкой на рабочем столе на расстоянии 25 см от нагревателя. Установить штатив с измерительными головками на расстоянии 10 см от экрана. Изменяя площадь открытия подвижной шторки (положения 2 – 14) провести измерения интенсивности теплового излучения (интенсивность определять как среднее значение не менее 3 замеров; время выдержки головки измерителя в каждом положении подвижной шторки не менее 30 секунд). Данные замеров занести в таблицу. Построить графики зависимости среднего значения интенсивности теплового излучения от площади подвижного экрана.

Приложение 1.

Положение подвижной шторки	2	4	6	8	10	12	14
Площадь открытия подвижной шторки экрана, м ²	0,0024	0,0056	0,0088	0,0128	0,016	0,0192	0,0224

Построить графики зависимости теоретического значения интенсивности теплового облучения человека от площади подвижного экрана – формула 1 (температура излучателя определяется по таблице в приложении 2).

Приложение 2.

Напряжение источника питания и температура нагревателя

U, В	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220
K	455	495	548	568	613	655	685	717	753	787	827	856	886	913	943	962	985	1008

2. Оценить эффективность теплозащитных экранов: устанавливая различные защитные экраны в направляющие на рабочем столе, прижать датчик температуры вплотную к экрану (время выдержки – не менее 1 мин.) и определить:

- температуру на поверхности экранов (переключатель измерения с левой стороны прибора ИПП-2м перевести в положение "1"),
- интенсивность теплового излучения (переключатель измерения с левой стороны прибора ИПП-2м перевести в положение "0"). Оценить эффективность защитного действия экранов по формулам (2 и 3).

Примечание:

- Измерение интенсивности теплового излучения прибором ИПП-2м осуществляется в пределах от 0 до 1999 Вт/м²;

- Измерение температуры на поверхности экранов прибором ИПП-2м осуществляется в пределах от 0 до 100 °С.

3. Составить отчет о работе.

Отметить влияние температуры источника теплового излучения, расстояния до источника теплового излучения, площади излучающей поверхности на интенсивность теплового облучения. Сравнить опытные и расчетные результаты.

Оценить эффективность работы теплозащитных экранов.

Дать рекомендации об организационно-технических мероприятиях по улучшению условий труда при выполнении работ в зоне действия источников тепловых излучений.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое тепловое излучение? Его характеристики.
2. Особенности воздействия теплового излучения на организм человека.
3. От чего зависит степень теплового воздействия на организм человека?
4. Чем определяется терморегуляция организма человека?
5. От чего зависят допустимые значения интенсивности теплового излучения?
6. Какие существуют защитные мероприятия от воздействия теплового излучения?
7. Какие экраны (по принципу действия) обеспечивают наилучшую защиту от теплового излучения?
8. Как изменяется интенсивность теплового излучения в зависимости от расстояния?

Работа №7

Исследование условий труда пользователя персонального компьютера

Цель работы – ознакомление с особенностями эксплуатации персонального компьютера (ПК), гигиеническими нормативами, регламентирующими параметры электронно-магнитного поля и светового климата на рабочем месте и получение навыков работы с приборами для измерения этих параметров.

Общие сведения

Широкое использование ПК в различных областях жизнедеятельности человека привело как к положительным, так и отрицательным результатам. Так наряду с возможностями многократно увеличившейся скорости вычислительных процессов, получения различной информации о состоянии энергосистем, систем обеспечения полетов и др. технологических систем, было отмечено отклонение в состоянии здоровья у персонала, эксплуатирующего ПК.

Так, при работе с видеотерминалами возникали ухудшение зрения, заболевание опорно-двигательного аппарата, неблагоприятное протекание беременности, кожные болезни, аллергические реакции, невротические состояния и др.

Работа с ПК характеризуется повышенным уровнем психоэмоционального напряжения, что связано с высокой концентрацией внимания, с определенным визуальным дискомфортом, в ответственностью за качество выполняемого задания. Переработка большого объема информации, решение сложных задач, нередко в условиях дефицита времени, требуют также повышенных умственных усилий и нервного напряжения. Кроме того, длительная работа в неизменной статической позе приводит к перенапряжению различных групп мышц, а однотипные движения на клавиатуре развивают воспалительные процессы в суставах и мышцах рук.

Особенности работы с видеотерминалами, а именно: высокие требования к органу зрения, нервные напряжения, монотонный характер труда, вынужденная рабочая поза, а также вредные производственные факторы, в первую очередь электромагнитные излучения от дисплеев с электронно-лучевыми трубками, способствуют формированию различного рода заболеваний.

В первую очередь необходимо учитывать возникающее повышенное зрительное напряжения, а также высокий уровень электромагнитных полей (ЭМП).

Зрительная система человека в течение многих миллионов лет приспособивалась для восприятия предметов исключительно в отраженном свете. В результате этой эволюции человек приобрел весьма совершенное цветовое зрение и прекрасно различает объекты различных цветов. Однако все эти объекты не светятся: они видны в отраженном солнечном свете.

Появление электронно-лучевой трубки было сопряжено для человека с большими проблемами, так как изображение является результатом свечения экрана, т.е. приходится смотреть на источник света – дисплей. И хотя глаза человека способны приспособиваться (адаптироваться) к интенсивности света, которая достигается в первую очередь изменением диаметра зрачка, а также изменением чувствительности сетчатки, это тяжелая зрительная работа. С другой стороны, пользователь вынужден в процессе работы переносить свой взгляд с экрана на бумагу и обратно. И в течение дня глаза должны сотни и тысячи раз перестраиваться с одного способа чтения на другой, что создает для зрения дополнительную нагрузку.

Необходимо отметить, что и возникшая в давние времена письменность в какой-то мере противоречила зрительной системе человека, вовсе не рассчитанной на чтение книг и рассматривание картинок. Однако считывание текста, таблиц, графиков с экрана отличается от чтения той же информации с листа бумаги не только перестройкой зрения от восприятия источника света к восприятию отраженного текста, но и другими моментами, влияющими негативно на зрительный анализатор.

В частности, при работе с дисплеем пользователь целиком зависит от положения дисплея, тогда как при чтении печатной продукции легко можно найти положение листа для наиболее комфортного восприятия информации. Далее, текст на бумаге является неизменным, а текст на экране периодически обновляется в процессе сканирования электронного луча по поверхности экрана. Достаточно низкая частота обновления вызывает мерцание изображения.

Пользователь утомляется из-за постоянного мелькания, неустойчивости и нечеткости изображения на экране, из-за необходимости частой переналадки глаз к освещенности дисплея и к общей освещенности помещения. Неблагоприятно влияют на зрение разноудаленность объектов различения, недостаточная контрастность изображения, плохое качество исходного документа, используемого при работе в режиме ввода данных. Зрительное напряжение усугубляется неравномерностью освещения рабочей поверхности и ее окружения, появлением ярких пятен за счет отражения светового потока на клавиатуре и экране.

Важным фактором, определяющим степень зрительного утомления, является также освещение рабочих мест и помещений, где расположены компьютеры. Характеристики светового климата при работе с дисплеями часто имеют общие недостатки: наличие в поле зрения многочисленных источников прямой и отраженной блескости (от экрана и клавиатуры, от

окон и светильников), неравномерное распределение яркости, низкие уровни освещенности. Это зависит, главным образом, от неграмотного размещения оборудования относительно источников света в помещении и от отсутствия элементарных условий для защиты органа зрения от утомляющих его факторов на рабочем месте оператора.

Объективные исследования подтверждают ухудшение основных функций зрения (повышение порогов цветового зрения на 19-25%, изменение показателей видимости на 12-33%), а также существенное снижение работоспособности и ухудшения внимания.

Исследования отмечают, что у операторов снижаются устойчивость ясного видения, электрическая чувствительность и лабильность (подвижность) зрительного анализатора, острота зрения, а также нарушается мышечный баланс глаз. Это ведет к тому, что около 80% работающих с дисплеями страдают ухудшением зрения, что приводит к необходимости пользоваться очками.

Основной характеристикой освещения является освещенность – поверхностная плотность светового потока.

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (\text{Люкс})$$

Кроме того, в гигиенических нормативах используется понятие яркости – поверхностной плотности силы света в данном направлении.

$$L = \frac{I}{S} \quad (\text{кд/м}^2)$$

Требования по безопасной эксплуатации ПК, в том числе и по освещенности, изложены в нормативном документе СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 “Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы”.

- Освещенность на поверхности стола на рабочем месте должна быть 300 - 500 Лк;
- Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 Лк;
- Яркость экрана монитора не должна быть менее 35 кд/м².

Критерием постоянства освещенности во времени является коэффициент пульсации освещенности K_p (%), который, согласно СанПиН, не должен превышать 5%. Коэффициент пульсации в процентах определяется по формуле

$$K_p = 100 (E_{\text{макс}} - E_{\text{мин}}) / 2 \cdot E_{\text{ср}},$$

где $E_{\text{макс}}$, $E_{\text{мин}}$ и $E_{\text{ср}}$ – максимальное, минимальное и среднее значения освещенности за период колебания освещения.

Другой особенностью эксплуатации ПК является повышенный уровень ЭМП, которые могут быть причиной возникновения кожных сыпей,

помутнения хрусталика глаза, патологии беременности и других серьезных нарушений здоровья.

Видеотерминалы являются источником широкого спектра электромагнитных излучений: рентгеновского, ультрафиолетового (УФ), видимого спектра, инфракрасного (ИК), радиочастот, очень низких частот, включая промышленную. Кроме того, они создают аэроионные потоки и электростатическое поле.

Источниками ЭМП являются силовые трансформаторы (50 Гц), система горизонтального отклонения луча электронно-лучевой трубка дисплея, работающего на частотах 15-53 кГц, блок модуляции луча ЭЛТ – 50-81 Гц, экран монитора (ИК и УФ излучения), высоковольтные кенотроны и кинескопы (рентгеновское излучение).

Синий люминофор экрана монитора вместе с ускоренными в ЭЛТ электронами является источником ультрафиолетового излучения. Его воздействие сказывается при длительной работе с компьютером или при заболевании сетчатки глаза. В реальных условиях уровни УФ излучения много ниже допустимого уровня, так как стекло, используемое для трубок обычных экранов дисплея, практически не пропускает излучение и является достаточной защитой от вредного влияния ультрафиолета.

Наиболее сильно действие ЭМП проявляется на расстоянии до 30 см от экрана. Но вредное излучение не меньшей интенсивности, чем от экрана, имеют боковые и задняя поверхность монитора. Это обстоятельство необходимо учитывать при организации рабочих мест в дисплейных классах и в других помещениях, где размещается не один компьютер. Как установлено, воздействие ЭМП способствует развитию катаракты и глаукомы, разрушению зубных пломб на основе амальгамы.

Характеристиками ЭМП являются напряженность электрического поля E (В/м) и магнитная индукция B (Тл).

$$B = \mu \cdot \mu_0 \cdot H,$$

где μ – магнитная проницаемость среды, μ_0 – магнитная постоянная, H – напряженность магнитного поля.

Согласно СанПиН, к ЭМП, создаваемому дисплеем ПК, предъявляются следующие требования:

Напряженность электрической составляющей переменного ЭП дисплея должна быть не более:

25 В/м – в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц на расстоянии 0.5м от экрана;

2.5 В/м – в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц на расстоянии 0.5м.

Плотность магнитного потока дисплея должна быть не более:

250 нТл – в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц на расстоянии 0.5м;

25 нТл – в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц на расстоянии 0.5м.

Уменьшить излучение помогает выбор правильного расстояния от глаз пользователя до экрана монитора. Оно составляет 600-700 мм, но не менее 500 мм.

Для защиты от излучения используются приэкранные защитные фильтры, которые снижают уровни напряженности электрического и магнитного полей, а также повышают контрастность изображения и уменьшают блики.

Для защиты от излучения на промышленной частоте (50 Гц) используются нейтрализаторы электрических полей.

Современные ЖК-мониторы обладают значительно меньшим (менее чем в 10 раз) уровнем ЭМП по сравнению со старыми моделями экранов на электронно-лучевой трубке.

Режимы труда и отдыха при работе с компьютером должны организовываться в зависимости от вида и категории трудовой деятельности.

Виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы:

- Группа А – работа по считыванию информации с экрана компьютера с предварительным запросом;
- Группа Б – работа по вводу информации;
- Группа В – творческая работа в режиме диалога.

За основную работу с компьютером следует принимать такую, которая занимает не менее 50% времени в течение времени работы компьютера.

Для видов трудовой деятельности устанавливается 3 категории тяжести и напряженности работы с компьютером, которые определяются:

- для группы А – по суммарному числу считываемых знаков за время работы с компьютером, но не более 60 000 знаков;
- для группы Б – по суммарному числу считываемых или вводимых знаков за время работы с компьютером, но не более 40 000 знаков;
- для группы В – по суммарному времени непосредственной работы с компьютером, но не более 6 часов за смену.

Для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья на протяжении времени работы с компьютером должны устанавливаться регламентированные перерывы. При 8-часовой смене суммарная длительность перерывов составляет 50-90 мин, в зависимости от группы трудовой деятельности.

Продолжительность непрерывной работы с ПК без регламентированного перерыва не должна превышать 1 ч.

Условия проведения работы

Лабораторный стенд, схема которого представлена на рисунке 1, позволяет измерить уровень ЭМП на различных расстояниях от экрана дис-

поя, а также освещенность и коэффициент пульсации на поверхностях рабочего стола и экрана.

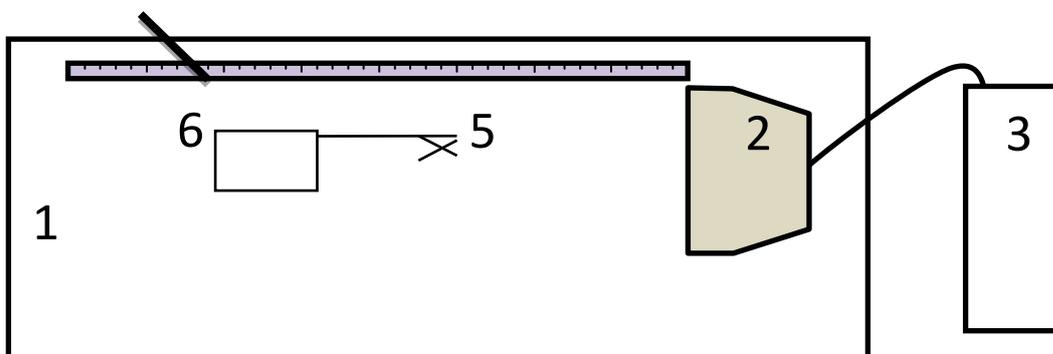


Рис.1 (1 – Стол; 2 – ЭЛТ монитор; 3 – Процессорный блок; 4 – Линейка; 5 – Антенна измерителя; 6 – Блок индикации).

Для определения уровня ЭМП в лабораторной работе используется измеритель параметров электрического и магнитного полей трехкомпонентный ВЕ-метр-АТ-003. Прибор позволяет измерять напряженность электрического поля и плотность магнитного потока в трех частотных диапазонах: от 5 Гц до 2 кГц, от 2 кГц до 400 кГц и на частоте в 50 Гц.

Для замеров уровня освещенности и коэффициента пульсации используется Люксметр-пульсметр ТКА-ПКМ (08). Прибор обладает диапазоном измерения освещенности в пределах от 10 Лк до 200 000 Лк.



Рис. 2. Внешний вид измерителя.
1 – Антенный блок
2 – Блок индикации



Рис. 3. Внешний вид прибора.

1 - Блок обработки сигналов. 2 - Фотометрическая головка.

Измерение уровня ЭМ поля.

Включить ПК нажатием кнопки на процессорном блоке. Включить монитор и дождаться загрузки операционной системы.

Подготовка измерителя.

Перед работой необходимо провести внешний осмотр измерителя и убедиться в отсутствии механических повреждений корпуса и индикаторной панели.

Присоединить антенный блок оптоволоконным кабелем к блоку измерений и индикации, включить питание антенного блока, удерживая кнопку включения/выключения 3сек.

Нажатием на кнопку **ВКЛ** включить блок измерений и индикации, дождаться завершения процесса самотестирования (тестирования внутрен-

них цепей измерителя, определения состояния антенного блока и измерения напряжений питания).

Напряжение питания антенны и измерителя должно быть не менее 4.8В. При индикации низкого напряжения питания следует прекратить работу и провести заряд аккумуляторных батарей.

Порядок выполнения работы.

При положительном результате тестирования для продолжения работы следует нажать на кнопку **СТАРТ**. После этого осуществится переход в главное меню.

Переход в режим измерений ЭМП осуществляется активизацией пункта “**изм. ЭМП**” в главном меню.

Поместить антенну измерителя в точку измерения (на определенное расстояние от экрана монитора согласно заданию).

Результаты измерения параметров ЭМП отобразятся на экране измерителя (индукции МП – ‘В’ и напряженности ЭП – ‘Е’). Во второй строке индицируются значения ЭМП в I частотном поддиапазоне (5 Гц – 2 кГц). В третьей строке индицируются значения ЭМП частотой 50 Гц. В четвертой строке индицируются значения ЭМП во II частотном поддиапазоне (2 кГц – 400 кГц).

Нажатием и удержанием (~ 3сек) кнопки **СТОП** включить режим паузы для удобства документирования результатов измерения. Режим паузы может быть снят нажатием на кнопку **СТАРТ**.

Снять показания измерителя.

В режиме паузы повторным удержанием (~ 3сек) кнопки **СТОП** выйти из режима измерений в главное меню.

Выключить измеритель удержанием кнопки **ВКЛ**.

Измерение уровня освещенности и коэффициент пульсации.

Проверить наличие элемента питания. Для этого необходимо открыть крышку батарейного отсека на блоке обработки сигнала и при необходимости установить элемент питания.

В ходе измерения в правом поле первой строки загорается символ – “батарейка”, информирующий о ёмкости батареи питания.

Включение прибора осуществляется нажатием на кнопку **ВКЛ/ВЫКЛ**.

На экране после включения появляется надпись фирмы производителя и название прибора.

Для правильного обнуления прибора произвести затемнение датчика прибора и нажать кнопку **Режим**. Процесс обнуления сопровождается надписью на индикаторе: “**ПОДОЖДИТЕ, ИДЕТ ИЗМЕРЕНИЕ**”.

ВНИМАНИЕ: засветка измерительной части во время обнуления приводит в последствие к неправильным измерениям!

После пропадания предупреждающей надписи прибор переходит в основной режим измерений. Первая строка "Е = " выводит текущую освещенность в лк, во второй строке "Кп = " – коэффициент пульсации светового потока в %.

В случае измерения освещенности, расположите фотометрическую головку параллельно плоскости измеряемого объекта (светильников). Проследите за тем, чтобы на окно фотоприемника не падала тень от оператора или посторонних предметов.

Подождите 2-3 сек и считайте с цифрового индикатора измеренное значение.

Для запоминания измеренного показания на индикаторе прибора необходимо кратковременно нажать кнопку **Режим**. В правом поле индикатора появится надпись "**HOLD**".

Снять показания прибора. Для продолжения измерений еще раз нажать кнопку **Режим**. Для измерения освещенности экрана расположите датчик на поверхности дисплея, параллельно его плоскости.

Снять со шкалы прибора значение коэффициента пульсаций на рабочем месте (столе) пользователя ПК.

Выключить измеритель нажатием на кнопку **ВКЛ/ВЫКЛ**.

После завершения измерений занести полученные данные в бланк отчета.

Сравнить полученные данные с нормами по освещенности и ЭМП на рабочем месте (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключаются основные характеристики и особенности работы пользователя персонального компьютера?
2. Назовите основные характеристики качества освещения и единицы их измерения.
3. Каковы максимально допустимые значения этих параметров?
4. Чем характеризуется ЭМП поле?
5. Какие требования предъявляются к ЭМП полю, создаваемому дисплеем персонального компьютера?
6. Какие меры применяются для уменьшения вредных факторов при работе с ПК?

Работа №8

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Цель работы - изучить виды электрических сетей, их схемы и системы заземления сетей. Выяснить опытным путем опасность поражения электрическим током лиц, эксплуатирующих электроустановки (ЭУ) в сетях различных видов, как при нормальном, так и при аварийном режимах работы.

Общие сведения

Нейтраль (нейтральная точка) обмотки источника или потребителя энергии – это точка, напряжение которой относительно всех внешних выводов обмотки одинаково по абсолютному значению.

Заземленная нейтральная точка носит название **нулевой точки**.

Проводник, присоединенный к нейтральной точке, называется **нейтральным проводником**, а к нулевой точке - **нулевым проводником**.

Схема сети, а, следовательно, и режим нейтрали источника, питающего сеть, выбираются по технологическим требованиям и по условиям безопасности.

При напряжениях до 1000 В в нашей стране по технологическим требованиям получили предпочтение трехфазные четырехпроводные и пятипроводные (нулевых проводов 2 – рабочий (N) и защитный (PE)) сети с глухозаземленной нейтралью, поскольку они позволяют использовать два рабочих напряжения - фазное U_ϕ и линейное U_L ($U_L = \sqrt{3}U_\phi$). При этом достигается значительное удешевление ЭУ в целом, благодаря применению меньшего числа трансформаторов, меньшего сечения проводов и т.д., требуемых в сетях с изолированной нейтралью для получения иного напряжения кроме линейного.

По условиям безопасности сети с глухозаземленной нейтралью следует применять там, где невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов, когда нельзя быстро отыскать и устранить повреждение изоляции. Возникающие при этом токи короткого замыкания способствуют быстрому отключению поврежденного участка сети или поврежденной ЭУ с помощью релейной защиты или такой защитной меры, как зануление или защитное отключение.

Трехфазные 3-х проводные сети с изолированной нейтралью при напряжениях до 1000 В применяют на объектах с повышенной опасностью поражения человека электрическим током в тех случаях, когда имеется возможность поддерживать высокий уровень сопротивления изоляции

проводов сети относительно земли и когда емкость проводов относительно земли незначительна. Такими являются сети небольшой протяженности, не подверженные воздействию агрессивной среды и находящиеся под постоянным надзором электротехнического персонала.

При выборе схемы сети по условиям безопасности опасность поражения человека током во многом зависит от сопротивления изоляции проводов относительно земли. Это сопротивление Z является комплексным, имеющим активную $R_{из}$ и емкостную X_C составляющие.

Активное сопротивление $R_{из}$ зависит от наличия в изоляции так называемых «путей утечки тока» $I_{ут}$, которые возникают в результате того, что изоляция в процессе эксплуатации стареет, может быть повреждена, что приводит к уменьшению ее сопротивления (по ГОСТу $Z_{из} \geq 0,5 \text{ МОм}$). Емкостное сопротивление X_C зависит от емкости провода относительно земли, которая, в свою очередь, определяется геометрическими размерами (площадью сечения S , диаметром провода d , длиной провода l) и диэлектрической постоянной материала изоляции ε , ее состоянием. Активное и емкостное сопротивления изоляции распределены вдоль провода. Условно на схемах их обозначают сосредоточенными элементами. В электрических сетях небольшой протяженности емкость проводов относительно земли мала, $C \rightarrow 0$. В этом случае сопротивление изоляции характеризуется только активной составляющей $Z = R_{из}$.

В кабельных линиях и в воздушных ЛЭП напряжением выше 1000 В при передаче энергии от источника в случае большой протяженности проводов их емкость относительно земли значительна. Например, емкость одной фазы кабеля напряжением 1000 В по отношению к свинцовой оболочке (земле) составляет от 0,15 до 0,4 мкФ на 1 км его длины. Чем больше емкость, тем меньше емкостное сопротивление. При этом даже при очень больших значениях активной составляющей сопротивления изоляции, опасность поражения в протяженных сетях будет определяться величиной емкостной составляющей. Следовательно, в таких сетях сопротивление изоляции проводов относительно земли практически утрачивает свою защитную роль, $Z = X_C$. Поэтому применение видов трехфазных сетей при напряжении свыше 1000 В обусловлено другими факторами. Так, в этом случае применяются трехфазные трехпроводные сети с изолированной нейтралью и с эффективным заземлением нейтрали.

Возможные случаи прикосновения к токоведущим частям электрических сетей

Все случаи поражения человека электрическим током происходят в результате прохождения тока через человека, что возникает при прикос-

новении его не менее, чем к двум точкам электрической цепи, между которыми существует некоторое напряжение.

Опасность такого прикосновения оценивается величиной тока, проходящего через тело человека, который зависит от схемы прикосновения, т.е. от того, каких частей электроустановки касается человек, а также от параметров электрической сети. Не учитывая параметров сети, рассмотрим возможные схемы прикосновения человека к частям, находящимся под напряжением.

Анализ опасности поражения в трехфазных сетях с изолированной нейтралью (система заземления IT)

В общем случае опасность поражения человека, прикоснувшегося к одной из фаз сети в период нормального режима ее работы (рис. 1), будет определяться величинами сопротивления изоляции и емкости фаз относительно земли. Ток, протекающий через тело человека с сопротивлением R_h , может быть определен из выражения

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + Z/3} \quad (1)$$

где U_ϕ - фазное напряжение, напряжение на конце обмотки источника питания относительно нейтрали;

Z - комплексное сопротивление токоведущей части сети (фазы) относительно земли (в соотношении (1) не учитывается сопротивление обуви, грунта, пола на котором стоит человек).

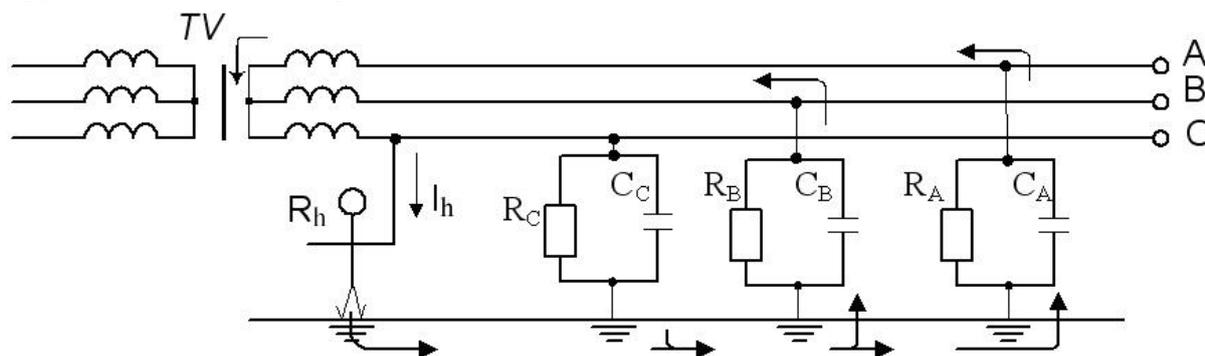


Рис. 1. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной сети с изолированной нейтралью в нормальном режиме ее работы

В действительной форме этот ток при $R_A = R_B = R_C = R, C_A = C_B = C_C = C$ равен

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h \sqrt{1 + \frac{R_{ИЗ}(R_{ИЗ} + 6R_h)}{9R_h^2(1 + R_{ИЗ}^2 \omega^2 C^2)}}} \quad (2)$$

где ω - круговая частота.

Выводы:

1. При равенстве сопротивлений изоляции и малых значениях емкости относительно земли, что характерно для электрических сетей напряжением до 1000 В, то есть при $R_A = R_B = R_C = R_{ИЗ}$ и $C_A = C_B = C_C = 0$ поражающий ток может быть определен из выражения

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

Из анализа выражения (3) видна защитная роль изоляции. Поддерживая сопротивление изоляции на высоком уровне, можно в нормальном режиме работы сети снизить опасность поражения человека электрическим током и сделать однофазное прикосновение практически безопасным.

2. При равенстве емкостей значительной величины и очень больших сопротивлениях изоляции относительно земли, что характерно для кабельных линий электропередачи, т.е. при $C_A = C_B = C_C = C$ и $R_A = R_B = R_C = \infty$, ток, проходящий через человека, может быть определен из выражения

$$I_h = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + (X_C / 3)^2}}, \quad (4)$$

где $X_C = \frac{1}{\omega C}$.

Из анализа выражения (4) видно, что чем больше емкость фаз относительно земли, т.е. меньше емкостное сопротивление X_C , тем опаснее прикосновение человека к токоведущей части сети. Для уменьшения опасности прикосновения необходимо уменьшать емкость фаз относительно земли путем уменьшения длины сетей или применения такой защитной меры как электрическое разделение сети. Физический смысл данной защитной меры заключается в применении разделяющих трансформаторов с коэффициентом трансформации 1:1 для питания электроэнергией потребителей. При этом емкость сети не влияет на опасность поражения человека при однофазном прикосновении за разделяющим трансформатором, где исход поражения определяется сопротивлением изоляции фаз относительно земли $R_{ИЗ}$, которое необходимо поддерживать на требуемом уровне. Возможна также компенсация емкостного сопротивления путем подключения параллельно емкости сети компенсирующей индуктивности, что приводит к образованию параллельного колебательного контура, обладающего на частоте резонанса (50 Гц) большим активным сопротивлением.

Опасность поражения электрическим током в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью (система заземления TN)

Четырехпроводные трехфазные сети с заземленной нейтралью получили наиболее широкое распространение напряжением 127, 220 и 380 В для питания жилых зданий, объектов промышленности и других потребителей.

При прикосновении человека к фазному проводу ток, проходящий через него и напряжение прикосновения могут быть определены из выражений

$$I_h = \frac{U}{R_h + R_0};$$
$$U_{np} = \frac{U R_h}{R_h + R_0},$$

где R_0 - сопротивление заземления вторичной обмотки трансформатора TN и провода 2 Ом.

Поскольку $R_h \gg R_0$, к человеку будет прикладываться почти полное напряжение сети $U_{np} \approx U$.

Следовательно, в данном случае для уменьшения опасности поражения человека электрическим током большое значение приобретают сопротивления средств защиты $R_{CЗ}$, обуви $R_{ОБ}$ и пола $R_{П}$, включенные последовательно с сопротивлением тела человека в цепи поражения. В общем случае ток, протекающий через тело человека, может быть вычислен из выражения

$$I_h = \frac{U}{R_h + R_{CЗ} + R_{ОБ} + R_{П} + R_0}$$

Анализ опасности поражения в пятипроводной сети системы заземления TN-S (с глухозаземленной нейтралью)

Пятипроводная сеть с глухозаземленной нейтралью получила распространение в практике эксплуатации электроустановок напряжением до 1000 В с середины 90 годов.

В таких сетях используется два напряжения U_ϕ и $U_L = \sqrt{3} U_\phi$: 220/127; 380/220 и 380/660 В. Прикосновение человека к фазному проводу сети в период нормального режима ее работы (схема замещения показана на рис. 2) аналогично случаю, рассмотренному выше для четырехпроводной сети.

Сопротивление изоляции токоведущих частей (фаз) сети в нормальном режиме во много раз превышает сопротивление заземления нейтрали источника питания R_0 . Поэтому величина поражающего тока, проходящего через человека, может быть вычислена из выражения

$$I_h = \frac{U_\Phi}{R_h + R_0}$$

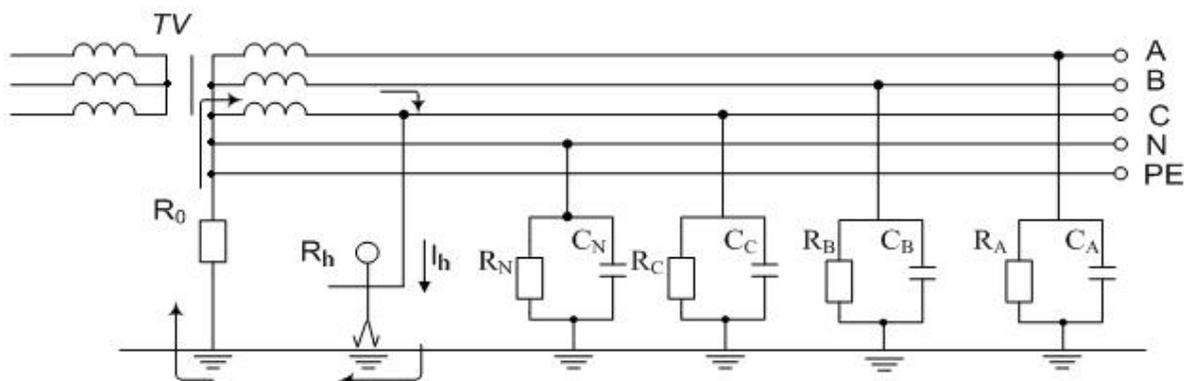


Рис. 2. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной пятипроводной с глухозаземленной нейтралью (сети системы заземления TN-S) при нормальном режиме ее работы

Сопротивление заземлителя R_0 , к которому присоединены нейтралы генераторов или трансформаторов, или выводы источника однофазного тока, согласно ПУЭ в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380, 220 В источника трехфазного тока или 380, 220, 127 В источника однофазного тока (табл. 1)

Таблица 1

Сопротивление рабочего заземляющего устройства (в Ом)

Вид источника питания	Напряжение					
	Линейное U_L , В			Фазное U_Φ , В		
трехфазный	660	380	220			
	2	4	8			
однофазный				380	220	127
				2	4	8

Если принять $R_h \gg R_0$, то получим, что к человеку будет приложено напряжение, равное фазному $U_{ПР} \approx U_\Phi$.

Из всего вышеизложенного следует:

а) прикосновение человека к токоведущей части сети с глухозаземленной нейтралью очень опасно и практически не зависит от сопротивления изоляции фаз относительно земли;

б) опасность однофазного прикосновения в сети с глухозаземленной нейтралью во много раз превышает опасность однофазного прикосновения в сети с изолированной нейтралью;

в) исключить или уменьшить опасность поражения человека электрическим током можно, сняв напряжение с участка сети, являющегося объектом работы, или применив при работе электрозщитные средства.

Прикосновение к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимися под напряжением

Металлические нетокопроводящие части ЭУ (корпуса электрических машин и аппаратов, оболочки кабелей и др.) обычно не находятся под напряжением. Они могут оказаться под напряжением лишь в результате повреждения изоляции.

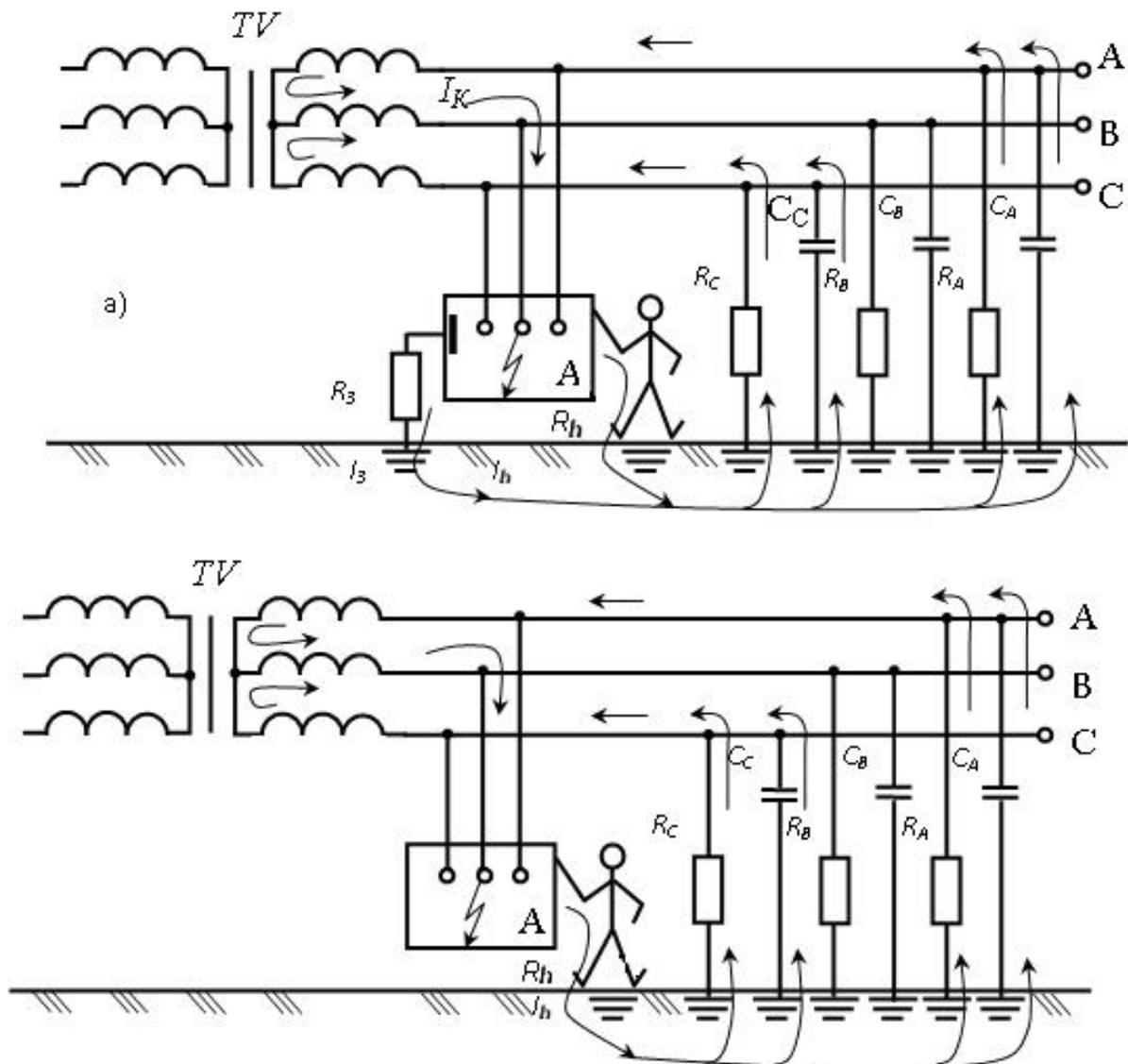


Рис. 3. Прикосновение к корпусу, оказавшемуся под напряжением:
а – при исправном заземлении; б – при отсутствии заземления

Прикосновение к заземленному корпусу, имеющему контакт с одной из фаз, показано на рис. 3а. Ток замыкания на корпус I_K разделится пропорционально сопротивлениям R_3 и R_h на I_3 и I_h .

Если человек касается незаземленного корпуса, оказавшегося под напряжением, то, как видно из рис. 3, б, через человека проходит весь ток замыкания на корпус $I_h = I_K$.

Таким образом, этот случай равноценен однополюсному прикосновению к токоведущим частям.

Напряжение прикосновения. Во всех случаях контакта человека с частями ЭУ, в нормальном режиме или случайно находящимися под напряжением, это напряжение прикладывается по всей электрической цепи, куда входят сопротивления тела человека, обуви, пола или грунта, на котором он стоит. Напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек, называется **напряжением прикосновения**:

$$U_{np} = I_h R_h.$$

Напряжение прикосновения определяется как падение напряжения в сопротивлении тела человека. При однофазном прикосновении к токоведущим частям напряжение прикосновения определяется фазным напряжением относительно земли и параметрами сети.

При прикосновении к заземленным нетокковедущим частям ЭУ напряжение прикосновения зависит от напряжения корпуса относительно земли.

Ток, проходящий через человека, как и в предыдущем случае, зависит от тока замыкания на землю:

$$I_h = f(I_3)$$

Включение человека в цепь тока между фазным проводом и землей или прикосновение к корпусу электроустановки, оказавшемуся под напряжением, является несколько менее опасным. Опасность поражения определяется величинами напряжения сети и последовательно включенных сопротивлений тела человека, обуви, пола, изоляции токоведущих частей относительно земли.

Таким образом, в трехфазных трехпроводных сетях, изолированных от земли, как и однофазных сетях, опасность для человека, прикоснувшегося к одному из фазных проводов в период нормальной работы сети, зависит в основном от сопротивления изоляции фаз относительно земли.

Трехфазные сети с изолированной нейтралью, как уже было сказано выше, по условиям электробезопасности целесообразно применять только при сравнительно небольшой протяженности электрической сети, от которой зависит значение ее емкости, и при высоком сопротивлении изоляции

фаз относительно земли (по ПУЭ сопротивление изоляции должно быть не менее 500 кОм).

Высокий уровень диэлектрической прочности изоляции может быть достигнут путем непрерывного контроля ее состояния и своевременным и быстрым устранением ее повреждений. По этой причине сети с изолированной нейтралью получили применение в качестве сетей питания с мало разветвленными токоведущими частями (например, при питании потребителей от передвижных источников электрической энергии). Они применяются также в качестве сетей небольшой протяженности, находящихся под постоянным надзором квалифицированного персонала.

II. Практическая часть занятия

2.1. Условия проведения лабораторной работы

Экспериментальные исследования выполняются на лабораторных установках, которые позволяют моделировать трехфазные сети переменного тока напряжением до 1000 В с различными режимами нейтрали и параметрами сети. В лаборатории имеются несколько модификаций установок, несколько отличающиеся внешним видом, конструктивным исполнением и, соответственно, возможностями и порядком проведения работы. Однако, снятие основных зависимостей, прежде всего тока через человека при однофазном прикосновении в сетях с изолированной и заземленной нейтралью как функции от сопротивления изоляции и емкости фаз относительно земли, выполняется аналогично.

Существующие в реальных сетях распределенные сопротивления изоляции и емкости проводов относительно земли заменены в установках сосредоточенными и равными для отдельных фаз сопротивлениями ($r_A = r_B = r_C = r_{ИЗ}$) и емкостями ($C_A = C_B = C_C = C$). Однофазные прикосновения на установках моделируются для случая прикосновения человека к корпусу электроустановки, находящемуся под напряжением. В каждой установке имеется панель, на которой высвечиваются соответствующие участки сети при включении различных измеряемых схем.

На другой установке СЭБ-2 основные отличия во внешнем виде состоят в том, что ряд тумблеров имеет другое обозначение и без принципиальной электрической схемы, которая располагается рядом с установкой, трудно разобраться в их назначении. Для значений защитного заземления 4 и 10 Ом, для емкости 0,1 и 0,2 мкФ показания миллиамперметра надо разделить на 10.

Задание на работу

На одной из лабораторных установок необходимо провести следующие опыты:

1. В трехпроводной электрической сети с изолированной нейтралью исследовать опасность однофазного прикосновения:

а) при изменении активного сопротивления изоляции фаз относительно земли ($r_A = r_B = r_C = \text{var}$) при заданном значении сопротивления тела человека ($R_h = \text{const}$) и пренебрежении емкостями фаз относительно земли ($C_A = C_B = C_C = 0$), т.е. для воздушных сетей малой протяженности, снять зависимости $I_h = f(r_{\text{ИЗ}})$ и $U_{\text{ПР}} = f(I_h)$;

б) при изменении емкости фаз относительно земли ($C_A = C_B = C_C = \text{var}$) и больших значениях активных сопротивлений изоляции фаз по сравнению с емкостными (т.е. $r_A = r_B = r_C = r_{\text{ИЗ}} \rightarrow \infty$), что имеет место для кабельных сетей, и заданном значении сопротивления тела человека ($R_h = \text{const}$) снять зависимости $I_h = f(C)$ и $U_{\text{ПР}} = f(I_h)$.

2. В четырехпроводной сети с заземленной нейтралью исследовать однофазное прикосновение при изменении значения сопротивления тела человека ($I_h = \text{var}$) при условии, что $C_A = C_B = C_C = 0$, т.е. для воздушной сети малой протяженности, и $r_A = r_B = r_C = r_{\text{ИЗ}} \rightarrow \infty$, так как сопротивление изоляции много больше сопротивления заземления нейтрали r_0 , и ток, минуя $r_{\text{ИЗ}}$, замыкается через малое сопротивление r_0 .

В этом опыте снимаются зависимости $I_h = f(R_h)$ и $U_{\text{ПР}} = f(I_h)$.

3. В трехпроводной электрической сети с изолированной нейтралью необходимо исследовать две защитные меры:

а) компенсация емкостной составляющей тока, для чего при заданном значении сопротивления тела человека ($R_h = \text{const}$), $r_A = r_B = r_C = r_{\text{ИЗ}} \rightarrow \infty$ и $C_A = C_B = C_C = C = 0,6 \text{ мкФ}$, что характерно для протяженных воздушных сетей длиной в 1 км, устанавливают индуктивность L (дрессель) тумблером в нейтраль трансформатора и снимают зависимость $I_h = f(L)$, предварительно измерив ток I_h без компенсации.

б) защитное заземление электроустановки, для чего устанавливают $C_A = C_B = C_C = 0$, $r_A = r_B = r_C = r_{\text{ИЗ}} = \text{const}$ и $R_h = \text{const}$ (в соответствии с заданием) и при $R_3 = \text{var}$ снимают зависимость $I_h = f(R_3)$.

Работа на лабораторной установке СЭБ-1

Приведите лабораторную установку СЭБ-1 в исходное положение, для чего:

- ручки переключателей C_A , C_B , C_C , r_A , r_B , r_C установите на нулевые деления, а переключателей Π_V и Π_Φ - в положение А;

- тумблеры "устройство", "шунтирующий", "компенсация", "зануление", r_0 , r_p , r_3 в положение "выкл.";

- поворотом ручки переключателя 1 включите установку.

1. Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью.

При соприкосновении с корпусом электроустановки, на которую произошло замыкание фазы, через человека протекает ток, значение которого зависит от параметров сети. Чем ниже сопротивление изоляции $r_{ИЗ}$ и чем больше емкость C сети относительно земли, тем больше опасность поражения.

Определите опытным путем значение тока I_h , проходящего через тело человека.

а) при $C_A = C_B = C_C = 0$ и $r_A = r_B = r_C = r_{ИЗ} = \text{var}$, для этого:

- двумя тумблерами на установке включите "устр.";
- установите ручку R_h (сопротивление тела человека) согласно заданию;
- нажмите кнопку "замыкание", что означает замыкание фазы на корпус электроустановки;
- установите ручку переключателей r_A, r_B, r_C последовательно на деления 1, 2, 5 и т.д., что соответствует активному сопротивлению изоляции фаз относительно земли;
- внесите показания приборов: вольтметра V и миллиамперметра A_2 в бланк отчета в виде таблицы;

б) при $r_A = r_B = r_C = \infty$ и $C_A = C_B = C_C = \text{var}$, для этого:

- установите ручки переключателей C_A, C_B, C_C последовательно на деления 0,1; 0,2 и т.д., что соответствует емкости фаз относительно земли, и показания приборов впишите в таблицу;
- приведите установку в исходное положение, для чего установите все ручки переключателей и тумблеры, как указано в начале опыта на установке СЭБ-1.

2. Однофазное прикосновение в сети с заземленной нейтралью.

В сети с заземленной нейтралью напряжения отдельных фаз по отношению к земле, как уже указывалось ранее, остаются практически постоянными при аварийном режиме работы сети и равны фазному напряжению. При соприкосновении с корпусом электроустановки, находящимся под напряжением, человек включается в электрическую цепь. Значение тока, проходящего через тело человека I_h , не зависит от электрических параметров сети, поскольку емкостное сопротивление и активное сопротивление изоляции фаз зашунтированы глухим соединением нейтрали с землей, имеющей очень малое сопротивление (для сети 380 В $r_0 \leq 4$ Ом), которым можно спокойно пренебречь. При равенстве нулю сопротивления обуви и сопротивления основания (пола) ток, проходящий через тело человека, зависит только от его собственного сопротивления и может достичь смертельных для жизни значений.

Определите значение тока I_h через тело человека, для чего:

- включите "устр.";

- включите тумблер r_0 , что означает нейтраль трансформатора заземлена;
- нажмите кнопку "замыкание";
- ручку переключателя R_h последовательно установите в положение 1, 2, 4 и т.д.
- показания приборов внесите в таблицу, при этом вольтметр должен показывать фазное напряжение.
- приведите установку в исходное положение.

3. Защитные меры в трехпроводной сети с изолированной нейтралью.

а) Компенсация емкостной составляющей тока в сети с изолированной нейтралью.

В протяженной сети с изолированной нейтралью, емкость фаз относительно земли часто превышает 0,3 мкФ на фазу. Для уменьшения (компенсации) емкостного тока замыкания на землю, а также тока через человека при его прикосновении к одной из фаз в нейтраль источника питания включают компенсирующее устройство в виде катушки индуктивности или дросселя. В зависимости от значения индуктивности, которое в принципе можно регулировать, емкостной ток может быть полностью компенсирован индуктивным током катушки либо недокомпенсирован или перекомпенсирован.

В данном опыте на установке следует:

- двумя тумблерами включить "устр.";
- ручки переключателей C_A , C_B , C_C установить в положение 0,6 мкФ, R_h - согласно заданию;
- нажать кнопку "замыкание" и показания приборов вписать в таблицу;
- включить тумблер "компенсация" и показания приборов внести в ту же таблицу, где указывается заданное сопротивление тела человека R_h и значения тока I_h и напряжения прикосновения $U_{ПР}$ без компенсации и с компенсацией;
- привести установку в исходное положение.

б) Оценка эффективности защитного заземления.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала от поражения электрическим током при пробое фазы на корпус в сети с изолированной нейтралью ($U < 1000$ В) на электроустановках выполняется защитное заземление. Защитное заземление представляет собой преднамеренное соединение с землей металлических нетоковедущих частей электроустановки, нормально не находящихся под напряжением, посредством заземляющих проводников и заземлителей (см. работу "Исследование защитного заземления"). При правильно выполненном заземлении (т.е. правильно выбранном и реализованном заземляющем устройстве с соответствующим значением сопротивления заземления, для $U_A = 380$ В $r_3 \leq 4$ Ом) напряже-

ние прикосновения на корпусе и напряжение шага у корпуса основания при стекании тока через заземлитель должны быть меньше предельно допустимых, и тогда ток через человека будет меньше порогового отпускаящего, т.е. меньше 10 - 15 мА.

Определите эффективность защитного заземления, для этого:

- двумя тумблерами включите "устр.";
- переключатель R_h поставьте согласно заданию;
- установите ручки переключателей r_A, r_B, r_C в соответствии с заданием;
- нажмите кнопку "замыкание" и снимите показание миллиамперметра A_2 , представляющего ток через человека I_h ;
- включите тумблер r_3 , что означает подключение корпуса оборудования к защитному заземлению, и вновь запишите показания миллиамперметра, которое будет представлять значение тока через человека при наличии заземления электроустановки;
- приведите установку в исходное положение.

Работа на лабораторной установке СЭБ-2

Пояснения к содержанию каждого из опытов не даются, т.к. они уже приведены при работе на установке СЭБ-1. Приводится лишь порядок выполнения работы.

1. Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью.

- а) - включите тумблер "Сеть";
- переключатели C_A, C_B, C_C поставьте в положение "0", переключатель R_h - в положение, соответствующее варианту задания;
 - нажмите на кнопку $S_{КП}$, что соответствует замыканию фазы на корпус, и изменяя последовательно активное сопротивление изоляции фазных проводов относительно земли ($r_A = r_B = r_C = 1; 2; 10$ и 400 кОм) снимите значения тока, протекающего через человека I_h , по показанию миллиамперметра A_2 ;
 - результаты наблюдений занесите в бланк отчета;
 - верните все переключатели и тумблеры в исходное положение, т.е. в положение "Выкл." кроме тумблера "Сеть";
- б) - переключатели r_A, r_B, r_C поставьте в положение "0" (соответствует бесконечно большому сопротивлению), переключатель R_h - в положение, соответствующее варианту задания;
- нажмите на кнопку $S_{КП}$ и, изменяя последовательно емкость фазных проводов относительно земли ($C_A = C_B = C_C = 0,1; 0,2; 0,6; 1,0; 1,6$ мкФ), снимите значения тока, протекающего через человека, с прибора A_2 . Показания для 0,1 и 0,2 мкФ разделите на 10;
 - верните все тумблеры и переключатели в исходное положение (кроме тумблера "Сеть");

2. Однофазное прикосновение в сети с заземленной нейтралью.

- включите тумблер B_0 , что соответствует включению четвертого (нейтрального) провода, R_0 , $S_{Ш1}$, что соответствует соединению нейтральной точки с землей;

- тумблер $R_{РБ}$ поставьте в положение 4 Ом, что соответствует подключению сопротивления рабочего заземления;

- нажмите на кнопку $S_{КП}$ и, изменяя последовательно значения R_h , снимите значения тока, протекающего через человека, по показанию миллиамперметра. Верните все тумблеры и переключатели в исходное положение (кроме тумблера "Сеть").

3. Защитные меры в трехпроводной сети с изолированной нейтралью.

а) Компенсация емкостной составляющей тока в сети с изолированной нейтралью.

- установите ручки переключателей C_A , C_B , C_C в положение 0,6 мкФ, R_h - согласно заданию; включить тумблер R_0 .

- нажмите на кнопку $S_{КП}$ и изменяя значения L (для чего установите ручку тумблера S_L в положения 0; 1; 2) снимите зависимость $I_h = f(L)$;

- верните все тумблеры и переключатели в исходное положение (кроме тумблера "Сеть").

- б) Оценка эффективности защитного заземления.

- поставьте переключатели R_h , r_A , r_B и r_C в положение, соответствующее варианту задания;

- нажмите на кнопку $S_{КП}$ и снимите значение тока, протекающего через человека при его прикосновении к незаземленному корпусу, с прибора A_2 (по нижней шкале);

- включите тумблер R_3 (сопротивление заземления) и при нажатой кнопке $S_{СК}$ снимите с прибора A_2 значения тока, протекающего через человека, при изменении R_3 для 4, 10 и 75 Ом. Для значений защитного заземления 4 и 10 Ом показания миллиамперметра разделите на 10.

- верните все тумблеры и переключатели в исходное положение.

Обработка экспериментальных данных.

1. По результатам исследования сети с изолированной нейтралью необходимо:

а) построить графики зависимостей $I_h = f(r_{ИЗ})$ и $U_{ПР} = f(I_h)$; сделать анализ полученных кривых. Рассчитать по заданному значению R_h значения тока $I_h = U_{Ф} / (R_h + r_{ИЗ} / 3)$ и напряжение прикосновения $U_{ПР} = I_h \cdot R_{рас} \cdot R_h$ и сравнить с экспериментальными данными (для стенда СЭБ-1).

б) построить графики зависимостей $I_h = f(C)$ и $U_{ПР} = f(I_h)$ и сделать анализ полученных зависимостей кривых.

2. По результатам исследования сети с заземленной нейтралью постройте графики зависимостей $I_h = f(R_h)$ и $U_{\text{ПР}} = f(I_h)$ и сделайте анализ полученных кривых.

3. По результатам опытов по компенсации емкостной составляющей тока и оценке эффективности защитного заземления сделайте соответствующие выводы.

Работа на лабораторной установке СЭБ-3

На СЭБ-3 необходимо провести следующие опыты:

1. В трехпроводной сети с изолированной нейтралью исследовать опасность поражения при однофазном проникновении:

а) Включить тумблер «Сеть». Выкл. тумблеры В2 – В6. Установить потенциометр R_h в положение согласно заданию (калибровки всех потенциометров приведены на стенде). Переключатель В8 установить в положение фазы А. Изменяя сопротивление фаз А, В, С соответствующим потенциометром измерить миллиамперметром ток I_h . Установить потенциометры фаз А, В, и С в положение «10» (соответствует значению сопротивления 48 кОм);

б) включить тумблеры В4 – В6. Изменяя емкость фаз с помощью потенциометров, расположенных над данными тумблерами, снять зависимость тока I_h от значения емкости (от положения «0» до положения «9»). Вернуть потенциометры изменения емкости в положение «0»;

2. В трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью исследовать опасность поражения при однофазном прикосновении в зависимости от сопротивления тела человека

а) Включить тумблеры В2 и В3. Изменяя положение потенциометра R_h от положения «0» до положения «5» измерить ток I_h . Выключить тумблер «Сеть».

По результатам исследования сети с изолированной нейтралью необходимо:

а) построить графики зависимостей $I_h = f(r_{\text{ИЗ}})$ и сделать анализ полученных кривых. Рассчитать по заданному значению R_h значения тока $I_h = U_{\text{Ф}} / (R_h + r_{\text{ИЗ}} / 3)$ и сравнить с экспериментальными данными;

б) построить графики зависимостей $I_h = f(C)$ и сделать анализ полученных зависимостей кривых.

По результатам исследования сети с заземленной нейтралью постройте графики зависимостей $I_h = f(R_h)$ и сделайте анализ полученных кривых.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие трехфазные сети переменного тока до и свыше 1000 В (по количеству проводов и по режиму нейтрали) используются в России?
2. Какая сеть является менее опасной при однофазном прикосновении человека к фазному проводу при нормальном режиме?
3. В каких случаях используются сети с изолированной нейтралью при напряжении до 1000 В?
4. Какие меры защиты можно применить для уменьшения опасности поражения током в протяженных воздушных сетях до 1000 В с изолированной нейтралью?
5. Как изменится значение тока через человека при однофазном прикосновении человека в сети с заземленной нейтралью, если сопротивление тела человека увеличить?
6. Как изменится значение тока через человека при однофазном прикосновении человека в сети с изолированной нейтралью, если сопротивление изоляции проводов уменьшить?
7. Как изменится значение тока через человека при однофазном прикосновении человека в сети с изолированной нейтралью, если увеличить длину сети?
8. Укажите самую опасную схему включения человека в цепь тока.
9. Чем практически определяется ток через человека при однофазном прикосновении в сети с заземленной нейтралью?
10. Как изменится ток через человека при однофазном прикосновении в сети с изолированной нейтралью, если увеличить ее длину в 2 раза высоту подвеса проводов тоже в 2 раза?
11. Какая 3-х фазная сеть из применяемых до 1000 В наиболее опасна при двухфазном прикосновении?
12. Какова величина компенсирующей индуктивности при емкости сети с изолированной нейтралью 10 мкФ?

Работа № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Цель работы – изучение действия электрического тока на организм человека и определение параметров электрической схемы замещения тела человека.

Основные сведения о воздействии электрического тока.

Если человек касается одновременно двух точек, между которыми существует напряжение, и при этом образуется замкнутая цепь, через его тело проходит ток. Значение этого тока зависит от схемы прикосновения, т.е. от того, каких частей электрической установки касается человек, а также от параметров электрической сети.

Сопротивление тела человека и приложенное к нему напряжение сказываются лишь в той мере, в какой они изменяют значение тока.

Действие электрического тока на живую ткань носит своеобразный и разносторонний характер. Проходя через организм человека, электрический ток производит термическое, электролитическое действия, что характерно для неживых объектов, а также - специфическое биологическое действие, которое выражается в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, что может сопровождаться непроизвольным сокращением мышц, в том числе сердца и легких. В результате электрический ток наносит травму человеку, которая может быть местной (ожог, электрический знак и др.) или общей (электрический удар или шок).

Тяжесть поражения определяется в первую очередь значением тока, зависящим от напряжения прикосновения $U_{пр}$ и электрического сопротивления R_h тела человека, а также временем его воздействия. При длительности воздействия более 0,2 с резко возрастает тяжесть поражения, что связано с особенностями кардиоцикла человека. Поэтому время срабатывания быстродействующей защиты отключения должно быть не более 0,2 с (по ПУЭ при фазном напряжении 220 В не более 0,4 с).

Токи различного рода неодинаково опасны (при прочих равных условиях) для организма. Наиболее опасным следует считать переменный ток промышленной частоты 50 - 60 Гц. Он сильно воздействует на центральную нервную систему и производит сильные сокращения мышц, которые во многих случаях удерживают человека в контакте с частями, находящимися под напряжением, лишая возможности самостоятельно освободиться от токоведущей части (ТВЧ).

Дальнейшее повышение частоты, несмотря на рост тока, проходящего через человека, сопровождается снижением опасности поражения, которая полностью исчезает при частотах 450 - 500 кГц. Токи этого диапазона частот и более не могут вызвать смертельного поражения вследствие прекращения работы сердца или легких, а также других жизненно важных органов. Правда, эти токи сохраняют опасность ожогов, как при возникновении электрической дуги, так и при прохождении их непосредственно через тело человека.

Постоянный ток примерно в 4 - 5 раз безопаснее переменного частотой 50 Гц. Проходя через тело человека, он вызывает более слабые сокращения мышц и менее неприятные ощущения по сравнению с переменным током того же значения. Лишь в момент замыкания и размыкания цепи тока человек испытывает кратковременное болезненное ощущение вследствие внезапного судорожного сокращения мышц, подобное тому, которое возникает при переменном токе примерно того же значения.

Сказанное о сравнительной опасности постоянного и переменного токов справедливо лишь для напряжений до 500 В. Считается, что при более высоких напряжениях постоянный ток становится опаснее переменного частотой 50 Гц. Степень отрицательного воздействия тока на организм человека увеличивается также и с ростом его величины.

Ощутимый ток - это такой ток, который вызывает при прохождении через человека ощутимые раздражения. Человек начинает ощущать воздействие проходящего через него переменного тока частотой 50 Гц значением 0,5 - 1,5 мА и постоянного тока значением 5 - 7 мА.

Это воздействие ограничивается при переменном токе слабым зудом и легким покалыванием, а при постоянном токе - ощущением нагрева кожи на участке, касающемся токоведущей части. Указанные значения тока являются граничными (пороговыми), с которых начинается область ощутимого воздействия. При токах, превышающих пороговый ощутимый, возможно получение человеком электротравм как местных (ожог, электрический знак и др.), так и общих (электрический удар 1-4 степени).

Неотпускающий ток - это такой ток, который вызывает при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник.

Пороговым неотпускающим током называют наименьшее значение неотпускающего тока. Для переменного тока частотой 50 Гц оно составляет 10 - 15 мА (для мужчин при пути прохождения тока рука - рука). При этих значениях тока человек чувствует непереносимую боль, а судороги мышц руки оказываются настолько значительными, что он не в состоянии их преодолеть, т.е. не может разжать руку, в которой зажата ТВЧ.

Для постоянного тока пороговое значение неотпускающего тока составляет 50 - 80 мА.

Фибрилляционный ток - это такой ток, который при прохождении через тело человека вызывает фибрилляцию сердца.

Фибрилляция (fibrillatio) - быстрое хаотическое сокращение многих отдельных мышечных волокон сердца, в результате которого сердце теряет способность к эффективным и синхронным сокращениям.

Пораженный участок сердца после этого перестает нагнетать кровь. Фибрилляция может возникнуть независимо в предсердиях или желудочках сердца.

Фибрилляция предсердий (**atrial fibrillation**) является типичной разновидностью аритмии; проявляется учащенным и неритмичным пульсом и сердцебиением. При фибрилляции желудочков (**ventricular fibrillation**) сердце перестает сокращаться. Чаще всего причиной такой фибрилляции является инфаркт миокарда.

Пороговым фибрилляционным током называют наименьшее значение фибрилляционного тока. Для переменного тока частотой 50 Гц фибрилляционным является ток от 100 мА до 5 А, пороговым - 100 мА. Для постоянного тока пороговым фибрилляционным током считается ток 300 мА, верхним пределом - 5 А. Следует подчеркнуть, что эти данные справедливы при условии длительного прохождения тока через человека (не менее 2 - 3 с) по пути рука - рука или рука - ноги.

Ток больше 5 А как при постоянном напряжении, так и частотой 50 Гц фибрилляцию сердца, как правило, не вызывает. При протекании такого тока происходит немедленная остановка сердца, минуя состояние фибрилляции. Если воздействие тока было кратковременным (до 1 - 2 с) и не вызвало паралич сердца, то сердце, как правило, самостоятельно возобновляет нормальную деятельность.

При большом токе, даже в случае кратковременного воздействия, наряду с остановкой сердца происходит и паралич дыхания.

При определенных допущениях тело человека можно представить в виде электрической схемы замещения. Чаще всего используется для анализа явлений при протекании тока через человека по пути рука - рука и расчета электрических параметров сопротивления человека - две схемы замещения: эквивалентная (рис. 1, а) и упрощенная (рис. 1, б). Здесь R_h и C_h - активное сопротивление и емкость в зоне контакта ладони с электродом.

На схеме рис. 1а R_h и C_h активная и реактивная составляющая наружного сопротивления кожи Z_h , r_v - внутреннее сопротивление.

Анализируя эквивалентную схему замещения, можно сделать несколько выводов:

а) Наличие емкости в схеме и соответственно реактивной составляющей в выражении для z_h обуславливает влияние рода и частоты тока на значение сопротивления тела человека.

б) С увеличением частоты f емкостное сопротивление $x_C = 1/(2\pi f C_H)$ уменьшается и шунтирует активное сопротивление r_H . В пределе при $f \rightarrow \infty$ полное сопротивление тела человека равно r_B

в) При уменьшении частоты емкостное сопротивление возрастает и в пределе при $f \rightarrow 0$, т.е. при постоянном токе: $z_h = z_0 = 2r_H + r_B$, откуда

$$r_H = \frac{z_0 - r_B}{2} \quad (1)$$

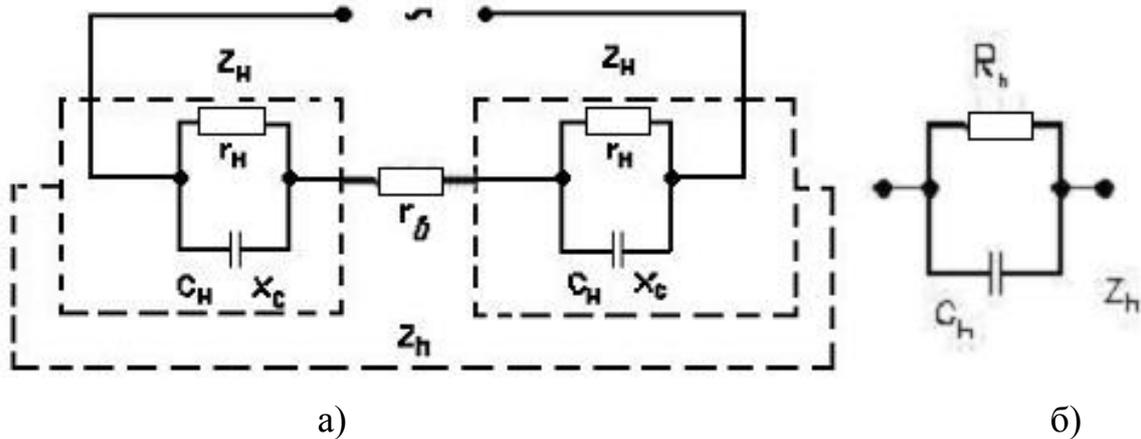


Рис. 1. Электрическая схема замещения тела человека (рука-рука): а) эквивалентная; б) упрощённая.

С некоторыми допущениями можно принять, что полное сопротивление тела человека на частотах 0 - 100 Гц находится в линейной зависимости от частоты тока и может быть определено методом экстраполяции. С этой целью в линейном масштабе строится график зависимости полного сопротивления от частоты, как показано на рис. 2.

Значение z_0 находится при пересечении прямой $z_1 - z_4$ с осью координат.

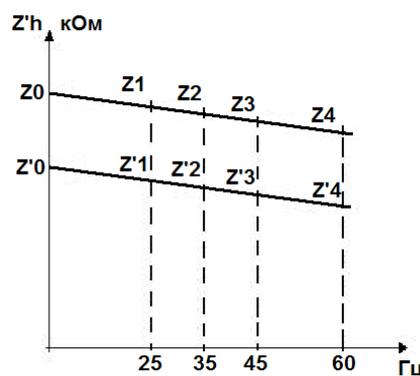


Рис. 2. График экстраполяции при определении сопротивления постоянному току.

г) Значение полного сопротивления наружного слоя кожи Z_H при данной частоте может быть найдено из выражения

$$z_H = \frac{z_f - r_B}{2}, \quad (2)$$

где z_f сопротивление человека z_h на заданной частоте.

Полное сопротивление наружного слоя кожи z_H связано с r_H и $1/(\omega C_H)$ соотношением:

$$1/z_H^2 = 1/r_H^2 + 1/(\omega^2 C_H^2)$$

Отсюда можно получить емкость наружного слоя кожи C_H из выражения:

$$C_H = \frac{\sqrt{r_H^2 - z_H^2}}{2\pi f r_H z_H} \quad (3)$$

Если $r_H \gg z_H$, то вместо соотношения (3) можно использовать более простое выражение $C_H = 1/(2\pi f z_H)$.

Приведенные выражения позволяют при наличии экспериментальной зависимости $z_h(f)$ определить расчетным путем для заданной частоты f значения r_B, z_0, r_H, z_H, C_H .

Состояние кожи сильно влияет на значение электрического сопротивления тела человека. Так, повреждение рогового слоя, в том числе порезы, царапины, ссадины и другие микротравмы, могут снизить z_h до значения, близкого к значению внутреннего сопротивления, что, безусловно, увеличивает опасность поражения током. Такое же влияние оказывает и увлажнение кожи водой или потом, а также загрязнение кожи проводящей пылью или грязью.

Поскольку у одного и того же человека электрическое сопротивление кожи неодинаково на разных участках тела, то на сопротивление в целом влияют и место приложения, а также плотность и площадь контакта.

Значение тока и длительность его прохождения через тело человека непосредственно влияют на полное электрическое сопротивление z_h : с ростом тока и времени его прохождения сопротивление падает, поскольку при этом усиливается местный нагрев кожи, что приводит к расширению ее сосудов, а следовательно, к усилению снабжения этого участка кровью и увеличению потовыделения.

И наконец, повышение напряжения, приложенного к телу человека, уменьшает в десятки раз сопротивление кожи, а следовательно, и полное сопротивление тела, которое в пределе приближается к своему наименьшему значению 300 - 500 Ом (сопротивление внутренних органов r_B). Это объясняется рядом факторов, прежде всего, пробоем рогового слоя кожи, который наступает при напряжении 50 - 200 В, а также ростом тока, проходящего через кожу (за счет повышения напряжения) и др. В целом при нормальных условиях величина полного сопротивления тела человека находится в пределах 3 - 100 кОм. В расчетах при напряжении до 50 В используют величину сопротивления тела человека 6 кОм, а при напряжениях свыше 50 В - 1 кОм.

В заключение следует отметить, что на тяжесть электротравмы кроме указанных выше факторов также влияют условия внешней среды, путь протекания тока через человека (наиболее опасный правая рука - голова) и схема подключения человека к конкретной электрической сети.

II. ПРАКТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Условия проведения работы

Для исследования зависимости сопротивления тела человека от частоты применяется экспериментальная установка (рис. 3), состоящая из звукового генератора со встроенным вольтметром, милливольтметра и стенда с тремя парами дисков-электродов площадью 22, 11 и 7,3 см².

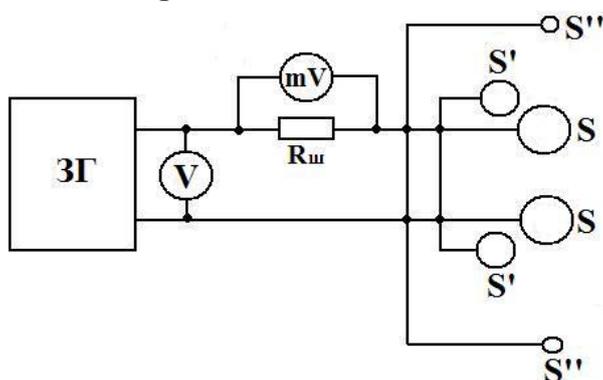


Рис. 3. Схема включения приборов: ЗГ - звуковой генератор; mV - милливольтметр, используемый для определения тока через тело человека; V - вольтметр; S, S', S'' - диски-электроды площадью 22 см², 11 см² или 7,3 см²; R_ш - шунтирующий резистор

Генератор является источником синусоидальных электрических колебаний в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц. Частоты устанавливаются по диапазонам 20 - 200 Гц, 200 - 2000 Гц, 2 - 20 кГц с помощью переключателя. Амплитуда выходного напряжения регулируется ручкой «регулятор выходного напряжения». Милливольтметр, измеряющий падение напряжения на сопротивлении, равном 1 кОм, позволяет получить значение тока через человека.

Во время исследования руки испытуемого накладываются на диски - электроды, на которые от звукового генератора подается напряжение заданной частоты. Для получения правильных значений сопротивления плотность прижатия рук к дискам-электродам должна быть постоянной в течение опыта.

Данные для выполнения работы (площади дисков и частота для расчета) представлены в таблице на стенде лабораторной установки.

2.2. Порядок выполнения работы

1. Получив задание, проверьте подключение приборов и положение ручек на генераторе и милливольтметре. При необходимости установите переключатель диапазонов частоты генератора на 1, ручку регулятора выходного напряжения поверните до отказа влево, после чего можно включить приборы.

2. Один из испытуемых накладывает руки на диски-электроды.

3. Поворачивая ручку «Регулятор выходного напряжения» вправо, установите напряжение 2 - 3 В. Лимбом настройки последовательно установите частоты от 25 Гц до 20 кГц и произведите измерения, показания приборов запишите в таблицу бланка отчета (U_B - показания вольтметра генератора, U_{MB} - показания милливольтметра).

При изменении частоты руки с электродов надо снимать.

Обработка экспериментальных данных

1. Рассчитайте значение тока (мА) и сопротивление тела человека (кОм) по формулам, которые для данной установки с учетом параметров схемы измерения имеют вид:

а) $I = U[\text{мВ}] / 10$; б) $z_h = (U[\text{В}] / I[\text{мА}]) - 1$,

и заполните таблицу бланка отчета

2. Постройте по полученным данным частотные зависимости:

а) $z_h = \varphi(f)$ при S_1 ;

б) $z_h' = \varphi'(f)$ при S_2 ;

Частота по оси абсцисс на бланке отчета отложена в логарифмическом масштабе.

3. Определите внутреннее сопротивление r_B . Оно равно значению z_h при $f = 20$ кГц.

4. Методом экстраполяции (см. рис. 2) найдите значение сопротивления тела человека при постоянном токе r_0 , т.е. при $f \rightarrow 0$.

5. Рассчитайте активное сопротивление наружного слоя кожи r_H по формуле (1).

6. На частоте, указанной в задании, определите из выражения (2) полное сопротивление наружного слоя кожи z_H .

7. Рассчитайте по формуле (3) величину емкости c_H наружного слоя кожи для электродов S_1 и S_2 .

8. Рассчитайте емкостное сопротивление x_C по формуле

$$x_C = 1/\omega C = 1/2\pi f C$$

9. Результаты расчета основных параметров электрической схемы замещения тела человека для заданной частоты внесите в таблицу бланка отчета.

10. Начертите электрическую схему замещения сопротивления тела человека для условий проведенного эксперимента и укажите на ней для максимальной площади электродов численные значения основных параметров: r_H , r_B , x_C .

11. Постройте графики $I_h = \varphi(f)$ при условии постоянства выходного напряжения генератора. Графики постройте на сетке $I_h = \varphi(\lg f)$ бланка отчета, для чего на оси ординат (слева) выберите масштаб для I_h и нанесите

численные значения I_h . Из анализа графиков $I_h = \varphi(f)$ сделайте вывод об изменении значений тока в зависимости от частоты.

12. Для частотного диапазона, в котором $U = \text{const}$, постройте графики $z_h = \varphi(I_h)$ для S_1 и S_2 и сделайте вывод.

13. По результатам опыта укажите факторы, которые влияют на условия поражения электрическим током. Перечислите, какие еще факторы определяют исход поражения током. Для получения зачета по работе необходимо изучить теоретические основы занятия, заполнить бланк зачета, знать порядок проведения практической части работы и быть готовым ответить на контрольные вопросы преподавателя.

Работа 9а

Порядок выполнения работы по определению электрического сопротивления тела человека

Для выполнения работы используется лабораторная установка, состоящая из отдельных модулей. В данном случае используется модуль 341, расположенный в верхнем левом углу комплекта. В состав модуля входит звуковой генератор, вольтметр, миллиамперметр и две пары дисков – электродов площадью 1250 см^2 и 2500 см^2 (рис.4). Частота и напряжение регулируются кнопками, расположенными на поле «Генератор синусоидального напряжения».

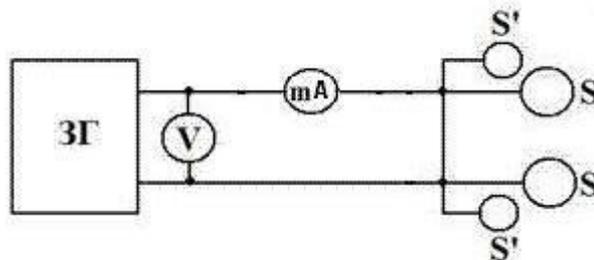


Рис. 4. Схема включения приборов: ЗГ - звуковой генератор; mA - миллиамперметр, используемый для определения тока через тело человека; V - вольтметр; S, S' - диски-электроды площадью 1250 см^2 и 2500 см^2 ; R_h – сопротивление человека.

Для выполнения работы необходимо:

1. Включить выключатель «Сеть» модуля 341:.
2. Оперирова кнопками на поле «Генератор синусоидального напряжения» выставить напряжение согласно заданию и частоту, указанную в бланке. (использовать кнопки выбор диапазона U/f, задание U/f и выбор диапазона f).
3. Приложить ладони рук порознь к двум электродам с площадью контактной поверхности 1250 см^2 и с верхнего индикатора считать величину тока I_h , протекающего через человека. Изменяя частоту снять зависимость $I_h(f)$.

4. Аналогичным образом снять зависимость $I_h(f)$ при прикосновении рук к электродам с площадью 2500 см^2 .

Показания миллиамперметра и вольтметра таблицу бланка.

Обработка экспериментальных данных

1. Рассчитайте сопротивление тела человека (кОм) по формуле $z_h = U/I_h$ и заполните таблицу бланка отчета

а) $z_h = \varphi(f)$ при S_1 ;

б) $z_h' = \varphi'(f)$ при S_2 ;

Частота по оси абсцисс на бланке отчета отложена в логарифмическом масштабе.

3. Определите внутреннее сопротивление r_B . Оно равно значению z_h при $f = 20 \text{ кГц}$.

4. Методом экстраполяции (см. рис. 2) найдите значение сопротивления тела человека при постоянном токе r_0 , т.е. при $f \rightarrow 0$.

5. Рассчитайте активное сопротивление наружного слоя кожи r_H по формуле (1).

6. На частоте, указанной в задании, определите из выражения (2) полное сопротивление наружного слоя кожи z_h .

7. Рассчитайте по формуле (3) величину емкости c_H наружного слоя кожи для электродов S_1 и S_2 .

8. Рассчитайте емкостное сопротивление x_C по формуле

$$x_C = 1/\omega C = 1/2\pi f C$$

9. Результаты расчета основных параметров электрической схемы замещения тела человека для заданной частоты внесите в таблицу бланка отчета.

10. Начертите электрическую схему замещения сопротивления тела человека для условий проведенного эксперимента и укажите на ней для максимальной площади электродов численные значения основных параметров: r_H , r_B , x_C .

11. Постройте графики $I_h = \varphi(f)$ при условии постоянства выходного напряжения генератора. Графики постройте на сетке $I_h = \varphi(\lg f)$ бланка отчета, для чего на оси ординат (слева) выберите масштаб для I_h и нанесите численные значения I_h . Из анализа графиков $I_h = \varphi(f)$ сделайте вывод об изменении значений тока в зависимости от частоты.

12. Для частотного диапазона, в котором $U = \text{const}$, построьте графики $z_h = \varphi(I_h)$ для S_1 и S_2 и сделайте вывод.

13. По результатам опыта укажите факторы, которые влияют на условия поражения электрическим током. Перечислите, какие еще факторы определяют исход поражения током. Для получения зачета по работе необходимо изучить теоретические основы занятия, заполнить бланк заче-

та, знать порядок проведения практической части работы и быть готовым ответить на контрольные вопросы преподавателя.

Вопросы для самоконтроля

1. Укажите значения пороговых осязаемых, неотпускающих токов.
2. Что такое фибрилляционный ток?
3. В каком интервале значений возникают фибрилляционные токи при частоте 50 Гц?
4. В чем опасность фибрилляционных токов?
5. Какие факторы влияют на величину электрического сопротивления тела человека?
6. Укажите численные значения внутреннего сопротивления тела человека. От чего оно зависит?
7. К чему стремится сопротивление тела человека (по эквивалентной схеме замещения) при частоте $f \rightarrow 0$.
8. К чему стремится сопротивление тела человека (по эквивалентной схеме замещения) при частоте $f \rightarrow \infty$.
9. Каково значение сопротивления тела человека при нормальных климатических условиях и отсутствии приложенного напряжения?
10. Каково значение сопротивления тела человека в аварийных ситуациях, когда $U_{np} \geq 100B$.
11. От чего зависит степень тяжести электрической травмы?
12. Какое действие электрический ток оказывает на организм человека?
13. От чего зависит величина емкости (на эквивалентной схеме замещения)?

Работа № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНЫХ МЕР В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Цель работы: изучить принцип действия и эффективность применения защитного заземления и защитного зануления в электроустановках, получить навыки расчёта параметров заземляющих устройств, а также научиться проводить приборное измерение характеристик защитного заземления и удельного сопротивления грунта при эксплуатации электроустановок (ЭУ).

Основные защитные меры в электроустановках.

В процессе эксплуатации ЭУ происходит старение изоляции, возможно ее повреждение, что может привести к появлению напряжения на металлических нетоковедущих (сторонних проводящих) частях электрооборудования, называемое замыканием на корпус.

Для защиты людей от поражения электрическим током при замыкании на корпус применяются следующие защитные меры: защитное заземление, защитное зануление, защитное отключение, разделение электрических сетей, применение малых напряжений, двойной изоляции, уравнивание потенциалов. При выполнении лабораторной работы рассматриваются первые три из перечисленных мер защиты.

I. Теоретическая часть

1.1. Защитное заземление

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение нетоковедущих частей ЭУ, оказавшихся под напряжением, с заземляющим устройством.

Рабочее (функциональное) заземление - заземление точки или точек токоведущих частей ЭУ, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях электробезопасности).

Назначение защитного заземления - снижение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электроустановки, оказавшихся под напряжением.

Принцип действия защитного заземления - снижение напряжения между частями ЭУ, оказавшихся под напряжением, и землей (напряжения прикосновения или шага) до безопасного значения.

Область применения защитного заземления:

при напряжении до 1000 В – трехфазные трехпроводные сети с изолированной нейтралью и однофазные двухпроводные, изолированные от земли;

при напряжениях свыше 1000 В – трехфазные сети с любым режимом нейтрали.

Защитное заземление в электрических сетях, изолированных от земли (система заземления IT)

Принцип действия защитного заземления рассмотрим на примере однофазной сети с изолированным выводом источника питания (рис. 1).

При замыкании провода 1 на корпус электроустановки, через заземляющее устройство с сопротивлением R_3 и изоляцию провода 2 с сопротивлением R_2 потечет ток замыкания I_3 .

Принцип действия защитного заземления основан на снижении до безопасного значения величины напряжения, под которым может оказаться корпус ЭУ относительно земли вследствие замыкания на него тока фазы.

Для упрощения расчетов примем следующие допущения:

1) ток утечки между сопротивлениями изоляции R_1 и R_2 равен нулю;

2) $R_1 = R_2 = R_{ИЗ}$;

3) $R_{ЗЕМЛИ} = R_{ОБУВИ} = R_{ПОЛА} = R_{СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ} = 0$;

Тогда согласно схеме замещения (рис. 1, а)

$$I_3 = \frac{U}{R_{ИЗ} + R_3}.$$

Поскольку напряжение источника $U = U_3 + U_{ИЗ}$, то напряжение, под которым окажется корпус заземленной электроустановки относительно земли, будет равно

$$U_3 = U - U_{ИЗ} = U - I_3 R_{ИЗ} = U - \frac{U R_{ИЗ}}{R_{ИЗ} + R_3}$$

Или

$$U_3 = U \left(1 - \frac{R_{ИЗ}}{R_{ИЗ} + R_3} \right) \quad (1)$$

Из выражения (1) видно, что напряжение замыкания на корпус U_3 будет тем меньше, чем меньше сопротивления заземляющего устройства R_3 , т.е. когда

$$\frac{R_{ИЗ}}{R_{ИЗ} + R_3} \rightarrow 1, \quad U_3 \rightarrow 0$$

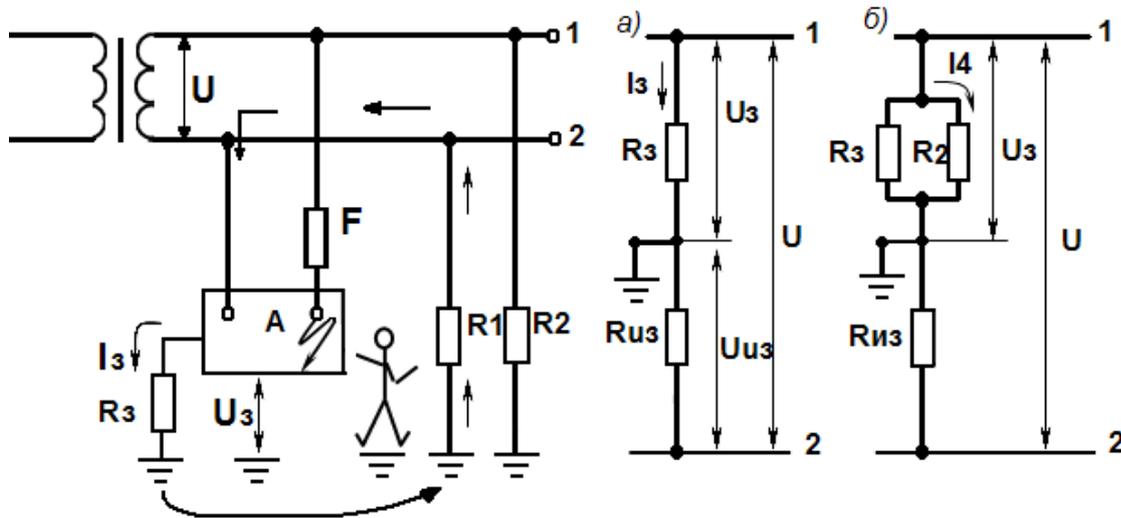


Рис. 1. Принцип действия защитного заземления

Если человек прикоснется к корпусу неисправной электроустановки, то он подключится (рис. 1, б) параллельно сопротивлению R_3 , и ток, протекающий через него, будет примерно равен

$$I_h = \frac{U_3}{R_h} = \frac{U}{R_h} \left(1 - \frac{R_{ИЗ}}{R_{ИЗ} + R_3} \right) \quad (2)$$

Выражение (2) показывает, что даже при неблагоприятных для эксплуатации значениях $R_{ИЗ}$ и при соблюдении требований к величине R_3 защитное заземление свою защитную роль выполнит.

Пример. Пусть $U = 220$ В, $R_3 = 4$ Ом, $R_{ИЗ} = 1000$ Ом.

Тогда

$$U_3 = 220 \left(1 - \frac{1000}{1000 + 4} \right) = 220 \cdot 0,004 = 0,9 \text{ В}$$

$$I_h = \frac{U_3}{R_h} = \frac{0,9}{1000} = 0,0009 \text{ А}$$

Вывод. Защитное заземление является эффективной мерой защиты человека от поражения током при замыкании на корпус электроустановки, питающейся от электрической сети, изолированной от земли (система заземления IT).

На рис. 2 представлена трёхфазная трёхпроводная сеть, от которой питается ЭУ А с защитным заземлением корпуса. Вывод об опасности поражения электрическим током, сделанный выше для однофазной сети, справедлив и для трёхфазной.

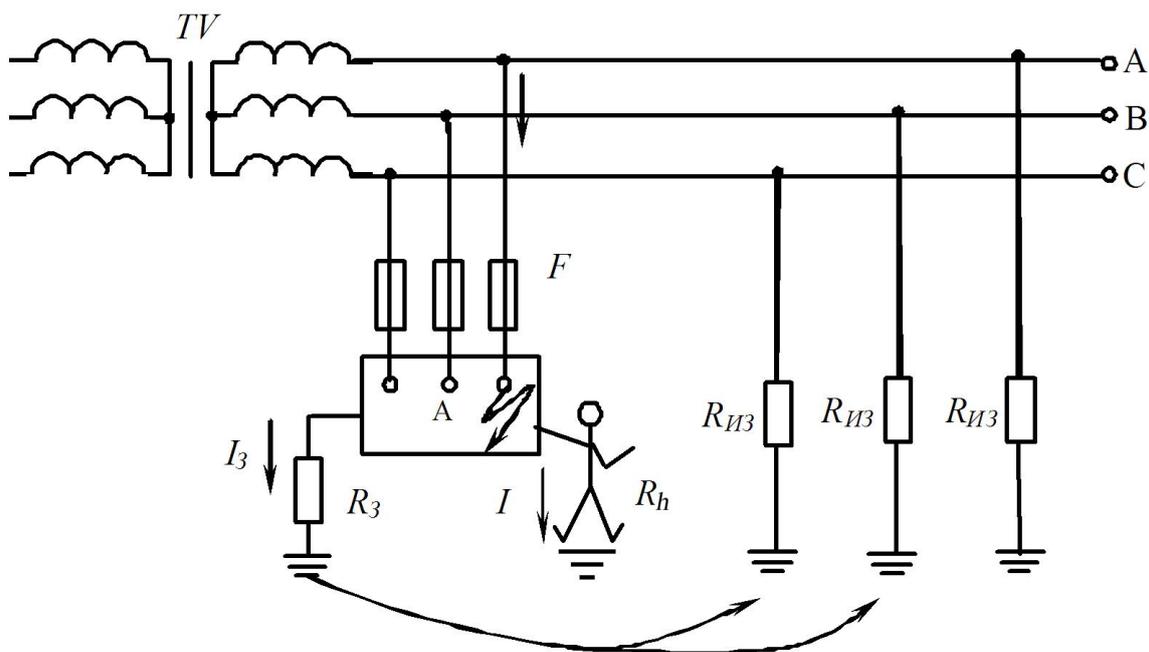


Рис. 2. Защитное заземление в трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью

Защитное заземление в заземленных электрических сетях (система заземления TN)

Проведем анализ эффективности защитного заземления на примере трехфазной электрической сети напряжением до 1000 В с глухо заземленной нейтралью (рис. 3).

Поскольку на практике сопротивление изоляции $R_{ИЗ}$ составляет десятки и сотни тысяч Ом, а сопротивление рабочего заземления вторичной обмотки трансформатора - единицы Ом, то величиной тока, протекающего через $R_{ИЗ}$, пренебрежем.

Тогда согласно схеме замещения (рис. 3):

$R_3 = R_0$, то:

$$I_3 = \frac{U_{\phi}}{R_3 + R_0}$$

$$U_3 = U_{\phi} \frac{R_3}{R_3 + R_0}$$

Таким образом, корпус заземленной электроустановки может оказаться под напряжением относительно земли, равном половине фазного напряжения сети.

Если человек коснется корпуса электроустановки, то он подключится параллельно сопротивлению R_3 и

$$I_h = \frac{U_\phi}{2R_h}$$

При $U_\phi = 220 \text{ В}$, $I_h = \frac{220}{2 \cdot 1000} = 0,11 \text{ А}$, что представляет смертельную опасность для человека.

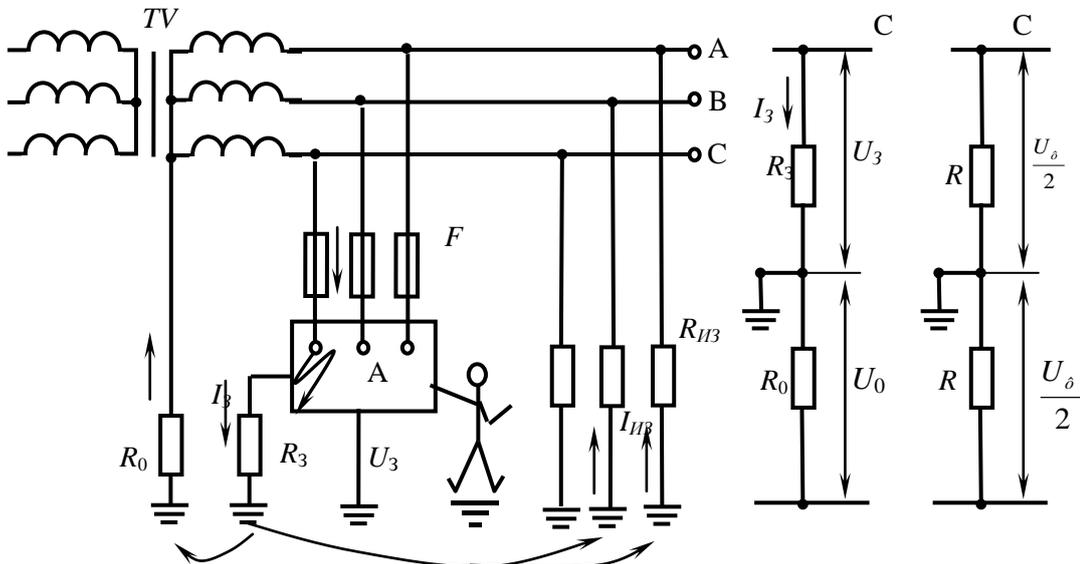


Рис. 3. Защитное заземление в заземленной электрической сети

Вывод. Защитное заземление в заземленных электрических сетях до 1000 В неэффективно.

Вот почему Правила устройства электроустановок (ПУЭ) не рекомендуют использовать защитное заземление в данных сетях в качестве единственной меры защиты. Оно может использоваться только как дополнение к занулению или другим видам защиты.

При напряжении свыше 1000 В ток замыкания существенно увеличивается, что позволяет использовать устройства максимальной токовой защиты для отключения аварийного участка сети от ЭУ.

Из рассмотренного принципа действия защитного заземления следует, что чем меньше сопротивление защитного заземления или заземляющего устройства, тем меньший ток протекает через тело человека.

Сопротивлением заземляющего устройства называется отношение напряжения на нем к току, стекающему с заземлителя. В зависимости от режима нейтрали сети, от которой питается ЭУ, оно будет различным.

Заземлителем называется проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду. Заземлители могут быть выполнены в виде стальных труб, уголкового стального прутка, прутковой стали и т.д. По расположению заземлителей относительно заземленных корпусов, заземляющие устройства подразделяют на выносные и контурные. Контурные заземляющие устройства яв-

ляются более эффективными с точки зрения электробезопасности, так как за счет выравнивания потенциала на защищаемой территории снижается напряжение прикосновения.

Защитное зануление

Защитным занулением называется преднамеренное электрическое соединение частей ЭУ, на которых может оказаться напряжение, с нулевым проводником.

Область применения защитного зануления – трехфазные четырехпроводные (пятипроводные) сети с заземленной нейтралью при напряжениях до 1000 В. Как было рассмотрено выше, защитное заземление в таких сетях не выполняет защитную роль. И поэтому для защиты человека в аварийных ситуациях в таких сетях согласно ПУЭ следует применять защитное зануление.

Назначение зануления - устранение опасности поражения электрическим током при прикосновении к корпусу (ОПЧ) и другим металлическим НТВЧ (СПЧ) ЭУ, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус.

Принцип действия зануления (рис.4) основан на превращении замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание между фазным и нулевым защитным проводником (РЕ), при котором протекает большой ток короткого замыкания (по цепи фаза – корпус – нулевой провод – фаза), обеспечивающий срабатывание защиты (автоматов, предохранителей и т.п.), автоматически отключающей поврежденную установку от питающей сети. Для обеспечения надежного отключения необходимо, чтобы ток КЗ превышал номинальный ток плавкой вставки или ток уставки расцепителя автомата.

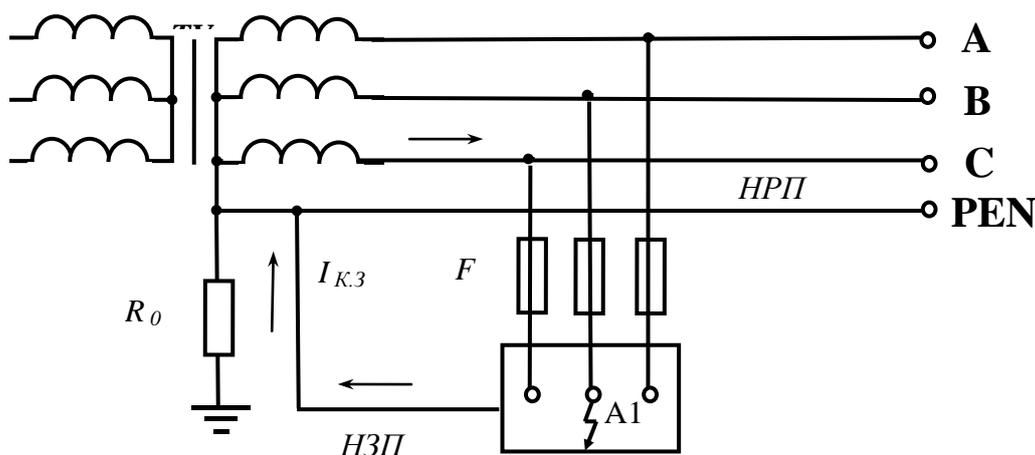


Рис 4 Схема защитного зануления

Однако при такой схеме зануления на PEN-проводнике относительно «земли» всегда присутствовал потенциал, так как PEN-проводник исполь-

зовался как нулевой рабочий, так и нулевой защитный. Кроме того, поскольку согласно ПУЭ максимальное время отключения установки при напряжении 220 В составляет величину 0,4 с, то это время корпус ЭУ находится под высоким напряжением (порядка 150 В). Также, возможен обрыв нулевого проводника, что нарушает работу зануления. Для обеспечения электробезопасности в этих случаях дополнительно заземляют нулевой проводник с помощью повторных сопротивлений величиной порядка величины R_0 . В заключении следует заметить, что защитное заземление и защитное зануление не обеспечивают безопасности человека в случае его прикосновения к токоведущим частям ЭУ или к фазному проводу. Иногда, например, в условиях низких температур снижается защитная роль этих мер. В таких случаях применяют устройства защитного отключения (УЗО) как основную или дополнительную защитную меру.

II. Практическая часть

Измерение сопротивления растеканию тока с заземлителей. В лаборатории имеется лабораторная установка (ЛУ) с разными приборами для выполнения данной работы. Принцип действия приборов одинаков, хотя и есть внешние конструктивные отличия.

Рассмотрим ЛУ, в которой для выполнения задания применяется широко распространенный на практике измеритель заземления М-416 (Ф4103), предназначенный для измерения сопротивления заземляющих устройств и для определения удельного сопротивления грунта. Прибор имеет четыре зажима: два токовых, обозначенных I_1 и I_2 и два потенциальных - E_1 и E_2 .

Измеритель сопротивления М-416 имеет четыре диапазона измерения: 0,1 - 10 Ом; 0,5 - 50 Ом; 10 - 1000 Ом. Принцип действия основан на компенсационном методе с применением вспомогательного заземлителя и потенциального электрода (зонда).

2.2. Порядок выполнения работы

А. Определение удельного сопротивления грунта.

а) Получите задание от преподавателя и впишите данные со стенда в таблицу.

б) Соберите схемы согласно рис. 5 и измерьте сопротивление грунта R_1 , $R_{СТ}$, $R_{зонд}$, $R_{ВСП}$.

Для их измерений необходимо:

- установить переключатель Π_1 в положение x1 или x5 (в зависимости от предполагаемого значения сопротивления заземления), а переключатель Π_2 - в положение "Измерение";

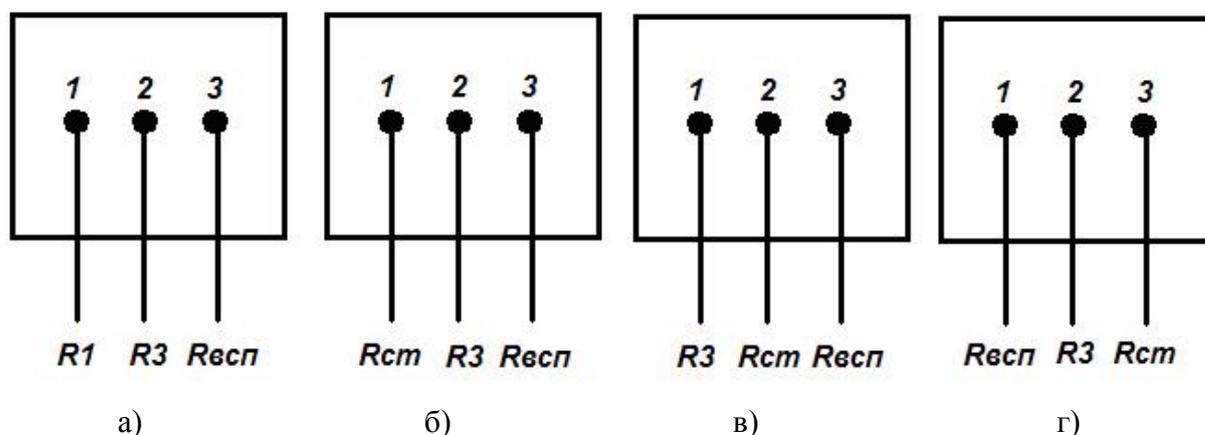


Рис. 5. Схемы подключения прибора М-416 для измерения сопротивления:
а) грунта; б) станка; в) зонда; г) вспомогательного заземлителя

Нажатием кнопки и вращением ручки «Реохорд» добиться нулевого положения индикатора. Если $R_{3\text{в}}$ больше 10 Ом установить переключатель в положение «x5», «x20», «x100», повторить измерение и результат считывания со шкалы реохорда умножить на множитель.

- при собранной схеме нажать кнопку, одновременно поворачивать ручку «Реохорда», добиваясь нулевого показания индикатора;

- сопротивление заземления равно показанию по шкале реохорда, умноженному на коэффициент, установленный положением переключателя Π_1 .

в) Полученные результаты измерений R_1 , R_{CT} , $R_{\text{зонд}}$, $R_{\text{ВСП}}$ внесите в таблицу бланка отчета,

г) По данным опыта рассчитайте удельное сопротивление грунта,:

$$\rho_{\text{ИЗМ}} = \frac{2\pi l_1 R_1}{\ln \frac{4l_1}{d_1}} = 2.73 \frac{l_1 R_1}{\lg \frac{4l_1}{d_1}} \text{ Ом*см}$$

где R_1 - сопротивление, измеренное прибором М-416 (М 1103);

l_1 - глубина забивки трубы, см;

d_1 - диаметр трубы, см.

Б. Расчет заземляющего устройства

а) По величине $\rho_{\text{ИЗМ}}$ определите вид грунта и значение коэффициента сезонности ϕ из табл. 1 и 2.

б) Определите значение расчетного удельного сопротивления грунта, Ом см из выражения $\rho_{\text{РАСЧ}} = \rho_{\text{ИЗМ}} \cdot \phi$.

в) Рассчитайте сопротивление растеканию тока одиночного трубчатого заземлителя $R_{ТР}$, Ом, забитого на некоторую глубину h от поверхности земли, по формуле:

$$R_{ТР} = \frac{\rho_{РАС}}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) = 0,366 \frac{\rho_{РАС}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right)$$

где $\rho_{РАСЧ}$ - расчетное удельное сопротивление грунта, Ом см;

l - длина трубы, см;

d - диаметр трубы, см;

t - расстояние от поверхности земли до середины заземлителя, $t = h + \frac{1}{2}l$, см.

Таблица 1

Удельное сопротивление грунта

Характер грунта	Удельное сопротивление, Ом·см·10 ⁴	
	при влажности 10 - 20% к весу почвы для предварительных расчетов	предел колебаний
Песок	7	4 - 7
Каменистый грунт	-	1,5 - 4
Супесь	3	1,5 - 4
Лес	2,5	1 - 3
Чернозем	2	0,09 - 5,3
Суглинок	1	0,4 - 1,5
Глина	0,4	0,08 - 0,7
Садовая земля	0,4	0,2 - 0,6
Торф	0,2	0,1 - 0,3
Речная вода	0,5	0,1 - 0,8
Морская вода	0,01	0,002 - 0,01

г) Определите приближенное число заземлителей $n = R_{ТР} / R_{ДОП}$, где

$R_{ДОП}$ - допустимое сопротивление защитного заземления, Ом (для напряжения 380 В $R_{ДОП} = 4$ Ом). При получении нецелого числа округлите в большую сторону.

д) По приближенному числу заземлителей определите из графиков рис. 6 и 7 коэффициент использования заземлителей $\eta_{ТР}$ в зависимости от отношения a/l ;

е) Определите число заземлителей с учетом $\eta_{ТР}$, округлив его в большую сторону

$$n = \frac{R_{ТР}}{R_{ДОП} \cdot \eta_{ТР}}$$

Таблица 2

**Величины климатических коэффициентов в зависимости от вида
грунта и глубины заложения заземлителей**

Характер грунта	Глубина заложения h , м	Климатический коэффициент		
		ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
Суглинок	0,5 - 0,8	3,0	2,0	1,5
Суглинок	0,8 - 3,8	2,0	1,5	1,4
Содовая земля до глубины 0,6м, ниже - слой глины	0 - 3	-	1,32	1,2
Гравий с примесью глины, ниже - глина	0 - 2	1,8	1,2	1,1
Известняк	0 - 2	2,5	1,51	1,2
Гравий с примесью песка	0 - 2	1,5	1,3	1,2
Торф	0 - 2	1,4	1,1	1,0
Песок	0 - 2	2,4	1,56	1,2
Глина	0 - 2	2,4	1,36	1,2

Примечания: ϕ_1 - если измерения сопротивления грунта выполнялись при наибольшей влажности грунта; ϕ_2 - если измерения производились при средней влажности; ϕ_3 - если измерения осуществлялись при сухом грунте.

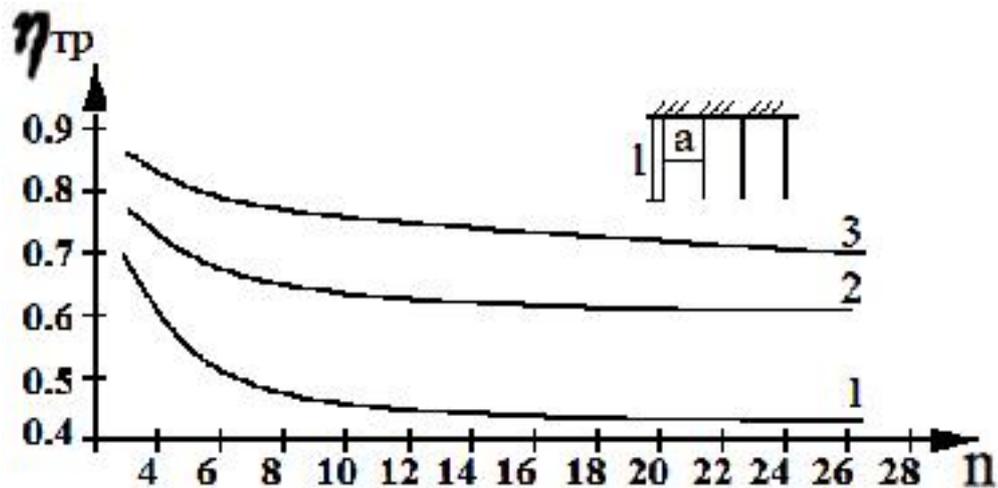


Рис. 6. График для определения коэффициента использования $\eta_{гр}$, заземлителей из труб (уголков), размещенных по контуру, без учета влияния полосы связи

ж) Определите длину полосы L , соединяющей заземлители, по формулам:

$$L_1 = 1,05 \cdot an$$

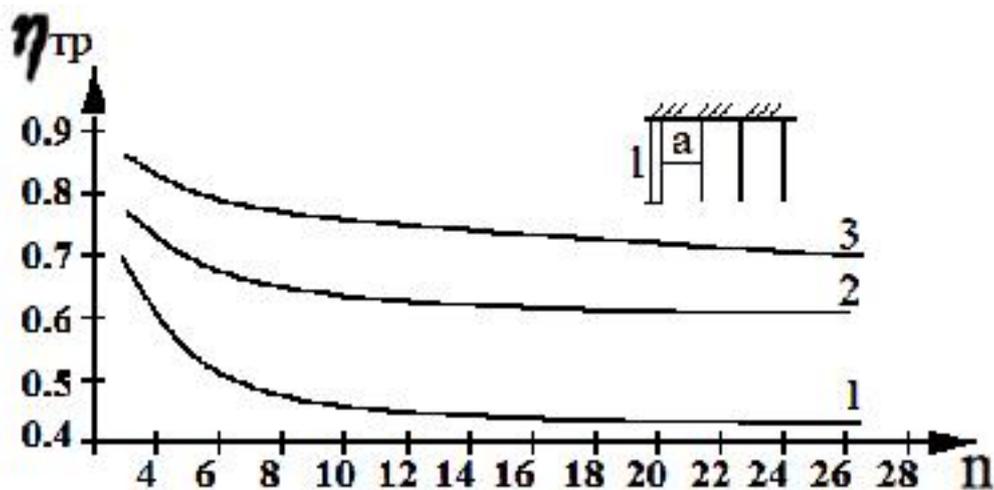


Рис. 7. График для определения коэффициента использования $\eta_{ГР}$, заземлителей из труб (уголков), размещенных в ряд без учета влияния полосы связи

- при расположении заземлителей по контуру;

$$L_2 = 1,05 \cdot a(n-1)$$

- при расположении заземлителей в ряд;

где a - расстояние между заземлителями, см;

n - число заземлителей.

з) Определите сопротивление полосы $R_{П}$, Ом, уложенной на заданную глубину h от поверхности земли:

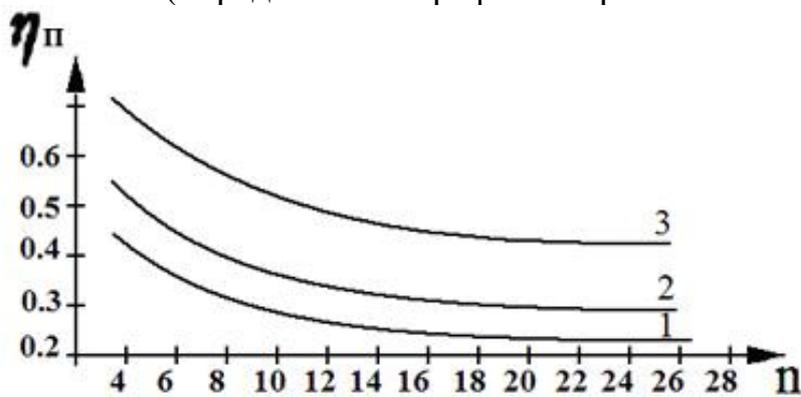
$$R_{П} = \frac{\rho_{ПАС}}{2\pi L} \ln \frac{2L^2}{bh} = 0,366 \frac{\rho_{ПАС}}{L} \lg \frac{2L^2}{bh}, \text{ Ом,}$$

где L - длина полосы, см, b - ширина полосы, см, h - глубина заложения, см.

и) Определите общее сопротивление заземляющего устройства по формуле

$$R_{ОБЩ} = \frac{R_{ГР} R_{П}}{n R_{П} \eta_{ГР} + R_{ГР} \eta_{П}}, \text{ Ом,}$$

где $\eta_n(n)$ - коэффициент использования полосы при различных отношениях a/l (определите по графикам рис. 8 и



9).

Рис. 8. График для определения коэффициента использования $\eta_{П}$ соединительной полосы в контуре из труб (уголков)

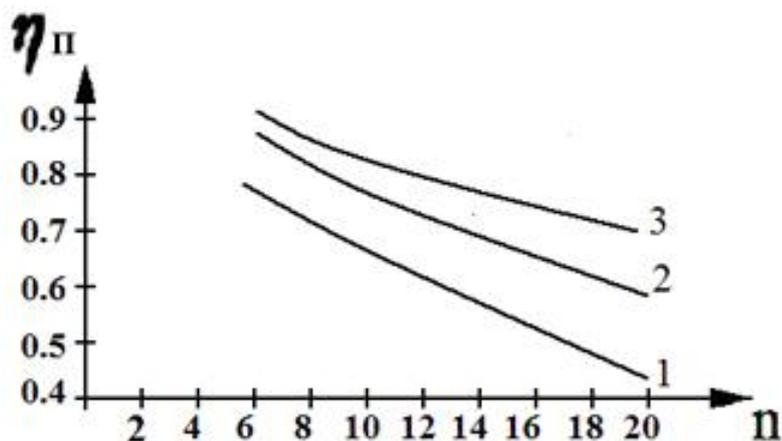


Рис. 9. График для определения коэффициента использования $\eta_{П}$ соединительной полосы в ряду труб (уголков) к магистрали заземления здания

к) Расчетные данные внесите в таблицу бланка отчета и начертите эскиз заземляющего устройства.

Работа 10а

Порядок выполнения работы по исследованию эффективности защитного заземления и зануления:

Включить установку.

1. Исследование защитного заземления электрической сети с изолированной нейтралью:

- Собрать электрическую цепь с изолированной нейтралью (S_N - разомкнут - тумблер в нижнем положении)

- Заземляем корпус электроприёмника 2 соединяя его перемычкой с R_3 .

- Устанавливаем последовательно сопротивление изоляции $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{NE} = 20; 10; 5; 1$ кОм.

Замыкаем выключатель S_2 , имитируем замыкание фазы на корпус электроприёмника 2, замыкая S_{K32} (светодиоды на кнопках S_2 и S_{K32} - светятся).

- Снимаем показания с амперметра $A1$, измеряющего электрический ток замыкания в цепи приёмника (ЭП) 2 - амперметр $A1$ - сопротивление защитного заземления R_{3M2} - сопротивления изоляции проводов относительно земли $R_{AE} = R_{CE} = R_{NE}$ - повреждённая фаза В.

- Результаты измерений занести в табл. 1 отчёта.

После каждого измерения необходимо провести «сброс» показаний приборов нажатием кнопки «сброс».

На стенде фиксируется ток через заземлитель. Посчитайте потенциал прикосновения и ток через человека, приняв сопротивление заземлителя 4 Ом и человека 1000 Ом.

2. Исследования эффективности защитного зануления в электрической сети с глухозаземлённой нейтралью.

Собрать электрическую сеть с глухозаземлённой нейтралью (S_N - замкнут, тумблер в верхнем положении).

- Соединить корпус электроприёмника 2 с нулевым защитным проводником - РЕ (соединить проводник X_2 с X_{PE2}).

- Замыкаем выключатель S_2 , имитируем замыкание фазы В на корпус электроприёмника 2, замыкая S_2 и S_{KS2} (светодиоды на кнопках S_2 и S_{KS2} светятся).

- Изменяя сопротивление нулевого защитного проводника R_{PE} переключателем $S_{RPE} = 0,5; 0,2; 0,1$; Ом и переходное сопротивление $R_{ПЕР}$ имитирующего соединения корпуса электроприёмника 2 с РЕ проводником ем переключателем $S_{RAEP} = 0,5; 0,1; 0$ Ом.

- Снимаем показания с амперметра А1, измеряющий ток короткого замыкания в цепи фаза - корпус - $R_{ПЕР}$ - R_{PE2} - шумовая точка источника электропитания (в практике эксплуатации называемая «петля фаза - шумовой защитный проводник»).

- По электронному секундомеру фиксируем время отключения S_2 (срабатывание защитного зануления) T в мс.

- Изменяя значение $R_{ПЕР}$ и R_{PE2} проводим измерение занося показания $I_{КЗ}$ и T в табл. 3.

Таблица 3

R_{PE2} (Ом)	$R_{ПЕР} = 0,5$ (Ом)		$R_{ПЕР} = 0,1$ (Ом)		$R_{ПЕР} = 0$ (Ом)	
	I_1 (А)	T (мс)	I_1 (А)	T (мс)	I_1 (А)	T (мс)

4. По данным варианта выданного преподавателем произвести расчёт защитного заземления. Исходные данные вариантов приведены в табл.4

Таблица 4

№ варианта	ρ (Ом см 10^4)	l (см)	D (см)	a (см)	b (см)	h (см)	φ
1	4,5	180	6	360	6	70	φ_1
2	1,5	200	5	400	5	60	φ_2
3	1,1	220	6	220	4	50	φ_3
4	0,8	230	5	460	5	60	φ_4
5	0,4	250	4	500	6	50	φ_5

Допустимое сопротивление защитного заземления для всех вариантов:
 $R_{\text{доп}} = 4 \text{ Ом}$.

Расстояние от поверхности земли до середины заземлителя « l » вычислить по формуле:

$$T = h + l/2, \text{ см,}$$

ρ - удельное сопротивление грунта, Ом см;

l - длина одиночного заземлителя (трубы), см;

d - диаметр трубы, см;

a - расстояние между заземлителями, см;

b - ширина полосы, мм;

h - глубина заземления, см;

ϕ - климатический коэффициент;

Формулы для расчета заземлителя даны в работе 10.

5. Результаты расчётов занести в бланк лабораторной работы.

6. По результатам рассчитанных данных нарисовать эскиз заземляющего устройства, и обосновать конфигурацию и тип (групповой: горизонтальный и вертикальные заземлители, расположенные в ряд или контурный).

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется защитным заземлением?
2. Укажите область применения защитного заземления?
3. Объясните принцип действия защитного заземления.
4. Что называется защитным занулением?
5. Укажите область применения защитного зануления.
6. На чем основан принцип действия защитного зануления?
7. Укажите принципиальную разницу между защитным заземлением и занулением.
8. Что представляет климатический коэффициент сезонности при расчете заземляющего устройства?
9. Чему равно предельно допустимое значение сопротивление заземляющего устройства при напряжении 380 В? При напряжении 6 кВ?
10. В каких случаях целесообразно выполнять защитное заземление в ряд, а в каких – по контуру?
11. Как изменяется сопротивление заземляющего устройства при изменении влажности грунта?
12. Каково время срабатывания отключающих автоматов, предохранителей в устройствах защитного зануления?
13. От чего зависит эффективность работы защитного заземления?

14. В каких случаях безопасность человека не могут обеспечить ни защитное заземление ни защитное зануление?

ЗАЩИТА ОТ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Общие сведения

Жизнь живых существ на Земле проходит под непрерывным воздействием электромагнитных полей (ЭМП) различного частотного диапазона. Это могут быть поля естественного происхождения: электрическое и магнитное поля Земли, электрические поля, образуемые в ее атмосфере, радиоизлучение Солнца и галактик. Кроме естественных, в настоящее время существует уровень искусственных ЭМП, создаваемых электрическими установками и радиотехническими системами различного назначения, и часто превышающий поля естественного происхождения. Влияние этих полей на организм человека может быть весьма значительным. При этом создается угроза его здоровью, снижается работоспособность. Широкое распространение получили за последнее время источники электромагнитных полей сверхвысокочастотного диапазона (СВЧ) и, в первую очередь, сотовые телефоны (стандарты GSM-900, GSM-1800) и персональные компьютеры, а также микроволновые печи (частота 2450 МГц), локационные установки, системы связи, радио и телевидения и другие. Изготовление и эксплуатация СВЧ устройств и установок, как правило, связаны с облучением обслуживающего персонала, а также населения. Особую опасность представляют в этом случае станции мобильной связи, расположенные часто на крышах жилых зданий, а также сам сотовый телефон. При выходной мощности 100 – 200 мВт его корпус находится вблизи головы, а соответственно и мозга человека. Очевидно, что при превышении допустимых уровней СВЧ излучения возникает необходимость защиты от его вредного воздействия.

При воздействии электромагнитных полей СВЧ на живой организм рассматривают тепловое и нетепловое воздействие. При тепловом воздействии в биологических тканях образуются токи смещения, что приводит к выделению в них тепла. Наибольшему воздействию СВЧ полей подвержены органы человека, обладающие наилучшей поглощающей способностью и наихудшим теплоотводом, например, спинной и головной мозг, семенники, глаза. Под тепловым порогом понимается такой уровень плотности потока энергии (ППЭ) при котором системы терморегуляции организма человека не справляются с отводом поглощаемого тепла электромагнитного поля (в данном случае это 100 Вт/м^2).

Поглощенная энергия E на частотах свыше 300 МГц зависит от эффективной поверхности тела S , плотности потока энергии ППЭ, падающей на эту поверхность, расстояния r , пройденного волной от поверхно-

сти кожи в глубь тела, коэффициента отражения от границы сред (воздух–кожа, кожа–жир, кожа–мышцы) γ и приближенно описывается соотношением: $E = ППЭ \cdot S(1-\gamma) \cdot t \cdot e^{-\frac{2r}{x}}$, Дж, где x –глубина проникновения до ослабления в e раз, t – время воздействия. Следует отметить, что поскольку эффективная поверхность тела и коэффициент отражения сильно зависят от частоты, то поглощенная энергия СВЧ поля также будет определяться частотным диапазоном. Наибольшее поглощение наблюдается при длинах волн 10–30 см (до 100 %). Однако, хотя и поглощение энергии при длинах волн 30–100 см несколько меньше (30–40 %), вред может быть нанесен большой, так как воздействию подвергаются в этом случае внутренние органы (сердце, легкие и т.д.) вследствие более глубокого проникновения излучения в тело человека.

Однако влияние на живой организм электромагнитных полей СВЧ обнаруживается и при интенсивностях, ниже тепловых порогов (нетепловое воздействие). Длительное и систематическое воздействие полей СВЧ на обслуживающий персонал даже с малыми интенсивностями приводит к функциональным изменениям в организме. В результате нарушаются ранее выработанные условные рефлексy, изменяется характер и интенсивность физиологических, биологических процессов в организме, нервной регуляции сердечно-сосудистой системы и т.д. Вследствие этого замедляется пульс (брадикардия), понижается кровяное давление (гипотония), изменяется состав крови. Кроме того, появляется головная боль, нарушается сон, повышается раздражительность. При облучении глаз возможна катаракта (помутнение хрусталика глаза). Степень воздействия электромагнитных полей СВЧ зависит от интенсивности облучения, его длительности, диапазона частот, формы сигнала, режима облучения (непрерывного, импульсного), коэффициента направленного действия излучателя, расстояния от источника и индивидуальной чувствительности организма

Электромагнитное поле СВЧ диапазона характеризуется плотностью потока энергии ППЭ ($Вт/м^2$) и частотой излучения или длиной волны. Для СВЧ полей частота излучения составляет 300МГц – 300ГГц (длина волны 0,001-1м). ППЭ излучения в зависимости от расстояния R (м) до облучаемого объекта в воздухе в дальней зоне (для малых размеров антенны $R \gg \lambda / 2\pi$, где $\lambda = c / f$ - длина волны в воздухе, c – скорость света, f – частота) определяется через мощность излучения радиотехнического устройства P (Вт) и коэффициент усиления излучающей антенны G :

$$ППЭ_{изл} = \frac{PG}{4\pi R^2}, (Вт/м^2).$$

Измеряемая ППЭ на рабочем месте, на произвольном расстоянии от источника излучения $ППЭ_{изм}$ определяется соотношением:

$$ППЭ_{изм} = \frac{P_0}{\eta S_{эфф}}, \text{ (мкВт/см}^2\text{)}$$

где P_0 – показания ваттметра поглощаемой мощности в мкВт;

$S_{эфф}$ – эффективная поверхность приемной антенны в см²;

η – КПД преобразователя (в данной работе равен 1).

Для предупреждения профессиональных заболеваний установлены предельно допустимые значения ППЭ для персонала предприятий и для населения (ГОСТ 12.1.006–84), СанПиН 2.1.8/2.2.4.1191-03 и СанПиН 2.1.8./2.2.4.1383-03. Предельно допустимую $ППЭ_{доп}$ в СВЧ диапазоне на рабочих местах устанавливают, исходя из допустимого значения энергетической экспозиции $ЭЭ_{доп} = 2 \frac{Вт}{м^2} \text{ час}$ и времени пребывания в зоне облучения. Однако во всех случаях она не должна превышать 10 Вт/м² для персонала или 0,1 Вт/м² для населения. При наличии рентгеновского излучения или высокой температуры воздуха в рабочих помещениях (выше 28⁰С) предельно допустимая ППЭ не превышает 1 Вт/м². Предельно допустимая $ППЭ_{доп}$ в зависимости от времени определяется по формуле

$$ППЭ_{доп} = \frac{ЭЭ_{доп}}{T}$$

T – время пребывания в зоне облучения, час. Однако, как было сказано выше, запрещена работа без применения защитных средств при превышении допустимой ППЭ в 10 Вт/м².

Вышеприведенное соотношение можно использовать для определения допустимого времени работы при заданной ППЭ на рабочем месте:

$$T_{доп} = 2 / ППЭ_{изм}$$

где $ППЭ_{изм}$ – уровень плотности потока энергии на рабочем месте.

Для сотовых телефонов и микроволновых печей $ППЭ_{доп} = 1 \text{ Вт} / \text{м}^2$. В Западной Европе и США в качестве допустимого параметра для сотовых телефонов используют коэффициент радио поглощения SAR не более 2Вт/кг и 1,6 Вт/кг, соответственно.

При несоответствии значений ППЭ требованиям норм применяют следующие основные меры защиты от воздействия СВЧ излучений:

- 1) уменьшение выходной мощности источника излучений или работу на эквивалент антенны;
- 2) экранирование источника излучения;
- 3) удаление рабочего места от источника излучения или удаление источника от рабочего места;
- 4) ограничение времени пребывания в зоне облучения;
- 5) применение индивидуальных средств защиты;
- 6) контроль уровня излучений на рабочем месте.

В зависимости от типа источника излучения, его мощности, характера технологического процесса может быть применен один из указанных методов или любая их комбинация.

Эффективным средством защиты от СВЧ излучений является применение экранирующих устройств отражающего или поглощающего типа, устанавливаемых на пути излучения. Степень ослабления СВЧ поля в случае применения экранов определяется соотношением:

$$L = 10 \lg(ППЭ / ППЭ_{\text{э}}), \text{ (дБ)},$$

где ППЭ_э – ППЭ при наличии экрана, а ППЭ – при его отсутствии.

Физическая сущность электромагнитного экранирования с точки зрения теории электромагнитного поля для экранов отражающего типа состоит в том, что под воздействием поля в материале экрана наводятся токи, поля которых во внешнем пространстве по величине близки, а по направлению противоположны экранируемому полю. В результате происходит взаимная компенсация полей. Экранирующие устройства выполняются в виде сплошных или сетчатых заземленных экранов, изготовленных из меди, латуни, алюминия и других материалов. Уровень ослабления СВЧ электромагнитного излучения при использовании сплошных экранов может составлять величину порядка 50 дБ.

Защитные свойства сетчатых экранов зависят от размера ячеек и толщины используемой для его изготовления проволоки. Чем меньше размеры ячейки сетки по отношению к длине волны излучения, тем выше эффективность экранирования. Так, например, использование латунной сетки с количеством ячеек 9x9 на 1 см² обеспечивает затухание 48 дБ в 3-х сантиметровом диапазоне длин волн.

В экранах поглощающего типа происходит преобразование электромагнитной энергии в тепловую. В таких экранах широко применяются материалы на основе графита. Наилучшую защиту обеспечивают экраны, состоящие из поглощающего и отражающего слоев.

Вопросы для самоконтроля приведены в работе 12.

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, СОЗДАВАЕМОГО НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ

Условия проведения работы

Блок-схема установки для проведения измерений уровней СВЧ излучения и экранирующих свойств материалов представлена на рис. 1.

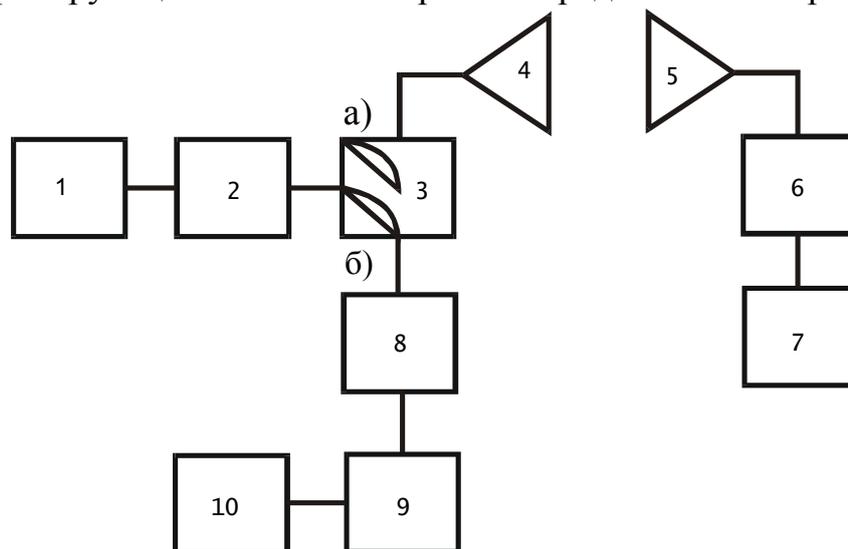


Рис.1 - Блок-схема установки

СВЧ сигнал генератора ГЗ-24 1 через аттенюатор (регулятор уровня СВЧ сигнала) 2 попадает на волноводный переключатель (ВП) 3, с выхода которого в положении «а» проходит на излучающую антенну 4 и далее через приемную антенну 5 попадает на детекторную секцию 6 и микроамперметр 7, прокалиброванный в единицах мощности (мкВт). В положении «б» СВЧ колебания с ВП 3 проходят на секцию 8, в которую помещен исследуемый материал с экранирующими или поглощающими свойствами и далее на детекторную секцию 9, подключенную к милливольтметру В7-27 10, позволяющему измерить уровень СВЧ колебаний с экранирующим материалом и без него.

Порядок выполнения работы

1. Измерение уровня СВЧ излучений P в зависимости от расстояния до источника (ВП в положении «а»):

а) включить СВЧ генератор ГЗ-24, милливольтметр В7-27 в сеть. Дать прогреться приборам 5 мин;

б) установить величину затухания на аттенюаторе 0 дБ и частоту СВЧ сигнала по шкале генератора ГЗ-24 в диапазоне 7450 – 7600 МГц. Перемещая приемную антенну относительно передающей (по плоскости рупора

приемной антенны), измерить по шкале микроамперметра СВЧ мощность в нескольких точках (4–5) согласно варианту задания. Полученные по шкале микроамперметра значения необходимо умножить на 5. Во время измерений следить за тем, чтобы направление приемной антенны совпадало с направлением максимально измеряемого сигнала. Если возникает превышение уровня измеряемого сигнала сверх максимального значения шкалы микроамперметра, необходимо немного поменять частоту выходного сигнала генератора.

2. Измерение на заданном расстоянии зависимости ППЭ на рабочем месте от излучаемой мощности $P_{изл}$:

а) установить на аттенюаторе 2 затухание в 0 дБ, а антенну – на расстоянии, указанное в задании;

б) увеличивая затухание аттенюатора, снять зависимость уровня СВЧ мощности от показаний аттенюатора (в точках 0 дБ, 3 дБ, 6 дБ, 10 дБ и 13 дБ). После измерений установить на аттенюаторе затухание в 0 дБ.

3. Измерение экранирующих свойств материалов:

а) установить ВП в положение “б” и измерить уровень СВЧ сигнала при отсутствии экранирующих материалов U_0 по милливольтметру В7-27 в положении “100 мВ”. Если уровень СВЧ сигнала приводит к перегрузке милливольтметра (периодически загорается буква «П») необходимо ввести затухание с помощью аттенюатора и провести все измерения при данном затухании (величина затухания не влияет на свойства экранирующих материалов);

б) установить последовательно в секцию 8 экранирующие материалы (латунные с различными размерами ячейки (1 мм, 5 мм, 10 мм) и графитированный гитенакс) и выполнить измерение уровня СВЧ сигнала $U_э$ при наличии экранирующих материалов;

в) убрать образец экранирующего материала и выключить СВЧ генератор и милливольтметр.

Провести обработку экспериментальных результатов, рассчитав ППЭ СВЧ излучения в зависимости от расстояния (п.1) по формуле:

$$ППЭ_{изм} = \frac{P_0}{S_{эфф}}$$

($S_{эфф} = 25 \text{ см}^2$) и ППЭ – от уровня мощности излучаемого сигнала $P_{изл}$ (учитывая, что начальная мощность излучения при затухании аттенюатора 0 дБ $P_{изл_0} = 12 \text{ мВт}$, а мощность излучаемого сигнала при введенном затухании $P_{изл}$ можно рассчитать по формуле:

$$L(\text{дБ}) = 10 \lg \frac{P_{изл_0}}{P_{изл}}$$

также определить эффективность экранирования по формуле

$$L = 20 \lg \frac{U_0}{U_э} \text{ (дБ)}$$

На основании выполненных измерений и полученных значений ППЭ, рассчитать время безопасного пребывания (если оно не превышает 24 часа) для каждого расстояния, а также расстояние от СВЧ излучателя, на котором возможна безопасная работа в течение рабочего дня (8 час.) без применения защитных средств.

Построить графики зависимостей ППЭ(R) и ППЭ_{изм} (P_{изл})

Также провести сравнительный анализ защитных свойств исследуемых материалов. Вопросы для самоконтроля приведены в работе №12.

Пример расчета

1. Измерения показали, что на расстоянии 0,4 м мощность электромагнитной волны с длиной 3,2 см составила 800 мкВт. Требуется определить расстояние от источника излучения, на котором может работать настройщик СВЧ аппаратуры без ущерба для здоровья в течение 8 ч. при заданных параметрах антенны. Определим ППЭ на заданном расстоянии 0,4 м:

$$ППЭ_{изм} = \frac{800}{25} = 32 \frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2}.$$

Определим допустимую ППЭ по допустимой энергетической нагрузке, учитывая длительность рабочей смены 8 ч.:

$$ППЭ_{доп} = \frac{2 \cdot 10^6}{8 \cdot 10^4} = 25 \frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2}.$$

Поскольку ППЭ обратно пропорциональна квадрату расстояния и измеренная ППЭ в 1,28 раза больше допустимой, то для безопасной работы необходимо увеличить расстояние от источника СВЧ излучения в $\sqrt{1,28} = 1,13$ раза, т. е. до 0,452 м.

Варианты заданий.

№ задания	Расстояния от плоскости передающей антенны, см по п.1	Расстояние от плоскости передающей антенны, см по п.2
1	4, 9, 15, 20, 25	5
2	3, 6, 12, 18, 21	7
3	5, 10, 15, 20, 25	4
4	4, 8, 16, 22, 28	6

Работа № 12

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО СВЧ ПЕЧЬЮ

Общий теоретический материал к лабораторной работе №12 изложен в описании к работе №11.

Условия проведения работы

Стенд для проведения измерений уровня СВЧ излучения состоит из источника излучения – микроволновая печь (частота излучения 2450 МГц, максимальная выходная мощность 700 Вт), координатное устройство, позволяющее регистрировать перемещение датчика СВЧ сигнала (содержит полуволновой вибратор и СВЧ диод) в пространстве и измеритель СВЧ сигнала (милливольтметр ВЗ-38). Координатное устройство выполнено в виде планшета, на который нанесена координатная сетка. В качестве нагрузки в СВЧ печи используется огнеупорный кирпич. На столешнице имеются гнезда для установки сменных защитных экранов, выполненных из следующих материалов:

сетка из оцинкованной стали с ячейками 50 мм; сетка из оцинкованной стали с ячейками 10 мм; лист алюминиевый; полистирол; резина.

При выполнении лабораторной работы должны быть выполнены следующие требования безопасности:

1. К работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством лабораторного стенда, принципом действия и мерами безопасности при проведении измерений.
2. Запрещается работать с открытой дверцей СВЧ печи.
3. Запрещается самостоятельно регулировать, ремонтировать панель управления, дверь или какие-либо другие части печи.
4. Должно быть выполнено защитное заземление (зануление) СВЧ печи.
5. Не допускается включение и работа печи без нагрузки.
6. СВЧ печь предназначена только для проведения лабораторной работы.

Порядок выполнения работы

1. Включение микроволновой печи.

Для выбора необходимой мощности следует на панели управления печи нажать кнопку «СВЧ». На табло высветится 750 Вт. Далее, нажимая последовательно на эту кнопку, установить требуемую заданием мощность. Затем, на панели установки времени задать время работы микровол-

новой печи, т.е. время измерения, нажимая кнопку $\frac{МИИ}{1мин}$ (рекомендуемое время до 5 минут). После установки времени нажать кнопку «Старт». По истечении заданного времени СВЧ печь выключается автоматически. Если за выставленное время не удастся провести весь цикл измерений необходимо повторить вышеописанную процедуру. Если во время измерений необходимо остановить работу СВЧ печи, следует нажать кнопку «СТОП».

2. Измерение уровня СВЧ излучений в зависимости от расстояния до источника.

Установить антенну СВЧ сигнала на требуемую заданием отметку по оси Y и по оси X координатной сетки, а также на заданную высоту Z. Включить печь СВЧ и провести по милливольтметру несколько измерений уровня СВЧ излучения, изменяя расстояние от печи до антенны согласно варианту задания.

3. Измерение свойств защитных экранов.

Поместить антенну на указанном в задании расстоянии главной оси от печи СВЧ. Зафиксировать показания милливольтметра. Далее поочередно установить защитные экраны измерить уровень СВЧ излучения.

4. Измерение уровня электромагнитного излучения от мобильного телефона.

Поместить мобильный телефон на расстоянии приблизительно 1 см от антенны и измерить уровень излучения в режиме вызова абонента с помощью милливольтметра.

При проведении измерений возможны колебания стрелки милливольтметра в широких пределах, связанные с нестабильностью работы СВЧ генератора. В качестве измеряемых величин нужно выбирать максимальные показания милливольтметра.

Экспериментальные данные по пунктам 1 – 4 занести в протокол и провести их обработку. Для пересчета показаний вольтметра ВЗ-38 используется соотношение:

$$1 \text{ мВ} = 0,007 \text{ Вт/м}^2$$

Для расчета эффективности экранирования использовать соотношение

$$L = 20 \lg \frac{U_0}{U_{\text{э}}} \text{ (дБ)},$$

где U_0 - показания милливольтметра без экрана, а $U_{\text{э}}$ - с экраном.

На основании полученных значений плотности потока энергии рассчитать время безопасного пребывания на различных расстояниях от СВЧ печи ($T=2/ППЭ_{\text{изм}}$, час), а также допустимое расстояние от СВЧ печи, на котором обеспечивается безопасная работа в течение рабочего дня (8 час.) без применения защитных средств (см. описание к работе №11). Определить время безопасного пользования мобильным телефоном. Также провести сравнительный анализ защитных свойств исследуемых материалов.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

№ вар.	Мощность Вт	Расположение антенны по оси X, см	Расположение антенны по оси Y, см	Расположение антенны по оси Z, см	Расст-е антенны от экранов в см
1	300	5.10,20,25,30,40	0	15	5
2	300	5.10,15,20,30,40	+15	15	5
3	180	5.10,15,20,30,40	- 15	15	4
4	180	5.10,20,25,30,40	+10	15	3
5	180	5.10,15,20,25,35	- 10	15	3

Примечание: знак “плюс” означает смещение антенны по оси Y вправо, знак “минус” – смещение влево.

Вопросы для самоконтроля

1. Какими характеристиками описывается СВЧ электромагнитное излучение?

2. От чего зависит степень воздействия электромагнитного СВЧ излучения?

3. Каковы особенности воздействия электромагнитного СВЧ излучения при пороге выше теплового?

4. На какие системы организма человека воздействует излучение при пороге ниже теплового? Каковы результаты этого воздействия?

5. В каких нормативных документах приведены допустимые уровни электромагнитных излучений?

6. От чего зависит допустимый уровень электромагнитного СВЧ излучения? Какова его величина?

7. От чего зависит уровень излучения на рабочем месте?

8. Какие имеются защитные меры от воздействия электромагнитных излучений?

9. Что такое затухание в 3 дБ?

10. Какие бывают защитные экраны по принципу действия?

11. Каковы требования к защитным экранам отражающего типа, выполненным в виде сетки?

12. Каковы особенности эксплуатации мобильных телефонов?

Работа № 13

ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ЗАЩИТА ОТ НЕГО

Общие сведения

Оптические квантовые генераторы–лазеры являются источниками мощного монохроматического излучения видимого, инфракрасного и ультрафиолетового диапазонов. Вследствие своих уникальных свойств они нашли широкое применение в военной технике, металлургии, микроэлектронике, медицине, системах связи, голографии, вычислительной технике, в исследовании по термоядерному синтезу и многих других областях. Лазеры непрерывно совершенствуются. Появляются новые области их применений, возрастает количество лиц, занятых обслуживанием лазерных установок и, следовательно, необходимо учитывать возникающие в этом случае опасности.

Основные характеристики лазерного излучения

Лазерное излучение является электромагнитным излучением с длиной волны 0,2...100 мкм. Этот диапазон может быть разбит в соответствии с биологическим действием на ряд областей спектра:

1-й диапазон от 180 до 380 нм – ультрафиолетовая область;

2-й диапазон от 380 до 1400 нм – видимая и ближняя инфракрасная области;

3-й диапазон от 1400 до 10^5 нм – дальняя инфракрасная область.

С энергетической точки зрения лазерное излучение характеризуется следующими параметрами:

энергетической облученностью (освещенностью) E , определяемой как отношение потока излучения, падающего на рассматриваемый малый участок поверхности, к площади этой поверхности, Вт/см²;

энергетической экспозицией H , определяемой как отношение энергии излучения, падающей на рассматриваемый участок поверхности, к площади этой поверхности, Дж/см². Энергетическую экспозицию можно определять также как произведение энергетической освещенности Вт/см² на длительность облучения сек.

Лазерное излучение обладает высокой монохроматичностью и когерентностью, а также малой расходимостью луча. Это позволяет получать исключительно высокие уровни концентрации энергии в лазерном луче: плотность энергии до 10^{12} Дж/см² и плотность мощности до 10^{22} Вт /см².

По виду излучения лазерное излучение делится на:

а) коллимированное (прямое и зеркально отраженное) излучение – лазерное излучение, заключенное в ограниченном телесном угле;

б) зеркально отраженное излучение – лазерное излучение, отраженное от поверхности под углом, равным углу падения излучения;

в) рассеянное излучение – лазерное излучение, рассеянное от вещества, находящегося в составе среды, сквозь которую проходит излучение;

г) диффузно отраженное излучение – лазерное излучение, отраженное от поверхности по всевозможным направлениям в пределах полусферы.

Лазер может работать как в импульсном режиме, так и в непрерывном. Непрерывным лазерным излучением является излучение, существующее в любой момент времени наблюдения, а импульсным – излучение, существующее в ограниченном интервале времени, меньшим времени наблюдения.

Воздействие лазерного излучения на человека

При эксплуатации лазерных установок обслуживающий персонал может подвергаться воздействию большого числа опасных и вредных факторов. Все эти факторы подразделяются на основные и сопутствующие. К основным относятся собственно монохроматическое когерентное лазерное и паразитное излучения (отраженное и рассеянное). К сопутствующим – факторы, которые возникают на лазерных участках при эксплуатации лазеров и другого оборудования, такие как шум, вибрации, электромагнитные и ионизирующие излучения, наличие высоких напряжений, а также наличие вредных веществ. Под влиянием этих факторов может происходить нарушение жизнедеятельности как отдельных органов человека, так и всего организма в целом.

Наибольшую опасность лазерное излучение представляет для органов зрения. Практически на всех длинах волн внутрь глаза свободно проникает лазерное излучение. Лучи света, прежде чем достигнуть сетчатки глаза, проходят последовательно через несколько преломляющих сред: роговицу, хрусталик и, наконец, стекловидное тело. При рассмотрении воздействия лазерного излучения на орган зрения необходимо отдельно разбирать действие излучения в интервале длин волн 0,4 – 1,4 мкм и вне этого интервала, где оптические среды глаза являются непрозрачными. Облученность, создаваемая лазерным излучением на сетчатке, вследствие фокусирующего действия хрусталика (имеет вид двояковыпуклой линзы) в десятки и сотни тысяч раз может быть выше, нежели облученность, создаваемая на роговице и других частях глаза. Как показывает анализ, ее величина будет определяться мощностью лазерного излучения, его апертурой и углом расходимости, а также диаметром зрачка. Длительное облучение сетчатки в видимом диапазоне на уровнях, не намного меньших порога ожога, может вызывать в ней необратимые изменения. Повреждение сетчатки обязательно сопровождается нарушением функции зрения. Клетки сетчатки, как и

клетки центральной нервной системы, после повреждения не восстанавливаются.

Первой линией защиты организма человека от повреждения лазерным излучением является кожа, которая представляет собой важный физиологически активный орган, обширные повреждения которого могут привести к гибели организма. Степень повреждения кожи зависит от поглощенной энергии, а сами повреждения могут быть различными: от легкого покраснения (эритемы) до обугливания. Минимальное повреждение кожи образуется при воздействии лазерного излучения с энергетической экспозицией $0,1-1 \text{ Дж/см}^2$ (в зависимости от степени пигментации кожи и длительности воздействия). Наибольшее биологическое воздействие на кожу оказывает лазерное излучение с длинами волн $0,28-0,32 \text{ мкм}$.

Лазерное излучение дальней инфракрасной области спектра способно проникать через ткани тела и взаимодействовать с биологическими структурами на значительной глубине, поражая внутренние органы. Наибольшую опасность для внутренних органов представляет сфокусированное лазерное излучение. Однако следует учитывать, что и не сфокусированное излучение может фокусироваться в глубине тела человека. Кроме того, следует учитывать воздействие ударной волны, возникающей при работе мощных лазеров в импульсном режиме. Степень повреждения в значительной степени определяется энергетической облученностью и цветом окраски органа. Печень является одним из наиболее уязвимых органов.

В целом, лазерное излучение оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека. Наблюдающиеся патологические изменения проявляются в виде функциональных расстройств центральной нервной системы, нарушения сердечно-сосудистой регуляции, что проявляется в неустойчивости артериального давления, замедлению пульса, повышенной потливости. У операторов лазерных установок иногда наблюдают повышенную раздражительность, утомляемость глаз и всего организма. Имеются данные об изменении состава крови (уменьшении эритроцитов, лейкоцитов, гемоглобина и т.д.). Все это свидетельствует о том, что у них возникают изменения как патологического характера, обусловленные тепловым действием излучения, так и функционального, обусловленные скрытыми биологическими эффектами.

Классификация лазеров по степени опасности

Определение класса лазера основано на сравнении его выходной энергии (мощности) и допустимых пределов излучения (ДПИ) согласно ГОСТ Р 50723-94 или предельно допустимого уровня (ПДУ) согласно СанПиН 5804-91 при однократном воздействии генерируемого излучения. Под однократным воздействием лазерного излучения понимается случайное воз-

действие с длительностью, не превышающей $3 \cdot 10^4$ с. Под ПДУ при однократном воздействии понимается уровень излучения, при котором существует незначительная вероятность возникновения обратимых отклонений в организме работающих. А ПДУ при хроническом воздействии - уровень излучения, при воздействии которого при работе установленной продолжительности в течение трудового стажа не возникает отклонений в состоянии здоровья в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

По степени опасности лазеры согласно ГОСТ Р 50723-94 и «Санитарным нормам и правилам устройства и эксплуатации лазеров» № 5804-91 подразделяются на четыре класса:

1-й класс - выходное коллимированное излучение не представляет опасности для глаз и кожи, т.е. лазерные изделия безопасны при предполагаемых условиях эксплуатации;

2-й класс - выходное излучение (в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм) представляет опасность при облучении глаз коллимированным пучком. Защита глаз помимо изложенных ниже, обеспечивается естественными реакциями, включая рефлекс мигания;

3-й класс - выходное излучение представляет опасность при облучении глаз коллимированным, а также диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от отражающей поверхности, и (или) при облучении кожи коллимированным излучением. Дополнительно можно отметить, что класс 3 согласно ГОСТ делится на два класса: 3А и 3В. Непосредственное наблюдение пучка, испускаемого лазерными изделиями класса 3А с помощью оптических инструментов, может быть опасным. Непосредственное наблюдение же лазерного излучения изделий класса 3В всегда опасно;

4-й класс - выходное излучение представляет опасность при облучении кожи диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от отражающей поверхности. Такие лазерные изделия создают опасное рассеянное излучение.

Классификация лазеров проводится по выходным характеристикам излучения расчетным методом согласно ГОСТ Р 50723 – 94 в соответствии с табл. 1 (приведены расчетные соотношения для определения ДПИ в случае непрерывного лазерного излучения видимого диапазона). При этом лазерное изделие относится к конкретному классу опасности, если лазерное излучение, проходящее через апертуру, превышает допустимый предел излучения (ДПИ) для всех более низких классов, но не превышает ДПИ для класса, к которому изделие отнесено.

Таблица 1

Допустимые пределы излучения для лазерных изделий при длительности воздействия $t=0,25 - 10$ с на длинах волн $400 - 700$ нм.

Класс опасности лазера	ДПИ
1	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,75} \text{С, Дж}$
2	$C \cdot 10^{-3}, \text{Вт}$
3А	$5 \cdot 10^{-3}, \text{Вт}$
3В	0,5 Вт

Примечание. $C = 1$ для $\alpha \leq \alpha_{\min}$; $C = \alpha / \alpha_{\min}$ для $\alpha_{\min} < \alpha$.

$\alpha_{\min} = 1,5$ мрад для $t < 0,7\text{с}$ и $\alpha_{\min} = 2t^{0,75}$ мрад для $0,7 \leq t < 10\text{с}$.

Угловой размер источника излучения α определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{2}{R} \sqrt{\frac{S \cos \theta}{\pi}}, \text{ рад} \quad (1)$$

где S – площадь источника излучения (лазерного луча),

R – расстояние от точки наблюдения до источника,

θ – угол между нормалью к поверхности источника и направлением визирования (при выполнении данной работы равен 0 рад.).

Учитывая, что $S = \pi r^2$, и угол $\theta = 0$ соотношение (1) имеет более простой вид

$$\alpha = \frac{2r}{R}, \text{ рад}$$

Под апертурой r понимается отверстие в защитном кожухе лазера, через которое проходит лазерное излучение. Практически апертура составляет величину в единицы миллиметров. В «Правилах» предельно допустимые уровни излучения приводятся для апертур $2r = 1,1 \cdot 10^{-3}$ м и для $2r = 7 \cdot 10^{-3}$ м.

Защитные мероприятия при эксплуатации лазерных установок

Все защитные мероприятия при эксплуатации лазерных установок согласно нормативным документам можно разделить на конструктивные и эксплуатационные. Естественно, что степень защитных мероприятий должна соответствовать классу опасности лазера. Так, например, при работе с лазером 1 класса опасности никаких мер защиты не требуется.

Требования к конструкции лазерных изделий

Лазерное изделие должно иметь защитные устройства, предотвращающие несанкционированное воздействие на персонал лазерного излуче-

ния, превышающее ДПИ для класса 1, а также блокировки с целью обеспечения безопасности при техническом обслуживании.

Лазеры 3-х и 4-го класса опасности должны быть снабжены визуальными и (или) звуковыми устройствами предупреждения о лазерной опасности. Визуальный предупредительный сигнал должен отличаться интенсивностью или прерывистостью и быть хорошо виден через защитные очки. Звуковой предупредительный сигнал должен представлять собой последовательность звуковых импульсов не менее 0,2 с.

Лазеры 3-х и 4-го классов должны быть снабжены съемным ключом управления. Пульт (панель) управления лазерными изделиями должен размещаться так, чтобы не происходило облучения персонала. Лазерные изделия классов 3В и 4, как правило, должны иметь дистанционное управление.

Требования к эксплуатации лазерных изделий

Лазерные изделия 3-4-го классов до начала их работы должны быть приняты комиссией, назначенной администрацией учреждения, с обязательным включением в ее состав представителей Госсанэпиднадзора.

Безопасность на рабочих местах при эксплуатации лазерных изделий должна обеспечиваться соответствующей организацией рабочего места. Основное условие безопасной работы – исключение возможности воздействия на персонал лазерного излучения или чтобы его величина не превышала ДПИ для класса 1. Поэтому между лазерными изделиями 3-4-го классов рекомендуемые расстояния со стороны пультов управления составляют не менее 1,5 м при однорядном расположении и не менее 2 м при двухрядном. Траектория прохождения лазерного луча должна быть заключена в оболочку из несгораемого материала или иметь ограждение, снижающее уровень лазерного излучения при визуальном наблюдении лазерного пучка до ДПИ для класса 1 и исключающие неконтрольное попадание лазерного пучка на зеркально отражающие поверхности. Оболочка или ограждение траектории лазерного пучка должны иметь предупреждающую надпись (знак лазерной опасности). Защитные экраны должны быть изготовлены из огнестойкого и непроницаемого для лазерного излучения материала.

Открытые траектории излучения лазеров 2 – 4 классов опасности в зоне возможного нахождения человека должны располагаться значительно выше уровня глаз. Минимальная высота траектории составляет величину 2,2 м. Пучок излучения лазеров 2 – 4 классов опасности должен ограничиваться на конце полезной траектории диффузным поглотителем или отражателем.

Лазерные изделия классов 3В и 4 должны эксплуатироваться, как правило, в специально выделенных помещениях.

Запрещается осуществлять наблюдение прямого и зеркально отраженного лазерного излучения при эксплуатации лазеров 2 – 4 классов

опасности без средств индивидуальной защиты и размещать в зоне лазерного пучка предметы, вызывающие его зеркальное отражение.

Условия проведения работы

В экспериментальной части работы измеряют мощность излучения полупроводникового лазера типа SLD1122VS длиной волны 633 нм и с выходной мощностью не более 5 мВт. Далее на основании полученных экспериментальных данных о выходной мощности лазерного излучения по данным задания согласно в таблице 1 приведенным соотношениям производят расчет ДПИ и определение класса опасности лазера. Затем выбирают необходимые меры безопасности и средства защиты при работе с данным лазером.

Напряжение подается на лазер от низковольтного (3 В) источника тока (10–40 мА). Для измерения мощности потока лазерного излучения используется измеритель типа ИМЛ-1, содержащий фоточувствительный приемник 1 и измерительный блок 2 (рис. 2). Принцип работы прибора основывается на измерении фототока приемника, преобразовании его величины в цифровой код с выводом полученного результата на цифровое табло.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить к работе прибор ИМЛ-1 (рис. 2): клавишу «Сеть» 4 и клавишу режима измерения 6 установить в отжатое положение, ручку установки тока лазера 3 повернуть плавно против часовой стрелки до упора.

2. Включить прибор в сеть: нажать клавишу «Сеть» 4 – на табло высветятся индикатор включения 5 и цифровой индикатор 7, установленный в режим измерения тока лазера.

3. Установить ручкой 3 величину тока, определяемую заданием.

4. Нажать клавишу 6 для измерения мощности лазера (в мВт). (При максимальном значении тока, указанного в задании, мощность должна составлять величину около 2мВт.)

5. Повторить процедуру по пунктам 2–4 для каждого значения тока лазера, указанного в задании. Затем выключить прибор клавишей 4, установить клавишу 6 в отжатое положение и ручку 3 повернуть против часовой стрелки до упора.

6. Согласно заданию проводят измерение мощности лазерного излучения со светофильтрами. При измерении необходимо установить максимальное значение тока, указанное в задании.

Результаты измерений и исходные данные для расчета вписать в таблицу отчета. Обработать экспериментальные данные: определить ДПИ по таблице 1, который зависит от длины волны лазерного излучения, дли-

тельности воздействия, углового размера источника, апертуры излучения и т.д. По данным задания и измеренной мощности лазерного излучения определить класс опасности лазера. Рассчитать коэффициент затухания D используемых светофильтров согласно соотношению:

$$D = \frac{P_0}{P_{св}}$$

где P_0 - мощность излучения без светофильтров,

$P_{св}$ - мощность излучения с применением светофильтров

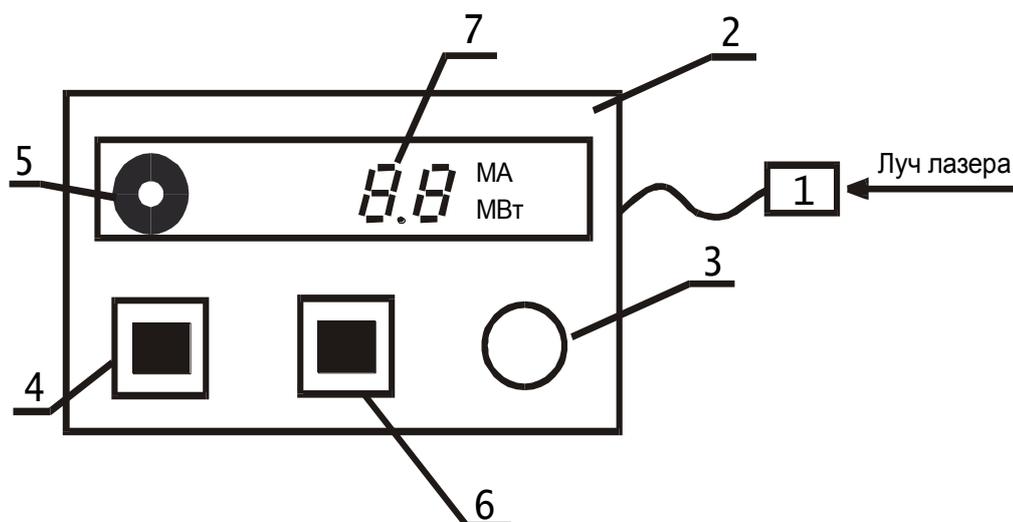


Рис. 2 – Схема установки

По полученным результатам указать, какие опасные и вредные факторы действуют на человека при работе с лазером данного класса, и какие необходимо принять меры безопасности.

Таблица 2

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

№ варианта	Величина устанавливаемого тока, мА	Апертура r , м	Расстояние от источника R , м	Время наблюдения t , с	Тип светофильтров и их характеристики
1	10; 20; 30	0,001	1	0,5	п-20, п-50, п-90
2	8; 19; 30	0,001	0,5	1	ж-50, п-50, с-50
3	10; 18; 29	0,002	0,8	2	п-10, п-50, п-90
4	9; 18; 27	0,007	2	2	п-20, п-50, п-99
5	10; 21; 29	0,007	1	3	ж-30, п-30, с-30

Примечание. Обозначения: п - пурпурный, ж - желтый, с – синий. Цифры – оптическая плотность светофильтров в процентах. Расстояние от источника излучения используется только для расчета и не изменяется в эксперименте.

Вопросы для самоконтроля

1. Виды лазерного излучения и его основные характеристики.
2. Особенности воздействия лазерного излучения на глаза. Его воздействие на кожу.
3. Что опаснее непрерывное или импульсное лазерное излучение и почему?
4. Какие классы лазеров по степени опасности существуют? Дать определение всех классов лазеров.
5. Что понимают под предельно допустимым уровнем (ПДУ) лазерного излучения при однократном и хроническом воздействиях?
6. От чего зависит ПДУ лазерного излучения?
7. Защитные меры от воздействия излучения лазеров 2-го класса опасности и 3-го – 4-го классов опасности.
8. Области практического применения лазеров.

Работа № 14

ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

Общие сведения

Излучения, взаимодействия которых со средой приводят к образованию ионов разных знаков и радикалов, называются ионизирующими. При этом различают корпускулярное и фотонное излучения. Корпускулярное излучение представляет собой поток элементарных частиц: α – и β – частицы, нейтроны, протоны, мезоны и др. Элементарные частицы возникают при радиоактивном распаде, ядерных превращениях или генерируются на ускорителях. Заряженные частицы в зависимости от величины кинетической энергии могут вызывать непосредственно ионизирующее излучение при столкновении с веществом. Нейтроны и другие нейтральные элементарные частицы при взаимодействии с веществом непосредственно ионизации не производят, но в процессе взаимодействия со средой они высвобождают заряженные частицы (электроны, протоны и т.д.), способные ионизировать атомы и молекулы среды, через которую они проходят. Такие излучения принято называть косвенными ионизирующими излучениями.

К фотонному излучению относят: гамма-излучение, характеристическое, тормозное, рентгеновское излучения. Указанные излучения представляют собой электромагнитные колебания очень высоких частот ($3 \cdot 10^{17} - 3 \cdot 10^{22}$ Гц), которые возникают при изменении энергетического состояния атомных ядер (гамма - излучение), перестройке внутренних электронных оболочек атомов (характеристическое), взаимодействии заряженных частиц с электрическим полем (тормозное) и других явлениях. Фотонное излучение также является косвенно ионизирующим. Кроме ионизирующей способности к основным характеристикам ионизирующих излучений относятся энергия, измеряемая в электрон – вольтах, и проникающая способность.

Источником излучения называют объект, содержащий радиоактивный материал или техническое устройство, испускающее или способное в определенных условиях испускать излучение. К числу таких объектов относятся: радионуклиды, ядерные устройства (ускорители, атомные реакторы), рентгеновские трубки.

Технологии, методики и приборы, использующие ионизирующие излучения, получили широкое распространение в промышленности, в медицине и науке. Это, в первую очередь, атомные электростанции, надводные и подводные корабли с атомными установками, рентгеновские установки для медицинского, научного и промышленного назначения и др.

Биологическое воздействие излучений.

Излучение является вредным фактором для живой природы и, особенно, человека. Биологически вредное воздействие излучения на живой организм определяется в первую очередь дозой поглощенной энергии и производимым при этом эффектом ионизации, т. е. плотностью ионизации. Большая часть поглощенной энергии расходуется на ионизацию живой ткани, что нашло свое отражение и в определении излучений как ионизирующих.

Ионизирующие излучения оказывают на биологическую ткань прямое и косвенное воздействие. Прямое - разрыв внутриатомных и внутримолекулярных связей, возбуждение атомов или молекул, образование свободных радикалов. Наиболее важное значение имеет радиолиз воды. В результате радиолиза образуются высокореактивные радикалы, которые вызывают вторичные реакции окисления по любым связям, вплоть до изменения химического строения ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) с последующими генными и хромосомными мутациями. В этих явлениях и заключается опосредованное (косвенное) действие излучения. При этом следует отметить, что особенность воздействия ионизирующих излучений состоит в том, что в химические реакции, индуцированные реактивными радикалами, вовлекаются сотни и тысячи молекул, не затронутых непосредственно излучением. Таким образом, результат воздействия ионизирующих излучений в отличие от других видов излучений зависит в большей степени от формы, в которой их энергия передается биологическому объекту.

Негативные последствия воздействия ионизирующих излучений на организм человека условно делятся на соматические и генетические. Генетические эффекты воздействия излучений проявляются в отдаленные промежутки времени у потомства облученных. Соматические последствия, в зависимости от степени и характера облучения, могут проявляться непосредственно в виде острой или хронической формы лучевой болезни. Лучевая болезнь, в первую очередь, характеризуется изменением состава крови (уменьшением числа лейкоцитов в крови – лейкопенией), а также появлением тошноты, рвоты и подкожных кровоизлияний, изъязвлений. Острая форма лучевой болезни возникает у человека при однократном облучении свыше 100 Р (рентген) – 1 степень лучевой болезни, а при 400 Р (3-я степень) наблюдается 50% смертельных случаев, что связано в первую очередь с потерей иммунитета. При экспозиционной дозе свыше 600 Р (4-я степень) погибают 100% облученных. В отношении поражения от ионизирующего излучения природа поставила человека в самые тяжелые условия по сравнению с другими живыми существами. Так, средние смертельные дозы (50%) составляют: обезьяна-550, кролик - 800, черви - 20000, а амеба - 100000, вирусы - более 1000000 Р.

Единицы доз.

Общей единицей (мерой) воздействия ионизирующего излучения на человека является доза. Различают следующие основные виды доз: поглощенная, эквивалентная, эффективная, экспозиционная.

Доза поглощенная (D) – величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу:

$$D = \frac{dE}{dm},$$

где dE – средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, находящемуся в элементарном объеме, dm – масса вещества в этом объеме.

Доза эквивалентная (H) – сумма поглощенных доз в органах или тканях, умноженных на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения W_i :

$$H = \sum_i D_i W_i$$

где D_i – средняя поглощенная доза в органе или ткани i – того ионизирующего излучения.

Взвешивающие коэффициенты учитывают относительную опасность различных видов излучения в индуцировании неблагоприятных биологических эффектов и зависят от ионизирующей способности излучений. Для различных видов излучения значения взвешивающих коэффициентов составляют:

фотоны любых энергий, электроны	1
нейтроны с энергией менее 10 кэВ.....	5
от 10 кэВ до 100 кэВ.....	10
альфа-частицы.....	20

Доза эффективная (E) – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет собой сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E = \sum_k W_k H_k$$

где W_k – взвешивающий коэффициент для органа или ткани, который характеризует относительный риск на единицу дозы по выходу отдаленных последствий при облучении данного органа по отношению к облучению всего тела. При облучении организма в целом $W_k = 1$, а при облучении отдельных органов W_k составляет: гонады (половые железы) – 0,2; желудок

– 0,12; печень – 0,05; кожа – 0,01 и т.д. H_k - эквивалентная доза в соответствующем органе или ткани.

Экспозиционная доза (X) - это количественная характеристика фотонного излучения, основанная на его ионизирующем действии в сухом атмосферном воздухе и представляющая собой отношение суммарного заряда (dQ) ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении всех вторичных электронов и позитронов, которые были образованы фотонами в малом объеме воздуха, к массе воздуха (dm) в этом объеме (справедливо для фотонного излучения с энергией до 3 МэВ):

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

На практике в качестве характеристики ионизирующего излучения широко используется единица рентген (Р), которая является внесистемной единицей экспозиционной дозы (при прохождении излучения через 1 куб.см воздуха создаются ионы, несущие заряд в 1 электростатическую единицу каждого знака). Экспозиционную дозу в рентгенах и поглощенную дозу в радах для биологических тканей можно считать совпадающими с погрешностью до 5%, которая вызвана тем, что экспозиционная доза не учитывает ионизацию, обусловленную тормозным излучением электронов и позитронов.

Единицы измерения доз в системе СИ и внесистемные единицы измерения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Доза	Единицы СИ	Внесистемные единицы
Поглощенная	Дж/кг, Грей (Гр)	1 рад=0,01 Гр
Эквивалентная	Грей · W_i = Зиверт (Зв)	1 бэр=0,01 Зв
Эффективная	Зиверт · W_k = Зиверт (Зв)	
Экспозиционная	Кулон/кг, (Кл/кг)	Рентген (Р) 1Р=2,58 · 10 ⁻⁴ Кл/кг 1 Р = 1 рад = 0,013 Зв (в биол.тканях)

Для характеристики изменения дозы во времени вводится понятие мощности дозы. Мощность экспозиционной, поглощенной и эквивалентной доз соответственно определяются:

$$P_x = \frac{dX}{dt}; P_n = \frac{dD}{dt}; P_{эке} = \frac{dH}{dt} /$$

Характеристикой активности радионуклида (самопроизвольного распада) является отношение числа спонтанных ядерных превращений, происходящих в источнике за единицу времени. Единицей радиоактивности является **беккерель (Бк)**. Беккерель равен активности радионуклида в источнике, в котором за время 1с происходит одно спонтанное ядерное превращение. внесистемная единица активности - **кюри (Ки)**. $1 \text{ Ки} = 3,700 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ Активность радионуклидов зависит от времени. Время, в течение которого распадается половина исходных атомов, называется периодом полураспада. Так, например, период полураспада йода I_{53}^{131} 8,05 суток, а у урана U_{92}^{238} - 4,5 млрд. лет

Нормы радиационной безопасности.

Основным документом, регламентирующим допустимые уровни воздействия излучений на организм человека, в нашей стране, является «Нормы радиационной безопасности» (НРБ - 99). С целью снижения необоснованного облучения нормирование осуществляется дифференцированно для различных категорий облучаемых лиц, в зависимости от условий контакта с источниками излучений и места проживания. Нормы устанавливают следующие категории облучаемых лиц:

- персонал (группы А и Б);
- все население, включая лиц из персонала вне сферы и условий их производственной деятельности.

Нормы облучения также дифференцированы в отношении различной радиочувствительности органов и частей тела человека.

Для каждой категории облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов: основные дозовые пределы, допустимые уровни и контрольные уровни. Основные дозовые пределы приведены в таблице 2.

Предельно допустимая доза (ПДД) - наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы за год, которое при равномерном воздействии в течение 50 лет не вызовет в состоянии здоровья персонала неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.

Предел дозы (ПД) - предельная эквивалентная доза за год для ограниченной части населения. ПД устанавливают меньшим, чем ПДД в 10 раз для предотвращения необоснованного облучения этого контингента людей. Значения ПДД и ПД в зависимости от группы критических органов приведены ниже в таблице 2.

Закономерности биологического эффекта излучения на живую ткань определяют основные принципы защиты - снижение плотности потока излучения и времени его действия. Время контакта с излучением в режиме нормальной эксплуатации установки является регулируемым и контролируемым параметром. Плотность облучающего потока зависит от мощно-

сти источника, его физических характеристик и инженерной защиты источника.

Таблица 2.

Основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)*	лица из населения
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год: - в хрусталике глаза, - коже, - кистях и стопах	150 мЗв 500 мЗв 500 мЗв	15 мЗв 50 мЗв 50 мЗв

* Примечание: дозы облучения для персонала группы Б не должны превышать $\frac{1}{4}$ значений для персонала группы А.

Защитные мероприятия.

Под инженерной защитой понимают любую среду (материал), расположенную между источником и зоной размещения людей или оборудования для ослабления потоков ионизирующих излучений. Защиту принято классифицировать по назначению, типу, компоновке, форме и геометрии. По назначению защиту подразделяют на биологическую, радиационную и тепловую.

Биологическая защита должна обеспечивать уменьшение дозы облучения персонала до предельно допустимых уровней. При радиационной защите должна быть обеспечена степень радиационных повреждений различных объектов, подвергающихся облучению, до допустимых уровней. Тепловая защита обеспечивает снижение радиационного энерговыделения в защитных композициях до допустимых уровней.

Основными свойствами излучений, определяющими условия безопасности обращения с ними, являются ионизирующая и проникающая способность. Ионизирующая способность излучения отражена в значении взвешивающего коэффициента W_i , а проникающая - характеризуется величиной линейного коэффициента поглощения.

Закон ослабления излучения в веществе, в зависимости от его толщины (x), можно записать в следующем виде:

$$\varphi(x) = \varphi(0)e^{-\mu x} \quad (1)$$

где $\varphi(0)$, $\varphi(x)$ - плотности потока излучения, соответственно, на входе $\varphi(0)$ и на выходе $\varphi(x)$ из вещества толщиной x ;

μ - линейный коэффициент ослабления излучения в веществе.

Формула (1) может быть записана в следующем виде:

$$n - n_{\phi} = (n_0 - n_{\phi})e^{-\mu x} \quad (2)$$

где n - скорость счета импульсов тока при наличии защитного материала толщиной x , имп/с,

n_{ϕ} - скорость счета импульсов тока за пределами зоны влияния источника излучения, т.е. фона, имп/с,

n_0 - скорость счета импульсов тока без защитного материала, имп/с.

Из формулы (2) выводим выражение для расчета линейного коэффициента ослабления:

$$\mu = \frac{1}{x} \ln \frac{n_0 - n_{\phi}}{n - n_{\phi}} \quad (3)$$

Значение линейного коэффициента ослабления может быть также определено из графической зависимости:

$$f(x) = \ln(n - n_{\phi}),$$

представленной по результатам измерений ослабления излучения за различными толщинами для одного материала. В этом случае эта зависимость будет иметь вид прямой с наклоном определяемым значением линейного коэффициента ослабления, т.е. $\mu = \text{tg } a$.

Поглощение излучения в веществе зависит от природы излучения, а также от состава и плотности самого вещества. Ниже в таблице 3 представлена зависимость коэффициента ослабления для излучения фотонной природы:

Поглощение корпускулярных ионизирующих излучений происходит значительно интенсивнее фотонных. Это можно объяснить либо наличием у частиц, ионизирующих вещество, электрического заряда, либо при его отсутствии наличием значительной массы ионизирующих частиц (нейтронов). Поглощение корпускулярных излучений удобно характеризовать величиной свободного пробега частиц в веществе.

Таблица 3

Энергия гамма-излучения, МэВ	Коэффициент ослабления, см ⁻¹			
	Воздух	оргстек- ло	железо	свинец
0,1	0,198	0,172	2,81	59,9
0,5	0,111	0,006	0,82	1,67
1,0	0,081	0,07	0,45	0,75
2,0	0,057	0,05	0,33	0,51
5,0	0,036	0,03	0,24	0,48
10,0	0,026	0,022	0,23	0,62

В таблице 4 представлены типичные значения свободных пробегов частиц в воздухе для α -, β - и протонного излучений.

Таблица 4

Вид ионизирующего излучения	Диапазон энергии, МэВ	Диапазон свободных пробегов, см
α	4,0 -10,0	2,5-10,6
β	0,01-8,00	22-1400
протонное	1,0-15,0	0,002-0,003

Геометрическое ослабление излучений.

Для точечных источников поток излучения, кроме указанной выше закономерности ослабления при прохождении в веществе, будет ослабляться за счет геометрической расходимости, подчиняющейся закону обратных квадратов

$$\varphi(R) = \frac{I}{4\pi R^2} e^{-\mu x},$$

где I - мощность источника, R - расстояние от источника.

Геометрически источники могут быть точечными и протяженными. Протяженные источники представляют собой суперпозицию точечных источников и могут быть линейными, поверхностными или объемными. Физически точечным можно считать такой источник, максимальные размеры

которого много меньше расстояния до точки детектирования и длины свободного пробега в материале источника.

Для точечного изотропного источника определяющую роль в ослаблении плотности излучения в воздухе играет геометрическое расхождение. Ослабление за счет поглощения в воздухе, например, для источника с энергией, равной 1 МэВ на расстоянии 3 м, составляет 0,2%.

Регистрация излучений. Оборудование и порядок исследований.

Применяемые в области радиационного контроля приборы по своему назначению подразделяются на дозиметры, радиометры и спектрометры. Дозиметры служат для измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения или ее мощности. Радиометры служат для измерения плотности потока излучений и активности радионуклидов. Спектрометры служат для измерения распределения излучений по энергии частиц или фотонов.

Основа регистрации любого вида излучений – его взаимодействие с веществом детектора. Под детектором понимается устройство, на вход которого поступают ионизирующее излучение и на выходе появляются регистрируемый сигнал. Тип детектора определяется природой сигнала - при световом сигнале детектор называется сцинтилляционным, при импульсах тока - ионизационным, при появлении пузырьков пара - пузырьковая камера, а при наличии капелек жидкости - камера Вильсона. Вещество, в котором происходит преобразование энергии ионизирующего излучения в сигнал, может быть газом, жидкостью или твердым телом, что и дает соответствующее название детекторам: газовые, жидкостные и твердотельные.

В данной работе применяется прибор, совмещающий функции дозиметра и радиометра - переносной геологоразведочный СРП-68-01. Прибор состоит из выносного блока детектирования БДГЧ-01, переносного пульта, который содержит схему измерения и стрелочный прибор.

В СРП-68-01 используется сцинтилляционный детектор на основе неорганического монокристалла натрий-йод (NaI). Принцип работы детектора заключается в следующем. Излучение, взаимодействуя с веществом сцинтиллятора, создает в нем вспышки света. Фотоны света попадают на фотокатод и выбивают из него фотоэлектроны. Ускоренные и умноженные электроны собираются на аноде. Каждому электрону, поглощенному в сцинтилляторе, соответствует импульс тока в анодной цепи фотоэлектронного умножителя, следовательно, измерению может подлежать как среднее значение анодного тока, так и число импульсов тока в единицу времени. В соответствии с этим различают токовый (интегрирующий) и счетный режимы сцинтилляционного дозиметра.

Стрелочный прибор в измерительном комплексе позволяет снимать значения для двух режимов работы дозиметра:

- мощность экспозиционной дозы, мкР/ч;
- средняя скорость счета импульсов тока, имп/с.

В качестве источника ионизирующего излучения в работе используется контрольная калибровочная метка, которая содержит радионуклид ^{60}Co с энергией гамма - квантов: 1.17 МэВ и 1.37 МэВ.

Экспериментальные исследования выполняются на лабораторном стенде, основу которого составляет сцинтилляционный геологоразведочный прибор СРП-68-01. Схема стенда представлена на рис. 1 и 2.

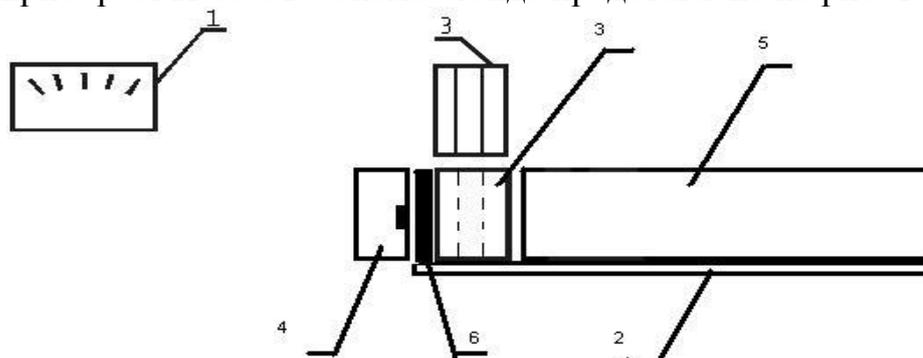


Рис.1. Блок-схема установки

Здесь: 1 - переносной пульт измерения ; 2 –измерительная линейка; 3 –исследуемые материалы, 4 - радиоактивный источник; 5 -трубка детектора; 6 - защитный экран .

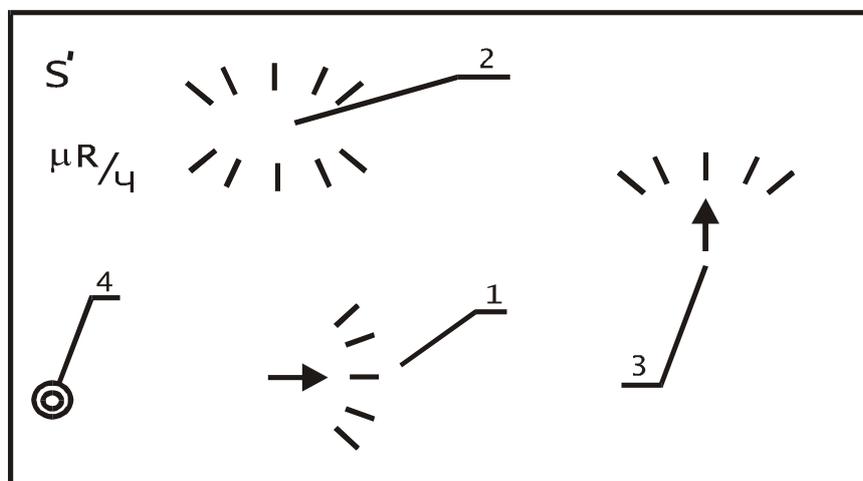


Рис. 2. Передняя панель измерительного прибора.

Здесь: 1 - переключатель рода работ; 2 - переключатель пределов и режимов измерений; 3 - измерительная шкала пересчетного прибора; 4 - регулятор уровня звукового сигнала.

Следует заметить, что число актов радиационного распада и число зарегистрированных радиометром импульсов тока являются случайными величинами, подчиняющимися закону Пуассона. По этой причине каждое

измерение следует повторять пять раз с интервалом в минуту и за результат принимать среднее значение.

Для подготовки установки к измерениям необходимо:

- включить пульт измерения путем установки переключателя рода работ (п.1 на рис.2) в положение «5»;
- освободить измерительное окно на радиоактивном источнике, сняв защитный экран.

Порядок измерения

1. Измерения мощности экспозиционной дозы в зависимости от расстояния от источника излучений:

- установить переключатель пределов и режимов измерений (п.2 на рис.2) в нижнее положение « $\mu\text{R}/\text{ч}$ », в котором измеряется мощность экспозиционной дозы в $\text{мкР}/\text{ч}$;

- снять значения мощности экспозиционной дозы с измерительной шкалы пересчетного прибора (п.3 на рис.2), двигая трубку детектора (п.2 на рис.1) вдоль измерительной линейки, в зависимости от расстояния до кассеты в соответствии с вариантом задания. Измерения при расстояниях более 60 см необходимо выполнить дополнительно на режимах измерения - имп/с, т.е. переключатель пределов и режимов измерений (п.2 на рис.2) необходимо установить в положение (S^{-1}). При этом расстоянии значения мощности экспозиционной дозы и скорости счета будут соответствовать уровню фона в помещении.

2. Измерения плотности потока гамма - квантов за слоем защитных материалов:

- установить трубку детектора вдоль измерительной линейки на расстоянии 1,5 см от источника излучения и трубка должна находиться в этом положении постоянно в течении всей серии измерений по п. 2 (для обеспечения одинаковой степени ослабления излучения из-за геометрической расходимости);

- установить переключатель пределов и режимов измерений (п.2 на рис.2) в положение « S^{-1} », в котором идет счет импульсов тока в имп/с;

- снять значение плотности потока для различных образцов материалов в соответствии с вариантом задания, устанавливаемых между измерительным окном и детектором;

- снять значение плотности потока в отсутствии защитных материалов между измерительным окном и детектором;

- снять значение плотности потока для различных образцов материалов в соответствии с вариантом задания, устанавливаемых между измерительным окном и детектором;

- снять значение плотности потока для различных материалов в соответствии с вариантом задания, устанавливаемых между измерительным

окном и детектором. При этом образец необходимой толщины собирается из ряда образцов.

Обработка результатов опытов и расчетные задания

1. Измерения мощности экспозиционной дозы в зависимости от расстояния от источника излучений:

- построить график изменения мощности экспозиционной дозы в зависимости от расстояния от источника излучения;

- рассчитать значение эффективной дозы в год для заданных условий облучения и сравнить полученную величину с НРБ, принимая при этом значения взвешивающих коэффициентов равными 1.

2. Измерения плотности потока гамма - квантов за слоем защитных материалов:

рассчитать по формуле (3) значение линейного коэффициента ослабления излучения μ для исследованных материалов и сравнить со справочными значениями (таблица 3).

Условия безопасности при проведении работ.

Активность источника по паспорту составляла 0,04 мкКи. Источник защищен свинцовым экраном, обеспечивающий мощность эквивалентной дозы на поверхности не более 0,6 мкЗв/ч, и на расстоянии 0,4м от источника уровень излучения от него близок к фону. Указанные параметры источника и условия его защиты в соответствии с НРБ -96 обеспечивают безопасность исполнителя в ходе выполнения исследований.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Параметры	Значения по вариантам			
	1	2	3	4
Измерения по п.1 - значения расстояний от источника излучений до детектора, см	0; 4; 8;15; 25;45;70	0; 5; 10;20; 35; 50; 75	0; 6; 12; 18;25;40; 65	0;4;9;18; 28;40;65
Измерения по п.2 -наименование защитных материалов и значения толщин, мм	Орг.стек. -15 AL-15 Fe-15 Pb-15	Орг.стек. -15 AL-15 Fe-15 Pb-15	Орг.стек . -15 AL-15 Fe-15 Pb-15	Орг.стек -15 AL-15 Fe-15 Pb-15
Расчет эффективной дозы: - расстояние до источника излучения, см - время облучения, час	2 8760	5 8760	3 8760	6 8760

Вопросы для самоконтроля

1. Какие известны группы ионизирующих излучений? Какие существуют ионизирующие излучения? Их основные характеристики.
2. Воздействие ионизирующих излучений на биологическую ткань. Особенности этого воздействия.
3. Признаки лучевой болезни. Степени лучевой болезни.
4. От чего зависит степень воздействия ионизирующих излучений на организм человека?
5. Дозы ионизирующих излучений. Их физический смысл. Единицы измерения доз. Соотношения между единицами доз.
6. Нормирование ионизирующих излучений. От чего зависят предельно допустимые дозы.
7. Что понимается под инженерной защитой от ионизирующих излучений?
8. Какие материалы обеспечивают наилучшую защиту от воздействия α частиц, β частиц, γ излучения и почему?
9. Какие известны методы регистрации ионизирующих излучений?

Работа №15

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Цель работы – измерение $\cos \varphi$ современных источников света.

Общие сведения.

Электрическая мощность — физическая величина, характеризующая скорость передачи или преобразования электрической энергии.

В электрической цепи постоянного тока, зная напряжение на зажимах потребителя и протекающий ток, можем определить потребляемую мощность, умножив величину тока на напряжение:

$$P = I \cdot U = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1)$$

В цепи переменного тока формулы для расчета мощности и само понятие мощности несколько сложнее. В общем случае в электрической цепи синусоидального переменного тока изменение напряжения и тока во времени не совпадают. Или другими словами напряжение и ток не совпадают по фазе. Ток отстает по фазе от напряжения при индуктивной нагрузке, и опережает напряжение при емкостной нагрузке. Только в частном случае, когда нагрузка чисто активная, ток и напряжение совпадает по фазе.

В сети переменного тока различают полную, активную и реактивную мощность. Отметим, что само понятие реактивной мощности актуально только для электротехнических устройств переменного тока. Оно никогда не применяется к потребителям постоянного тока в силу малости (мизерности) соответствующих эффектов, проявляющихся кратковременно только при переходных процессах (включении/выключении, регулирование, изменение нагрузки).

Полная мощность S в цепи переменного тока (для однофазной нагрузки) равна произведению действующего значения тока на действующее значение напряжения (измеряется в ВА, кВА – вольт-амперах, кило вольт-амперах).

Полная мощность для однофазной нагрузки определяется по формуле:

$$S = I \cdot U = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2)$$

Полная мощность состоит из двух составляющих – активной P, и реактивной Q мощности.

Активная мощность P – это та часть электрической энергии, выработанной генератором, которая безвозвратно преобразуется в

тепловую (лампы накаливания, электроплиты, электропечи сопротивления, потери в трансформаторах и линиях электропередачи) или в механическую энергию (электрические двигатели). Активная мощность измеряется Ваттами (Вт). Активную мощность можно определить по следующей формуле (для однофазной нагрузки):

$$P = I \cdot U \cdot \cos \varphi \quad (3)$$

«Косинус-фи» в электроэнергетике еще называют коэффициентом мощности.

Коэффициент мощности характеризует потребителя электрической энергии с точки зрения наличия в нагрузке реактивной составляющей, при которой переменный ток и напряжение не совпадают по фазе. Коэффициент мощности показывает, насколько переменный ток в нагрузке сдвигается по фазе относительно напряжения на ней (отстает или опережает). Численно коэффициент мощности равен косинусу этого фазового сдвига. В электроэнергетике для коэффициента мощности принято обозначение $\cos \varphi$ (где φ — угол сдвига по фазе между током и напряжением). При наличии в нагрузке реактивной составляющей наряду со значением коэффициента мощности часто указывают и характер нагрузки: активно-ёмкостная или активно-индуктивная. Тогда коэффициент мощности называют соответственно опережающим или отстающим.

Коэффициент мощности определяется соотношением:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (4)$$

Если ток совпадает по фазе с приложенным напряжением то угол $\varphi = 0$, и соответственно $\cos \varphi = 1$. Для электрической сети это оптимальный вариант. В этом случае полная мощность равна активной мощности и вся электрическая энергия в нагрузке превращается в другие виды энергии. Например, в электрочайнике – в тепловую энергию.

Чаще потребители электрической энергии имеют обмотки и магнитопроводы (электрические двигатели, трансформаторы, дроссели газоразрядных ламп, пускатели и реле) необходимые для их нормальной работы. В общем случае такая нагрузка называется индуктивной. При чисто индуктивной нагрузке ток отстает от напряжения на угол $\varphi = 90^\circ$, при котором $\cos \varphi = 0$ и активная мощность также $P = 0$.

Для характеристики таких потребителей в электротехнике введено понятие **реактивной мощности**. Это величина, характеризующая нагрузки, создаваемые в электротехнических устройствах колебаниями энергии электромагнитного поля в цепи синусоидального переменного тока, равна произведению среднеквадратичных значений напряжения U и тока I , умноженному на синус угла сдвига фаз между ними:

$$Q = I \cdot U \cdot \sin \varphi \quad (5)$$

Также реактивную мощность можно определить, выразив из формулы 2 следующим образом:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (6)$$

Реактивная мощность измеряется в ВА_р, кВА_р (в вольт-амперах реактивных, кило вольт-амперах реактивных). Реактивную мощность можно измерить с помощью счетчика реактивной энергии, также как и активную счетчиком активной энергии.

Требования к энергоэкономичности источников света

В соответствии с Федеральным законом № 261-ФЗ от 23.11.2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» в 2011 году были выпущены два документа, регламентирующие требования энергоэффективности источников света. Это Постановление Правительства РФ от 20 июля 2011 г. № 602 «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения» и Свод правил СП 52.13330.2011 (актуализированная редакция СНиП 23-05-95* «Естественное и искусственное освещение»). Постановление Правительства устанавливает требования к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока, в отношении минимально допустимых значений их световой отдачи и коэффициента мощности (энергоэффективности).

В таблице 1 приведены минимально допустимые значения коэффициента мощности, взятые из ПП №602.

Таблица 1

Минимально допустимые значения коэффициента мощности

Вид источника света	Мощность осветительного прибора	Значения коэффициента мощности
Светодиодные лампы ненаправленного света (ретрофиты)	от 5 Вт до 25 Вт	не менее 0,7
	более 25 Вт	не менее 0,85
Компактные люминесцентные лампы	от 5 Вт до 25 Вт	не менее 0,5
	более 25 Вт	не менее 0,85

Условия проведения работы

Для оборудования рабочего места лабораторной работы применяются следующие устройства и приборы:

- вольтметр;
- амперметр;
- ваттметр;
- исследуемые источники света;
- патрон E27

В ходе выполнения лабораторной работы источники света включаются в цепь поочередно. Будьте осторожны при замене источников света, подождите, пока лампы остынут.

На следующем рисунке представлена электрическая схема лабораторной установки.

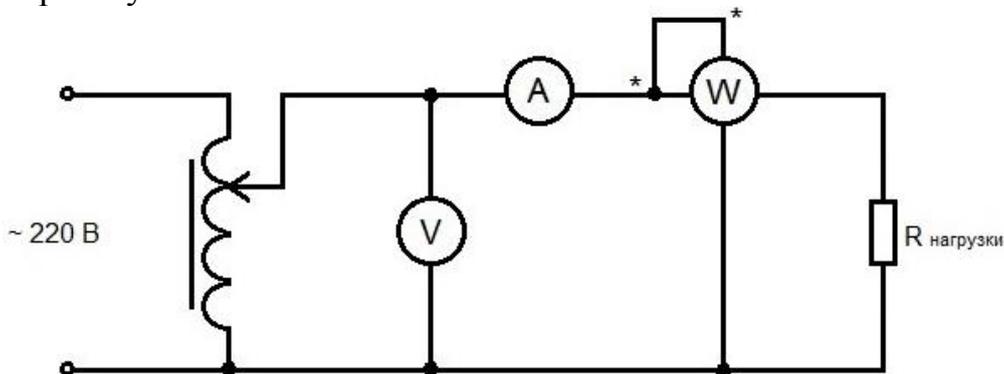


Схема для измерения электрических параметров

V – прибор для измерения напряжения – вольтметр;

A – прибор для измерения силы тока – амперметр;

W – прибор для измерения мощности – ваттметр;

$R_{\text{нагр}}$ – исследуемый источник света.

Порядок проведения лабораторной работы

После ознакомления с общими сведениями и условиями проведения работы, приступите к ее выполнению в следующем порядке.

1, Для проведения измерений поочередно включайте лампы в сеть и фиксируйте показания приборов. Полученные значения силы тока, напряжения и активной мощности внесите в таблицу бланка отчета, выданного преподавателем.

2. С помощью формул 2, 4 и 6 вычислите значения полной и реактивной мощности, а также коэффициента мощности для исследуемых источников света.

3. Сравните получившиеся значения коэффициентов мощности ламп со значениями, представленными в таблице 1. Сделайте вывод о соответствии исследуемых источников света требованиям ПП №602.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем разница расчета мощности для цепей постоянного и переменного тока?
2. Что такое «косинус фи»?
3. Как определяется активная мощность?
4. В каком документе регламентируется энергоэффективность источников света?
5. Как определяется реактивная мощность?

: Ефремов С.В.
Малаян К.Р.;
Монашков В.В.;
Каверзнева Т.Т.
Салкуцан В.И;
Струйков Г.В.
Мальшев В.П;
Маньков В.Д.
Терентьев О.Н

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.
ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
Лабораторный практикум.**

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 95 3005 – учебная литература

Подписано в печать 28.10. 2016. формат 60x84/16. Печать цифровая.
Усл.печ.л. 9,25. Тираж 100. Заказ 14776в.

Отпечатано с готового оригинал макета, предоставленного авторами
в издательско-полиграфическом центре
Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.(812) 552-77-17, 550-40-14.