

Министерство образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный горный институт им.Г.В.Плеханова
(технический университет)

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Лабораторный практикум

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2003

УДК 658.345:622 (075.80)
ББК 30н; 31.29н
Б40

Авторы:
И.А.Павлов, Ю.М.Смирнов, В.Б.Соловьев, А.А.Рыскунов

Приведены учебно-методические материалы по анализу опасных и вредных факторов производственной среды различной физической природы. Дано описание установок, стендов и методик выполнения лабораторных работ с оценкой эффективности способов и средств обеспечения нормативных показателей освещенности, шума, вибрации, теплового и сверхвысокочастотного излучений, электробезопасности на рабочих местах.

Практикум предназначен для студентов всех специальностей технических вузов, изучающих дисциплину «Безопасность жизнедеятельности».

Научный редактор проф. *Ю.В.Шувалов*.

Рецензенты: кафедра безопасности жизнедеятельности СПШТА, проф. В.А.Роголев (ЗАО «Экологический институт»).

Безопасность жизнедеятельности: Практикум / И.А.Павлов, Ю.М.Смирнов
Б40 В.Б.Соловьев, А.А.Рыскунов. Санкт-Петербургский государственный
горный институт (технический университет). СПб, 2003. 96 с.
ISBN 5-94211-111-1

УДК 658.345:622 (075.80)
ББК 30н; 31.29н

ISBN 5-94211-111-1

© Санкт-Петербургский горный
институт им. Г.В.Плеханова, 2003 г.

ВВЕДЕНИЕ

В целях совершенствования образовательного процесса по курсу «Безопасность жизнедеятельности» и с учетом особенностей выпускаемых факультетами Горного института специальностей на кафедре экологии, аэрологии и охраны труда введены в действие новые стендовые лабораторные работы, методическое обеспечение которых разработано и представлено в настоящем практикуме.

Учебно-методические материалы содержат подробные, выполненные на современном уровне регламенты инструментальных учебно-исследовательских лабораторных работ по изучению физической природы, техногенного происхождения и взаимосвязи опасных и вредных факторов производственной среды с технологическими параметрами производства. В частности, в практикуме уделено внимание обеспечению нормативно-гигиенических показателей освещенности рабочих мест, исследованию способов снижения производственного шума и вибрации, защиты от тепловых и сверхвысокочастотных излучений, анализу электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1 кВ, оценке работоспособности устройств защитного отключения, эффективности защитного заземления и зануления.

Проведение учебных занятий по предложенным в практикуме методикам призвано углубить теоретические представления и выработать практические навыки по оценке уровней и обоснованию наиболее эффективных для конкретных условий способов снижения параметров опасных и вредных факторов и по выбору средств защиты от них на предприятиях горной, горно-метал-

лургической, топливно-энергетической и других отраслей промышленности.

К практическому выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе в лаборатории (с отметкой в журнале инструктажа), ознакомившиеся с методикой проведения лабораторной работы и подготовившие рабочие материалы, включающие расчетные формулы и таблицы для записи результатов измерений исследуемых параметров. Уровень подготовки студента к работе проверяется при собеседовании с преподавателем по плану выполнения учебно-исследовательской части работы. Рабочие материалы подписывается студентом и преподавателем с указанием фамилий и календарной даты выполнения задания.

Включение приборов и учебных стендов производится непосредственно под руководством преподавателя.

Работа оформляется на листах белой бумаги формата А4 в виде отчета и должна содержать:

- титульный лист – название работы, дата выполнения задания, фамилии исполнителей и преподавателя;
- основную часть – формулировка цели работы, описание теоретических основ физической природы исследуемых факторов (процессов, зависимостей), расчетные формулы, таблицы регистрируемых и расчетных параметров, графики;
- заключение – анализ результатов и основные выводы по работе.

Защита лабораторной работы проводится в форме собеседования по теоретическим вопросам, анализу результатов и практическим выводам при наличии отчета, оформленного в соответствии с вышеизложенными требованиями.

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ И ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Светотехнические характеристики освещения. Рациональное освещение производственных помещений и рабочих мест – одно из важнейших условий создания благоприятных и безопасных условий труда.

Из общего объема информации через зрительный аппарат человек воспринимает около 80 %. Качество получаемой информации во многом зависит от освещения. Недостаточное или некачественное освещение утомляет не только зрение, но и организм в целом. Нерационально организованное освещение может, кроме того, явиться причиной травматизма из-за возникновения плохо освещенных опасных зон, слепящего действия источников света и бликов от них, появления резких теней, ухудшающих видимость и вызывающих полную потерю ориентации работающих.

В зависимости от источников света производственное освещение может быть трех видов: естественное, искусственное и смешанное (при сочетании естественного и искусственного).

Для гигиенической оценки освещения используются следующие физические светотехнические характеристики:

- Видимое излучение, вызывающее зрительное ощущение, характеризуется участком спектра электромагнитных колебаний в диапазоне длин волн от $4 \cdot 10^{-7}$ до $7,6 \cdot 10^{-7}$ м или с учетом условности границ от 380 до 770 нм (1 нанометр = $1 \cdot 10^{-9}$ м).

- Световой поток F – мощность лучистой энергии, оцениваемой по световому ощущению. За единицу светового потока принят люмен (лм).

- Сила света I_a – пространственная плотность светового потока, характеризующая свечение источника излучения,

$$I_a = \frac{dF}{d\omega},$$

где I_a – сила света в пределах телесного угла ω , кд; dF – световой поток, распределяющийся в пределах телесного угла, лм; $d\omega$ – единственный телесный угол, ср (стерадианы).

• Освещенность E – поверхностная плотность светового потока, измеряемая в люксах (лк),

$$E = \frac{dF}{dS},$$

где dS – площадь поверхности, на которую падает световой поток dF , м².

• Яркость B – поверхностная плотность силы света в данном направлении. Единицей измерения яркости является кандела на квадратный метр (кд/м²), это яркость светящейся плоской поверхности площадью 1 м² в перпендикулярном к ней направлении при силе света в 1 кд.

Искусственное освещение. Источники искусственного освещения устанавливают в помещениях с недостаточным естественным светом, а также для освещения помещения в часы суток, когда естественная освещенность ослабевает или практически полностью отсутствует.

По принципу организации искусственного освещения различают общее и комбинированное.

Общее освещение предназначено для освещения всего помещения, оно может быть равномерным или локализованным. Общее равномерное освещение создает условия для выполнения работы в любом месте освещаемого пространства. При общем локализованном освещении светильники размещают в соответствии с расположением оборудования, что позволяет создавать большую освещенность на рабочих местах.

Комбинированное освещение (сочетание общего и местного) используется при работах высокой точности, а также при необходимости создания определенного или изменяемого в процессе работы направления света. Местное освещение является направленным и создает необходимую освещенность рабочих поверхностей, не охватывая прилегающих к ним площадей. Оно может быть стационарным и переносным. Применение только местного освещения в производственных помещениях запрещается.

По функциональному назначению искусственное освещение классифицируют на рабочее, аварийное, эвакуационное и охранное.

Рабочее освещение предусматривается для всех помещений производственных зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта.

Аварийное освещение в помещениях и на местах производства работ необходимо, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования может привести к взрыву, пожару, длительному нарушению технологического процесса, нарушению работы объектов жизнеобеспечения, в которых прекращение работ недопустимо. Наименьшая освещенность, создаваемая аварийным освещением, должна составлять 5 % от нормируемого рабочего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территории предприятий.

Эвакуационное освещение должно быть обеспечено для мест, отведенных для прохода людей, а также проходов и лестниц, предназначенных для эвакуации персонала, при числе эвакуируемых более 50 человек. Освещенность земли или пола основных проходов и ступеней лестниц в помещениях 0,5 лк, а на открытых территориях 0,2 лк.

Охранное освещение размещается вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время. Освещенность не менее 0,5 лк на уровне земли.

Источники искусственного освещения. В качестве источников искусственного освещения применяются лампы накаливания и газоразрядные лампы.

Лампы накаливания, где источником света является раскаленная вольфрамовая нить, дают непрерывный спектр излучения с преобладанием по сравнению с естественным светом желто-красных лучей. По конструкции лампы накаливания бывают вакуумными, газонаполненными, безспиральными и безспиральными с криптоксеноновым наполнением. Общим недостатком ламп накаливания является небольшой срок службы (около 1000 ч) и низкий КПД. В промышленности их чаще всего используют для организации местного освещения.

Газоразрядные лампы низкого и высокого давления широко применяются в условиях производства. Лампы низкого давления, называемые люминесцентными, представляют собой стеклянную трубку,

наполненную дозированным количеством ртути (30-80 мг) или инертным газом под давлением около 400 Па. Внутренняя ее поверхность покрыта люминофором. Концы трубки снабжены электродами. При включении лампы электрический ток, протекающий между электродами, вызывает в парах ртути электрический разряд, часть энергии излучения которого преобразуется в световое излучение. В зависимости от состава люминофора люминесцентные лампы обладают различной цветностью.

К газоразрядным лампам высокого давления (0,03-0,08 МПа) относят дуговые ртутные люминесцентные лампы (ДРЛ). В спектре излучения этих ламп преобладают зеленые и голубые тона.

Основным преимуществом газоразрядных ламп является их экономичность. Светоотдача этих ламп колеблется от 30 до 80 лм/Вт, что в 3-4 раза выше световой отдачи ламп накаливания, а срок их службы достигает 10000 ч.

Нормирование искусственного освещения. Наименьшая освещенность рабочих поверхностей в производственных помещениях устанавливается в зависимости от характера зрительной работы и регламентируется строительными нормами и правилами (СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»). Характер зрительной работы определяется минимальным размером объекта различения, контрастом объекта с фоном и характеристикой фона.

Объект различения – рассматриваемый предмет, отдельная его часть или дефект, которые следует различать в процессе работы.

Фон – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Фон считается светлым при коэффициенте отражения поверхности $\rho_{\phi} > 0,4$; средним при ρ_{ϕ} от 0,2 до 0,4; темным при $\rho_{\phi} < 0,2$.

Контраст объекта различения с фоном K есть отношение абсолютной величины разности между яркостью объекта B_0 и яркостью фона B_{ϕ} к яркости фона, в котором яркость можно заменить на соответствующие коэффициенты отражения:

$$K = \left| \frac{B_0 - B_{\phi}}{B_{\phi}} \right| = \left| \frac{\rho_0 - \rho_{\phi}}{\rho_{\phi}} \right|,$$

где ρ_0 и ρ_{ϕ} – коэффициенты отражения объекта и фона соответственно.

Контраст объекта с фоном считается большим при $K > 0,5$; средним при $K = 0,2 \div 0,5$; малым при $K < 0,2$.

Коэффициенты отражения некоторых поверхностей и цветов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты отражения некоторых поверхностей и цветов

Объект	$\rho, \%$	Объект	$\rho, \%$
Поверхность материала			
Бумага белая	84	Дуб светлый	33
Фольга алюминиевая	83	Бетон сухой	32
Кафель белый	75	Кирпич желтый	32
Эмаль фарфоровая белая	65-75	Бетонные стены со светлыми обоями	30
Алюминий матовый	55-75	Линолеум светлый	21
Плитка фаянсовая белая	70	Стекло матированное	8-20
Бумага чистая	60-70	Листы цинковые	8-20
Кирпич белый	62	Кирпич красный	18
Сталь тонированная	50-55	Линолеум темный	16
Железо эмалированное белое	50-55	Дуб темный	13
Стекло молочное	50	Асфальт	8-12
Фанера	38	Бархат черный	6
Цвет			
Известково-белый	80	Оранжевый	25-30
Лимонно-желтый	70	Оливково-зеленый	25
Слоновой кости	70	Светло-коричневый	25
Кремовый	70	Бежевый	25
Охра светлая	60	Травянисто-зеленый	20
Чисто желтый	50	Киноварь	20
Зеленый	50	Бирюзово-синий	15
Голубой	40-50	Кармин	10
Серебристо-серый	35	Клинкер темный	10
Небесно-голубой	30	Черный	10

В соответствии со СНиП 23-05-95 все зрительные работы делятся на восемь разрядов в зависимости от размера объекта различения и условий зрительной работы. Допустимые значения наименьшей освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях, регламентированные СНиП 23-05-95, приведены в [табл.2](#).

В реальных условиях на освещенность рабочих мест в производственном помещении влияют такие факторы, как отражение и поглощение света стенами, потолком и другими плоскостями, расстояние от светильников до рабочей поверхности, чистота и качество поверхности источника света, наличие рассеивателя и т.д. Поэтому практически используется только часть излучаемого источником светового потока.

Нормируемым параметром при естественном освещении является коэффициент Z естественной освещенности (КЕО), численно равный отношению естественной освещенности в некоторой точке рабочей поверхности внутри помещения $E_{в}$ к значению наружной горизонтальной освещенности $E_{н}$ полностью открытого небосвода, в процентах (оба значения этих параметров должны быть получены при одновременных измерениях):

$$Z = \frac{E_{в}}{E_{н}} \cdot 100.$$

Значения КЕО в зависимости от характера зрительной работы и прочих условий приведены в [табл.2](#).

Количественной характеристикой общего освещения, определяющей степень экономичности светильников, является светоотдача (СО), пропорциональная отношению светового потока, создаваемого источником света, к мощности, потребляемой этим источником:

$$CO = \frac{\pi r^2 E}{P},$$

где r – расстояние от источника до точки измерения освещенности, м; P – потребляемая мощность источника, Вт.

Расчет естественного освещения сводится к определению площади проемов, через которые свет проникает в помещение:

Таблица 2

Допустимая наименьшая освещенность рабочих поверхностей в производственных помещениях

Характер зрительной работы	Наименьший объект различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Фон	Освещенность при освещении, лк,		КЕО, % (естественное освещение)		
						комбинированном	общем	при верхнем и боковом освещении	в зоне с устойчивым снежным покровом	на остальной территории
Высокой точности	< 0,15	I	a	Малый	Темный	5000	1500	10	2,8	3,5
			б	– « –	Средний	4000	1250			
			в	Малый	Светлый	2500	750			
			г	Средний	Средний	1500	400			
Очень высокой точности	0,15-0,3	II	a	Малый	Темный	4000	1250	7	2	2,5
			б	– « –	Средний	3000	750			
			в	Малый	Светлый	2000	500			
			г	Средний	Средний	1000	300			
Высшей точности	0,3-0,5	III	a	Малый	Темный	2000	500	5	1,6	2
			б	– « –	Средний	1000	300			

Продолжение табл.2

Характер зрительной работы	Наименьший объект различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Фон	Освещенность при освещении, лк,		КЕО, % (естественное освещение)		
						комбинированном	общем	при верхнем и боковом освещении	в зоне с устойчивым снежным покровом	на остальной территории
Высшей точности	0,3-0,5	III	в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	750	300	5	1,6	2
			г	Средний Большой – « – Средний	Светлый – « – Средний	400	200			
Средней точности	0,5-1,0	IV	а	Малый	Темный	750	300	4	1,2	1,5
			б	– « – Средний	Средний Темный	500	200			
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200			
			г	Средний Большой – « – Средний	Светлый – « – Средний	300	150			
Малой точности	1,0-5,0	V	а	Малый	Темный	300	200	3	0,81	1,0
			б	– « – Средний	Средний Темный	200	150			
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	–	150			

Окончание табл.2

Характер зрительной работы	Наименьший объект различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различения с фоном	Фон	Освещенность при освещении, лк,		КЕО, % (естественное освещение)		
						комбинированном	общем	при верхнем и боковом освещении	в зоне с устойчивым снежным покровом	на остальной территории
Малой точности	1,0-5,0	V	г	Средний Большой – « –	Светлый – « – Средний	–	100			
Очень малой точности	> 5,0	VI	–	Независимые характеристики фона и контраста объекта с фоном		–	150	2	0,4	0,5
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	> 0,5	VII	–	То же		–	200	3	0,8	1,0
Общее наблюдение за ходом производственного процесса (постоянное)	–	VIII	а	Постоянное		–	75	1	0,2	0,3
			б	Периодическое при постоянном пребывании людей в помещении		–	50	0,7	0,2	0,2
			в	Периодическое при периодическом пребывании людей в помещении		–	30	0,5	0,1	0,1

$$S_o = \frac{S_n Z \eta_o k_3 k_{3,d}}{100 r_1 \tau_o}, \quad (1)$$

где S_n – площадь помещения, м²; η_o – световая характеристика окон, зависящая от их расположения, соотношения длины, ширины и высоты помещения, для аудитории $\eta_o = 7$; k_3 – коэффициент, учитывающий степень загрязнения окон, для аудитории $k_3 = 1,2$; $k_{3,d}$ – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями, для аудиторий 2002 и 2004 института $k_{3,d} = 0,65$, для аудитории 2214 $k_{3,d} = 0,9$; r_1 – коэффициент, учитывающий увеличение Z при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения, $r_1 = 2,05$; τ_o – общий коэффициент светопропускания, $\tau_o = 0,65$.

В нашем случае уравнение (1) решается относительно Z , полученное значение которого сравнивается с нормируемым.

Величина, характеризующая эффективность использования источников света, называется коэффициентом использования светового потока или коэффициентом использования осветительной установки η и представляет собой отношение фактического светового потока F_ϕ к суммарному световому потоку F_Σ используемых источников света, определенному по их номинальной мощности в соответствии с нормативной документацией:

$$\eta = F_\phi / F_\Sigma, \quad (2)$$

где $F_\phi = ES_n$ (по результатам измерений E).

Контрольные вопросы

1. Назовите основные параметры, используемые для характеристики светотехнических устройств.
2. Что такое освещенность, от каких факторов она зависит и в каких единицах измеряется?
3. От чего зависит отражающая способность освещаемых поверхностей, как определяются понятия темный, средний, светлый фон?

4. Что такое контраст объекта различения с фоном, каким образом можно охарактеризовать большой, средний и малый контраст?
5. Какие факторы определяют значение минимально допустимой освещенности на рабочих местах?
6. Как работает люксметр-пульсометр?
7. Что такое комбинированное, общее, местное и совмещенное освещение рабочих мест?
8. Каким образом оценить соответствие рабочего места санитарно-гигиеническим требованиям по условиям освещенности?

Работа 1. Определение освещенности рабочих мест и эффективности использования источников света

Цель работы – изучение количественных и качественных характеристик производственного освещения, оценка влияния типа светильника и цветовой отделки интерьера производственного помещения на освещенность и коэффициент использования светового потока.

Задание – измерить освещенность, создаваемую различными источниками света, и сравнить с нормируемыми значениями; по измеренным значениям освещенности вычислить по заданию преподавателя коэффициент естественной освещенности, коэффициент использования осветительной установки, светоотдачу и коэффициент контраста различения объекта с фоном при работе осветительных приборов.

Действительная освещенность определяется умножением измеренной освещенности на поправочный коэффициент $k_{п}$: для ламп типов ЛЛ и ЛБ $k_{п} = 1,15$; типов ЛД, ЛДЦ и ДРЛ соответственно 0,88; 0,95 и 1,12, для ламп накаливания $k_{п} = 1$, для освещенности, создаваемой естественным светом, $k_{п} = 0,8$.

Лабораторная установка состоит из макета производственного помещения, оборудованного различными источниками искусственного освещения, и измерительных приборов: люксметра Ю-116 и прибора БЖ 01/1 для определения коэффициента пульсации освещенности при использовании газоразрядных ламп.

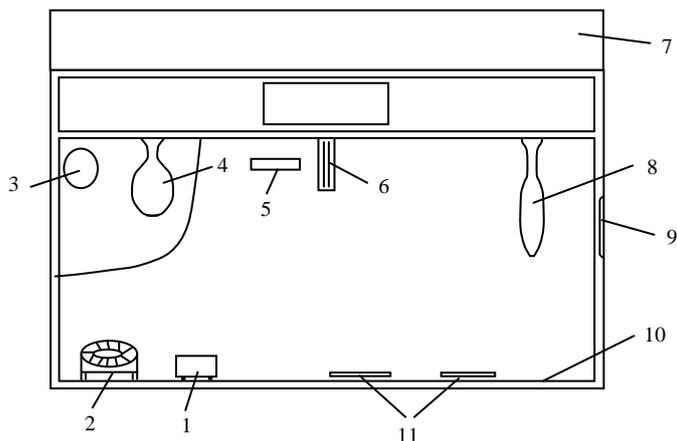


Рис.1. Макет производственного помещения

- 1 – вольтметр; 2 – вентилятор; 3 – ручка для съема стенок; 4 – лампа накаливания;
 5 – люминесцентная лампа; 6 – проемы каркаса для установки стенок; 7 – двухскатная
 крыша; 8 – дуговая ртутная лампа; 9 – боковые стены; 10 – пол (основание);
 11 – печатные платы (элементы зрительного восприятия)

Все стенки макета производственного помещения (рис.1) выполнены в съемном варианте и снабжены двухсторонними ручками. Одна сторона стенок окрашена в темные тона (верх – серый, низ – синий), другая в светлые тона (верх – белый, низ – салатный). Стенки могут быть установлены в проемах каркаса как одной, так и другой стороной внутрь помещения и фиксируются с помощью магнитных защелок.

Внутри модели производственного помещения на полу размещены вентилятор для охлаждения ламп и наблюдения стробоскопического эффекта; вольтметр для определения напряжения в сети, а также две печатные платы в качестве примера зрительного восприятия их элементов при различном освещении.

В верхней части макета производственного помещения по потолку размещены шесть стандартных патронов, в которые установлены две лампы накаливания, три дуговые ртутные лампы (ДРЛ) и люминесцентная лампа.

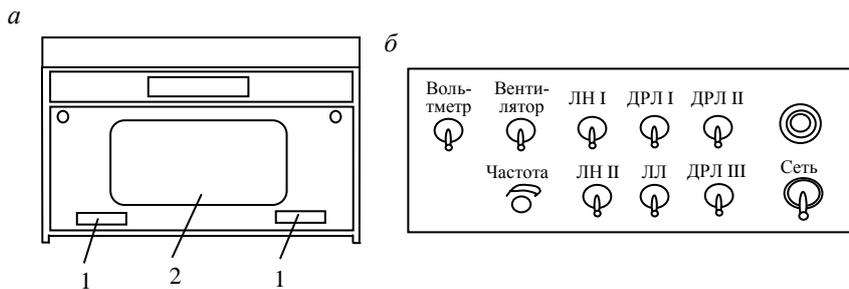


Рис.2. Внешний вид установки (а) и панель управления (б)

1 – отверстия для ввода чувствительных элементов прибора; 2 – застекленная панель

На передней стенке расположены застекленная панель (рис.2, а) для проведения наблюдений и два прямоугольных отверстия, в которые вводятся чувствительные элементы люксметра и прибора для измерения коэффициента пульсации освещенности.

На панели управления лабораторной установки (рис.2, б) расположены тумблер включения питания «Сеть» с сигнальной лампой, тумблер включения вентилятора «Вентилятор», частота вращения которого регулируется ручкой «Частота»; тумблер «Вольтметр» для включения вольтметра; тумблеры ЛН I и ЛН II для включения ламп накаливания; тумблеры ДРЛ I, ДРЛ II, ДРЛ III для включения дуговых ртутных ламп и тумблер ЛЛ для включения люминесцентной лампы.

Требования техники безопасности при проведении работы следующие:

1. К работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством лабораторного стенда, принципом действия и мерами безопасности при проведении лабораторной работы.

2. Для предотвращения перегрева стенда в процессе работы ламп накаливания и ламп ДРЛ необходимо предварительно включить вентилятор. Выключение вентилятора производится после выключения ламп.

3. После проведения лабораторной работы необходимо отключить электропитание стенда.

Порядок проведения работы следующий:

1. Измерить освещенность на рабочем месте в аудитории в разных условиях:

- при полностью включенном верхнем освещении, используя все фильтры люксметра;
- при половине верхнего освещения, используя один из фильтров;
- при выключенном верхнем освещении, используя один фильтр или без фильтра.

2. Измерить эффективность местного освещения на расстояниях 20, 40 и 60 см от источника при включенном верхнем освещении и долю местного освещения в общем на расстоянии 20, 40 и 60 см от местного источника света при выключенном верхнем освещении.

3. Измерить естественную освещенность при полностью открытом небосводе и вычислить коэффициент естественной освещенности.

4. Подготовиться к работе с установкой: определить площадь оконных проемов, через которые свет проникает в аудиторию и площадь смотрового окна макета помещения; установить стенки макета производственного помещения таким образом, чтобы стороны, окрашенные в темные тона, были обращены внутрь помещения (вариант 1).

5. Включить установку и лампы, указанные преподавателем.

6. Измерить освещенность с помощью люксметра Ю-116 в пяти точках производственного помещения (в центре и в крайних точках) и вычислить среднее значение освещенности $E_{ср1}$.

7. Установив стенки, чтобы стороны, окрашенные в светлые тона, были обращены внутрь помещения, повторить измерения освещенности в пяти точках производственного помещения и вычислить среднее значение освещенности $E_{ср2}$ (вариант 2).

8. Сравнить значения $E_{ср1}$ и $E_{ср2}$ с допустимыми значениями освещенности, приведенными в табл.2 (разряд зрительных работ выбрать по указанию преподавателя).

9. По результатам измерений освещенности для помещений с темной и светлой окраской стен вычислить значение фактического светового потока $F_{\phi} = E_{\text{ср}1, 2} S_{\text{п}}$.

10. Вычислить коэффициент использования осветительной установки η для помещений с темной и светлой окраской стен по формуле (2). Суммарный световой поток $E_{\text{л}}$ выбрать по следующим данным:

Лампа	Накаливания Б 215-225-40	ДРЛ 80	Люминесцентная ESSIYSUCEL11W
Номинальная мощность, Вт	40	80	11
Номинальный световой поток, лм	415	3400	900

11. Повторить измерения для другого типа ламп (пп.6-10).

12. Сравнить значения коэффициентов использования осветительных установок, полученные при использовании различных источников света и при различной окраске стен производственного помещения. Результаты расчетов и измерений занести в [табл.3](#).

Таблица 3

Результаты измерений и расчетов

Тип ламп	Число ламп	$F_{\text{л}}$, лм	$F_{\text{л}}$, лм	$S_{\text{п}}$, м ²	E_1, E_2, \dots, E_5 , лк	$E_{\text{ср}}$, лк	F_{ϕ} , лм	η	k	КЕО, %	СО, лм/Вт

Примечание. $F_{\text{л}}$ – номинальный световой поток одной лампы; E_1, E_2, \dots, E_5 – освещенность помещения в точках 1, 2, ..., 5.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ

Физическая сущность звукоизоляции. Звукоизолирующее действие преграды \bar{R} можно характеризовать отношением интенсивностей звука J_{11} в падающей на преграду волне к интенсивности звука J_{21} в волне, прошедшей через преграду:

$$\bar{R} = J_{11} / J_{21} = 1 / \tau, \quad (3)$$

где τ – коэффициент звукопроницаемости, $\tau < 1$.

Коэффициент звукопроницаемости τ связан с коэффициентом рассеяния d и коэффициентом отражения c соотношением

$$d + c + \tau = 1,$$

соответствующим закону сохранения энергии

Коэффициент звукоизоляции R в децибелах оценивается разностью уровня шума в пространствах до и за преградой и представляет собой логарифм отношения (3):

$$\bar{R} = 10 \lg \bar{R} = 10 \lg J_{11} - 10 \lg J_{21}. \quad (4)$$

Интенсивность звука в падающих на преграду под углом ϑ_1 звуковых волнах

$$J_{11} = \frac{P_{11}^2 \cos \vartheta_1}{\rho_1 c_1},$$

а интенсивность звука в прошедших под углом ϑ_2 преграду звуковых волнах

$$J_{21} = \frac{P_{21}^2 \cos \vartheta_2}{\rho_2 c_2},$$

где $\rho_1 c_1$ и $\rho_2 c_2$ – акустические сопротивления сред падающей и преломленной волн соответственно (рис.3); P_{11} и P_{21} – давление в среде падающей и преломленной волн.

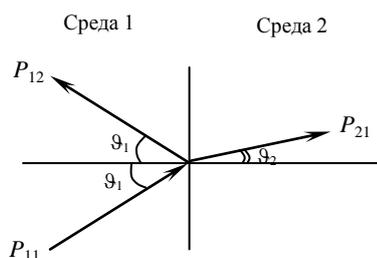


Рис.3. Схема волнового процесса на границе сред 1 и 2 с акустическими сопротивлениями $\rho_1 c_1$ и $\rho_2 c_2$ соответственно

Основным путем передачи звуковой волны в защищаемое помещение является путь через ограждающую конструкцию. Звукоизоляция кожуха оценивается величиной снижения уровней звуковых давлений в децибелах, которые определяются потерями энергии в материале звукоизоляции, а также конструктивными особенностями и параметрами ограждающих устройств:

$$D_{L_{\text{кож}}} = R + 10 \lg(S_{\text{кож}} / A_{\text{кож}}),$$

где $S_{\text{кож}}$ – площадь поверхности кожуха, м^2 ; $A_{\text{кож}}$ – полное внутреннее звукопоглощение в пространстве под кожухом, равное эквивалентной площади звукопоглощения в нем, м^2 , $A_{\text{кож}} = a_{\text{кож}} S_{\text{п}}$; $a_{\text{кож}}$ – средний коэффициент звукопоглощения в пространстве под кожухом; $S_{\text{п}}$ – суммарная площадь поверхностей, находящихся под кожухом, включая и его собственную поверхность.

Наличие технологически необходимых отверстий или неплотностей в кожухе или в отдельных его деталях приводит к интенсивной передаче шума в рабочее помещение. Кроме того, звуковые волны проходят в местах контакта изолируемой машины с фундаментом или полом помещения, а также излучаются выступающими деталями. Первый из рассматриваемых путей передачи звука зависит только от конструктивного решения стенок кожуха. Устранение других путей проникновения шума от работающих машин в помещении возможно, например, с помощью специальных глушителей или демпфирования опор кожухов упругими прокладками.

Расчет снижения шума кожухом. Эффективность применения кожуха в каждом конкретном случае зависит от многих факторов и, в первую очередь, от шумовых параметров, рассчитанных по всем стандартным среднегеометрическим значениям частот (от 63 до 8000 Гц) в октавных полосах.

Звуковое поле в помещении оценивается в следующей последовательности:

- выбор расчетно-измерительных точек;
- определение на среднегеометрических частотах шумовых характеристик (уровней звукового давления и мощности), создаваемых работающим оборудованием;
- расчет допустимых в соответствии с санитарными нормами уровней звукового давления в расчетных точках;
- определение требуемого снижения уровней звукового давления в каждой октавной полосе частот;
- определение требуемой звукоизоляции стенок кожуха и отдельных его элементов (смотровых окон, дверей, люков, вентиляционных отверстий);
- конструктивное решение кожуха в зависимости от эффективности его звукоизолирующих свойств.

Шумовые характеристики машины. Уровень звуковой мощности L_p может быть установлен по паспорту на данную машину или по каталогу шумовых характеристик, а уровень звукового давления L вычисляется с учетом особенностей и акустических характеристик помещения.

Для соразмерных помещений (отношение наибольшего размера D к наименьшему G не более 5)

$$L = L_p + 10 \lg(\Pi + 4/B), \quad (5)$$

где Π – вклад падающей звуковой волны для дальнего поля*,
 $\Pi = \Pi_{\text{дал}} = \Phi / \Omega r^2$; $\Phi = L_n / L_{\text{ср}}$ – фактор направленности источника, при грубой оценке уровня шума, создаваемого источником с неизвестным фактором, $\Phi = 1$; L_n – уровень давления направленного звука в измеряемой точке; $L_{\text{ср}}$ – средний уровень звукового давления; $\Omega = 4\pi$ – полный пространственный угол, в который излучается звуковая волна, для ближнего поля, ср; B – постоянная помеще-

* Поле считается дальним при $r > 2l_{\text{max}}$ и ближним при $r \leq 2l_{\text{max}}$, где r – расстояние от источника шума; l_{max} – наибольший линейный размер источника шума.

ния, $B = A/(1 - \alpha)$; A – полное внутреннее звукопоглощение; α – коэффициент звукопоглощения.

Для ближнего поля $\Pi = \Pi_{\text{бли}} = \Phi/S$, где S – площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы (параллелепипед, полуцилиндр), окружающей источник, повторяющей упрощенно его форму и проходящей через точку наблюдения, м^2 .

Для несоразмерных помещений (плоских с $D/H > 5$ и $G/H > 4$; длинных с $D/H > 5$ и $G/H < 4$, где H – высота помещения)

$$L = L_p + 10 \lg \left[\Pi + \frac{1 - \alpha}{HG} \frac{r + G}{r + H} J(\alpha, \rho) \right], \quad (6)$$

где α – средний коэффициент звукопоглощения; $J(\alpha, \rho)$ – функция, описывающая поле отраженной звуковой волны в несоразмерных помещениях.

Требуемое снижение уровней звукового давления. Конструктивное решение кожуха изолируемой машины во многом зависит от требуемого снижения уровней звукового давления в расчетных точках. Именно эти значения позволяют обосновать необходимость и степень звукоизоляции стенок кожуха и установить основные параметры для проектирования кожуха: размеры, форму, способ установки и вид звукопоглощающей облицовки внутренней поверхности кожуха.

Если расчетная точка находится на рабочем месте около изолируемой машины (на расстоянии x_0 от геометрического центра источника шума), то требуемое снижение уровня звукового давления

$$\Delta L_{\text{тр.кож}} = L_p - 10 \lg S - L_{\text{доп}} + 5;$$

$$\Delta L_{\text{тр.кож}} = L_{\text{ср}} - L_{\text{доп}} + 5,$$

где L_p – октавный уровень звуковой мощности шума, излучаемого машиной до установки на нее кожуха, дБ; $L_{\text{доп}}$ – допустимый по нормам уровень звукового давления в октавных полосах, дБ; $L_{\text{ср}}$ – средний уровень звукового давления в октавных полосах частот, определенный на рабочем месте, дБ; S – площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей маши-

ну и проходящей через расчетную точку, если расстояние от геометрического центра источника шума до расчетной точки x_0 больше удвоенного максимального размера источника шума, то численно $S \approx 2\pi x_0^2$ м².

Если расчетная точка находится на расстоянии $x > x_0$ от источника шума, значения $\Delta L_{\text{тр.кож}}$ могут быть вычислены по известным шумовым характеристикам L_p и $L_{\text{ср}}$, описываемым с учетом акустических характеристик помещения формулами (5) и (6).

Требуемая звукоизоляция стенок кожуха. Звукоизоляция сплошного герметичного кожуха, плотно закрывающего машину, вычисляется по формуле (3). Чтобы обеспечить требуемую величину звукоизоляции, конструкция стенки кожуха должна быть выбрана с учетом результатов предварительного расчета. Звукоизоляцию плоской тонкой ограждающей конструкции кожуха из металла, стекла и упругих материалов определяют как сумму

$$R_{\text{тр.кож}} = R_1 + \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3 + \Delta R_4,$$

где R_1 – собственная звукоизоляция тонкой стенки кожуха, дБ; ΔR_1 – влияние ребер жесткости пластин, дБ; ΔR_2 – увеличение значения звукоизоляции при применении демпфирующего покрытия пластин, дБ; ΔR_3 – увеличение звукоизоляции за счет внутренней звукопоглощающей облицовки, дБ; ΔR_4 – влияние технологически необходимых отверстий, дБ.

Эксплуатационные требования к звукоизолирующим кожухам. Звукоизолирующие кожухи предназначены для снижения уровней шума в помещении, т.е. для создания благоприятных условий труда. Достижение хорошей и удобной изоляции возможно лишь при учете ряда эксплуатационных требований. Кожух не должен затруднять осуществление технологических процессов и работу оператора.

Выбор конструктивного решения определяется рядом факторов: наличием свободного места вокруг машины, необходимостью обеспечения доступа к отдельным узлам и механизмам. Конструк-

ция кожуха должна обеспечивать возможность визуального наблюдения оператора за работой машины и за показаниями контрольных приборов через смотровые окна, выполненные с соответствующей звукоизоляцией.

Контрольные вопросы

1. Какова физическая сущность звукоизоляции?
2. Что такое интенсивность уровня звука?
3. Что такое октавная полоса частот?
4. Как определить коэффициент звукоизоляции?
5. От чего зависит звукоизолирующая способность материала?
6. Какие материалы рекомендуется использовать для поглощения низкочастотных колебаний, а какие для поглощения высокочастотных?
7. Какой материал является идеальным звукоизолятором?
8. Что такое акустическое сопротивление?
9. Какова физическая сущность коэффициентов рассеивания и отражения звуковых волн?
10. Что такое коэффициент звукопроницаемости?

Работа 2. Расчет эффективности звукоизоляции

Цель работы – знакомство с теоретическими сведениями о производственных шумах, с физической сущностью и инженерным расчетом звукоизоляции, с приборами для измерения шума, нормативными требованиями к ПДУ производственного шума.

Задание – провести измерения шумовых характеристик объекта, оценить эффективность мероприятий по снижению шума средствами звукоизоляции.

Лабораторный стенд (рис.4) имеет две камеры, снабженные осветительными приборами. В левой камере размещены макеты заводского оборудования, а под ее «полом» – источник шума (громкоговоритель 1). В правой камере, кроме макетов оборудования кон-

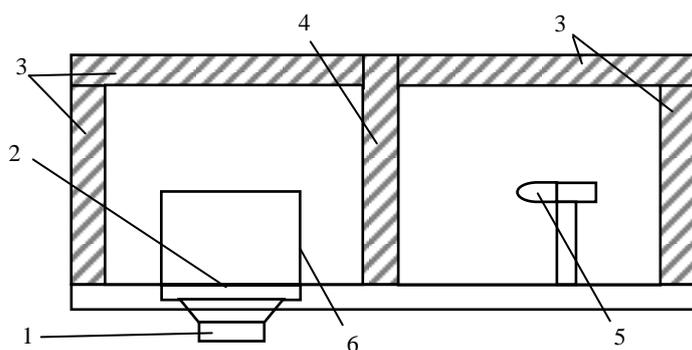


Рис.4. Схема лабораторного стенда

структорского бюро, установлен микрофон 5 из комплекта ВШВ-003. Тумблеры для включения ламп находятся на передней стенке стенда.

Передняя стенка стенда имеет два смотровых окна. Внутри на всех стенках и на двойной крышке (потолке обеих камер) имеются направляющие, при помощи которых устанавливаются съемные звукопоглощающие плиты 3. Правая и левая камеры могут быть изолированы друг от друга звукоизолирующей перегородкой 4. Решетка 2 громкоговорителя во время проведения лабораторной работы может быть закрыта звукоизолирующим кожухом 6, который представляет собой полый металлический цилиндр, заполненный изнутри звукопоглощающим материалом (полиуретаном).

Звуковые импульсы подаются генератором сигналов специальной формы Г6-28 (рис.5), все измерения проводятся шумомером типа ВШВ-003.

Корпус генератора снабжен ручками управления 1 и 2, расположенными по бокам и спереди. Передние ручки одновременно служат ограничителями для предохранения лицевой панели от повреждения. Гнезда «Вход» на лицевой панели генератора предназначены для подключения внешнего генератора сигналов, гнезда «Выход» – для подключения нагрузки, галетный переключатель «Диапазон частот» – для выбора диапазона частот, ручка «Частота» – для плавного регулирования частоты генерируемого сигнала, ручка «Амплитуда»-

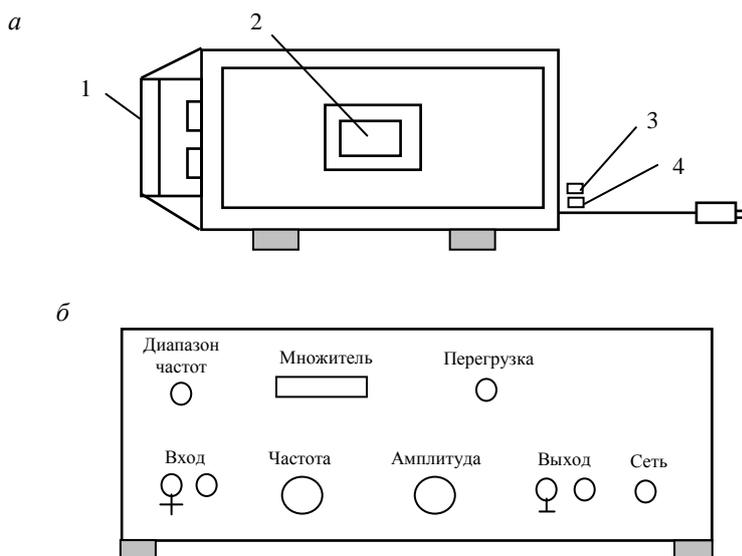


Рис.5. Внешний вид генератора (а) и лицевая панель (б)

для управления входным напряжением, переключатель «Множитель» – для индикации частоты генерируемого сигнала, тумблер «Сеть» – для включения питания, а светодиодный индикатор «Перегрузка» показывает перегрузки по току.

На задней стенке генератора расположены сетевой предохранитель 3 и винт заземления 4. Принцип действия генератора основан на формировании слабوتочного синусоидального сигнала и управления его величиной с помощью усилителя мощности. При использовании внешнего источника сигналов генератор работает как усилитель мощности. Работоспособность генератора сохраняется на протяжении 2 ч непрерывной работы, но затем необходим перерыв на 15 мин.

Для подготовки генератора к работе нужно подключить генератор к сети напряжением 220 В, соединить выходные гнезда генератора с нагрузкой, включить тумблер «Сеть» на лицевой панели и дать прибору прогреться в течение 10 мин. С помощью переключателя «Множитель» и ручки для выбора диапазона частот устано-

вить требуемую частоту выходного напряжения, а его величину – с помощью ручки «Амплитуда».

Порядок проведения работы следующий*:

1. Подключить стенд к электросети, с помощью тумблеров включить освещение внутри стенда. Сняв все средства звукоизоляции и звукопоглощения (звукопоглощающие плиты, звукоизолирующие перегородки и кожух), установить микрофон из комплекта ВШВ-003 на подставку в правой камере стенда.

2. Подключить к стенду генератор Г6-28. Подавать на громкоговоритель сигнал от генератора максимальной амплитуды, последовательно на частотах 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц.

3. Измерить уровень звукового давления L на указанных частотах с помощью шумомера.

4. Накрыть решетку громкоговорителя звукоизолирующим кожухом, подавать на громкоговоритель сигналы от генератора с максимальной амплитудой, последовательно на всех стандартных октавных полосах, измеряя уровень звукового давления $L_{\text{кож}}$. Записать результаты измерений по форме:

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000

L

$L_{\text{кож}}$

5. Отключить генератор и прибор ВШВ-003. Выключить тумблеры освещения камер, отключить стенд от электросети.

6. Сравнить результаты замеров уровней звукового давления L и $L_{\text{кож}}$ с допустимыми значениями $L_{\text{доп}}$ по СН 3223-85.

7. Построить графики уровней звукового давления в координатах $L - \lg f$ с шагом по ординате 10 дБ и шагом логарифма стандартных октавных частот по абсциссе.

8. Построить график эффективности звукоизолирующей облицовки (в процентах) на среднегеометрических значениях частот октавных полос. Эффективность вычислить по формуле

* К работе со стендом допускаются лица, ознакомленные с его устройством, принципом действия и мерами безопасности при проведении лабораторной работы.

$$\Theta = \frac{L_1 - L_{з.п}}{L_1} 100.$$

Нормативные значения допустимых уровней звукового давления производственного шума на рабочих местах следующие:

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ГОСТ 12.1.003-85 (уровень звука 85 дБА)	99	92	86	83	80	78	76	74
СН 3223-85 (уровень звука 80 дБА)	95	87	82	78	75	73	71	69

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИИ

Классификация вибрации. Вибрации – механические колебания упругих тел, характеризующиеся периодичностью изменения параметров. Вибрации возникают при неправильной балансировке валов, шкивов в машинах и станках, воздействии динамических нагрузок; при работе машин и механизмов ударного действия, например, прессов, ткацких станков, пневматического инструмента и т.д.

Воздействие вибрации на человека (оператора) классифицируют следующим образом:

- по способу передачи вибрации – на общую и локальную. Общая вибрация передается телу сидящего или стоящего человека через опорные поверхности, локальная вибрация, как правило, – через руки или ноги сидящего человека, через предплечья, контактирующие с вибрирующими рабочими поверхностями;

- по направлению действия – относительно ориентации осей ортогональной системы координат (рис.6). Для общей вибрации, передаваемой телу человека, направления осей следующие: Z_o – вертикальная, перпендикулярная к опорной поверхности, X_o – горизонтальная от спины к груди; Y_o – горизонтальная от правого плеча к левому (рис.6, а, б). При локальной вибрации ось X_n совпадает или параллельна оси места охвата рукой источника вибрации (рукоятки,

ложемента, рулевого колеса, рычага управления, обрабатываемого и удерживаемого в руках изделия), ось $Z_{л}$ лежит в плоскости, образованной осью $X_{л}$ и направлением подачи или приложения силы, и направлена вдоль оси предплечья, ось $Y_{л}$ направлена от ладони вниз (рис.6, в-е).

Вибрационная нагрузка на оператора нормируется для каждого направления действия вибрации;

- по временной характеристике – на постоянную (за период наблюдения изменяется не более чем в 2 раза или на 6 дБ) и периодическую.

Нормирование вибрации. Показателями вибрационной нагрузки являются виброускорение (виброскорость), диапазон частот и время воздействия вибрации.

К нормируемым показателям вибрационной нагрузки при производственном контроле относятся средние квадратические значения виброускорения a или виброскорости V , а также их уровни (логарифмы), измеряемые в децибелах.

Виброскорость

$$V = 2\pi fA,$$

где f – частота, Гц; A – амплитуда, м.

Логарифмические уровни виброскорости в децибелах

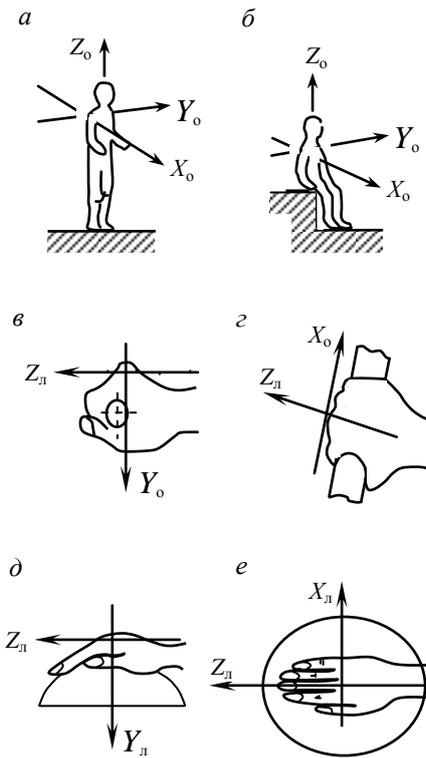


Рис.6. Ориентация осей ортогональной системы координат при общей (а, б) и локальной (в-е) вибрации: а и б – в положении стоя и сидя соответственно; в и г – при охвате цилиндрических, торцовых

$$L_V = 20 \lg \frac{V_c}{5 \cdot 10^{-8}},$$

где V_c – среднее квадратическое значение виброскорости, м/с.
Логарифмические уровни виброускорения в децибелах

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{10^{-6}},$$

где a – среднее квадратическое значение виброускорения, м/с².

Нормируемый диапазон частот технологической вибрации на рабочих местах для работников умственного труда устанавливается в октавных полосах со следующими среднегеометрическими значениями частот: 2; 4; 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц для локальной вибрации и 2; 4; 8; 16; 31,5; 63 Гц для общей.

Время воздействия вибрации принимается равным длительности непрерывного или суммарного воздействия в минутах или часах.

К нормируемым показателям вибрационной нагрузки на оператора на рабочем месте относятся доза вибрационной нагрузки, эквивалентная значениям контролируемых параметров или спектральный состав вибрационного воздействия (табл.4-7).

Таблица 4

Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора. Общая вибрация, категория 3, тип «а»

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Нормативные значения в направлениях Z_0, X_0, Y_0							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с ²		дБ		10 ⁻² м/с		дБ	
	1/3	1/1	1/3	1/1	1/3	1/1	1/3	1/1
1,6	0,09	0,14	99	103	0,9	1,3	105	108
2,0	0,08		98		0,64		102	
2,5	0,071		97		0,46		99	
3,15	0,063	0,1	96	100	0,32	0,45	96	99
4,0	0,056		95		0,23		93	
5,0	0,056		95		0,18		91	

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Нормативные значения в направлениях Z_0, X_0, Y_0							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с ²		дБ		10 ⁻² м/с		дБ	
	1/3	1/1	1/3	1/1	1/3	1/1	1/3	1/1
6,3	0,056	0,11	95	101	0,14	0,22	89	93
8,0	0,056		95		0,12		87	
10,0	0,071		97		0,12		87	
12,5	0,09	0,20	99	106	0,12	0,20	87	92
16,0	0,112		101		0,12		87	
20,0	0,140		103		0,12		87	
25,0	0,18	0,40	105	112	0,12	0,20	87	92
31,5	0,22		107		0,12		87	
40,0	0,285		109		0,12		87	
50,0	0,355	0,80	111	118	0,12	0,20	87	92
63,0	0,445		113		0,12		87	
80,0	0,56		115		0,12		87	

Примечание. 1/3 и 1/1 – в третьоктавных и октавных полосах частот.

Таблица 5

Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора. Общая вибрация, категория 3, тип «в»

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Нормативные значения в направлениях Z_0, X_0, Y_0							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с ²		дБ		10 ⁻² м/с		дБ	
	1/3	1/1	1/3	1/1	1/3	1/1	1/3	1/1
1,6	0,015	0,02	82	86	0,13	0,18	88	91
2,0	0,012		81		0,09		85	
2,5	0,01		80		0,063		82	
3,15	0,009	0,014	79	83	0,045	0,063	79	82
4,0	0,008		78		0,032		76	
5,0	0,008		78		0,025		74	

Окончание табл.5

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Нормативные значения в направлениях Z_0, X_0, Y_0							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с ²		дБ		10 ⁻² м/с		дБ	
	1/3	1/1	1/3	1/1	1/3	1/1	1/3	1/1
6,3	0,008	0,014	78	83	0,02	0,032	72	75
8,0	0,008		78		0,016		70	
10,0	0,01		80		0,016		70	
12,5	0,015	0,028	82	89	0,016	0,028	70	75
16,0	0,016		84		0,016		70	
20,0	0,02		86		0,016		70	
25,0	0,025	0,056	88	95	0,016	0,028	70	75
31,5	0,032		90		0,016		70	
40,0	0,04		92		0,016		70	
50,0	0,05	0,112	94	101	0,016	0,028	70	75
63,0	0,063		96		0,016		70	
80,0	0,08		98		0,016		70	

Таблица 6

Санитарные нормы спектральных показателей вибрационной нагрузки на оператора при локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Нормативные значения в направлениях Z_0, X_0, Y_0			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с ²	дБ	10 ⁻² м/с	дБ
8	1,4	73	2,8	115
16	1,4	73	1,4	109
31,5	2,7	79	1,4	109
63	5,4	85	1,4	109
125	10,7	91	1,4	109
250	21,3	97	1,4	109
500	42,5	103	1,4	109
1000	85,0	109	1,4	109

Таблица 7

**Санитарные нормы вибрационной нагрузки на оператора
при длительности смены 8 ч**

Вид вибрации	Категория ви- брации по сани- тарным нормам	Направление действия	Корректированные по частоте и экви- валентные (нормативные) значения			
			виброускорения		виброскорости	
			м/с ²	дБ	10 ⁻² м/с	дБ
Локальная	–	X _л , Y _л , Z _л	2,0	126	2,0	112
Общая	1	Z _о	0,56	115	1,1	107
		Y _о , X _о	0,4	112	3,2	116
	2	Z _о , Y _о , X _о	0,28	109	0,56	101
	3, тип «а»	Z _о , Y _о , X _о	0,1	100	0,2	92
	3, тип «в»	Z _о , Y _о , X _о	0,014	83	0,028	75

Корректированное по частоте значение контролируемого параметра \tilde{U} или уровень параметра $L_{\tilde{U}}$ (виброскорости или виброускорения) соответственно

$$\tilde{U} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (U_i K_i)^2};$$

$$L_{\tilde{U}} = 10 \lg \sum_1^n 10^{0,1(L_{\tilde{U}_i} + L_{K_i})},$$

где \tilde{U}_i и $L_{\tilde{U}_i}$ – среднее квадратическое значение контролируемого параметра вибрации и его уровень в i -й полосе соответственно; n – число частотных полос в нормируемом диапазоне; K_i и L_{K_i} – весовые коэффициенты для i -й частотной полосы и для среднего квадратического значения контролируемого параметра или его уровня, определяемого логарифмированием (табл.8 и 9).

Таблица 8

Весовые коэффициенты коррекции при общей вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Для виброускорения в направлениях				Для виброскорости в направлениях			
	Z_0		X_0, Y_0		Z_0		X_0, Y_0	
	K_i	L_{Ki}	K_i	L_{Ki}	K_i	L_{Ki}	K_i	L_{Ki}
2	0,71	-3	1,0	0	0,16	-16	0,9	-1
4	1,0	0	0,5	-6	0,45	-7	1,0	0
8	1,0	0	0,25	-12	0,9	-1	1,0	0
16	0,5	-6	0,125	-18	1,0	0	1,0	0
31,5	0,25	-12	0,063	-24	1,0	0	1,0	0
63,0	0,125	-18	0,0315	-30	1,0	0	1,0	0

Таблица 9

Весовые коэффициенты коррекции при локальной вибрации

Среднегеометрическая частота октавных полос, Гц	Для виброускорения		Для виброскорости	
	K_i	L_{Li}	K_i	L_{Li}
8,0	1,0	0	0,5	-6
16	1,0	0	1,0	0
31,5	0,5	-6	1,0	0
63	0,25	-12	1,0	0
125	0,125	-18	1,0	0
250	0,063	-24	1,0	0
500	0,0315	-30	1,0	0
1000	0,016	-36	1,0	0

Доза вибрации

$$D = \int_0^T \tilde{U}^m(t) dt,$$

где $\tilde{U}(t)$ – скорректированное по частоте значение контролируемого параметра в момент времени t , м/с^2 или м/с ; T – время воздействия вибрации, с; m – показатель эквивалентности физиологического воздействия вибрации, устанавливаемый санитарными нормами.

Эквивалентное корректированное значение

$$U_{\text{эжв}} = \sqrt{D/T},$$

Если нормирование вибрационной нагрузки на оператора осуществляется через спектр вибрации, то нормируемыми показателями являются средние квадратические значения виброускорения (виброскорости) или их логарифмические уровни в октавных и третьоктавных полосах частот.

Для локальной вибрации нормы вибрационной нагрузки на оператора (табл.6) обеспечивают отсутствие симптомов вибрационной болезни, что соответствует критерию безопасности. Для общей вибрации нормы вибрационной нагрузки на оператора (табл.4 и 5) установлены по категориям вибрации и соответствующим им критериям (табл.10).

Таблица 10

Категории вибрации по санитарным нормам и критерии их оценки

Категории вибрации	Критерии оценки	Характеристика условий труда
1	Безопасность	Транспортная вибрация, воздействующая на операторов подвижных самоходных и прицепных машин и транспортных средств при их движении по местности, агрозонам и дорогам, в том числе при их строительстве
2	Граница снижения производительности труда	Транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на операторов машин с ограниченной подвижностью, перемещающихся только по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок и горных выработок
3, тип «а»	То же	Технологическая вибрация, воздействующая на операторов стационарных машин и оборудования и передающаяся на рабочие места, не имеющие источников вибрации
3, тип «в»	Комфорт	Вибрация на рабочих местах работников умственного труда и персонала, не занимающегося физическим трудом

Критерий безопасности учитывает возможность нарушений здоровья оператора и возникновения травмоопасных или аварийных ситуаций. В первом случае он оценивается по объективным показателям (рisku возникновения профессиональной болезни или патологии) согласно медицинской классификации, во втором – по уровню соблюдения установленных мер безопасности.

Второй критерий требует поддержания нормативной производительности труда оператора, а третий – обеспечения условий труда, дающих оператору ощущение комфортности.

Воздействие вибрации на человека. При превышении на рабочих местах в производственных помещениях нормируемых уровней общей или локальной вибрации у работников со временем могут возникать профессиональные заболевания (вибрационная болезнь). Первоначально появляется боль в конечностях, переходящая в онемение, судороги в икроножных мышцах, что впоследствии приводит к тяжелым заболеваниям внутренних органов.

Неблагоприятное воздействие вибрации на организм человека оценивается в соответствии с принятыми гигиеническими, психофизиологическими, социальными и другими критериями.

Методы защиты от вибрации. Для обеспечения безопасности труда в условиях вибрации разработан комплекс мероприятий и средств защиты. Основными составляющими комплекса являются технические методы и средства борьбы с вибрацией в источнике и на путях ее распространения или непосредственно в местах контакта (передачи вибрации человеку), а также организационные мероприятия.

Технические методы и средства борьбы с вибрацией, главным образом, направлены на снижение ее интенсивности. Критерием эффективности принимаемых мер служит степень достижения нормированных значений параметров вибрации на рабочих местах.

По организационному признаку методы виброзащиты подразделяются на коллективные и индивидуальные.

Методы, снижающие передачу вибрации контактным путем, предусматривают использование дополнительных устройств (виброизоляция, динамическое виброгашение); изменение конструктив-

ных элементов машин и строительных сооружений; применение демпфирующих покрытий; антифазную синхронизацию двух или нескольких источников возбуждения вибраций.

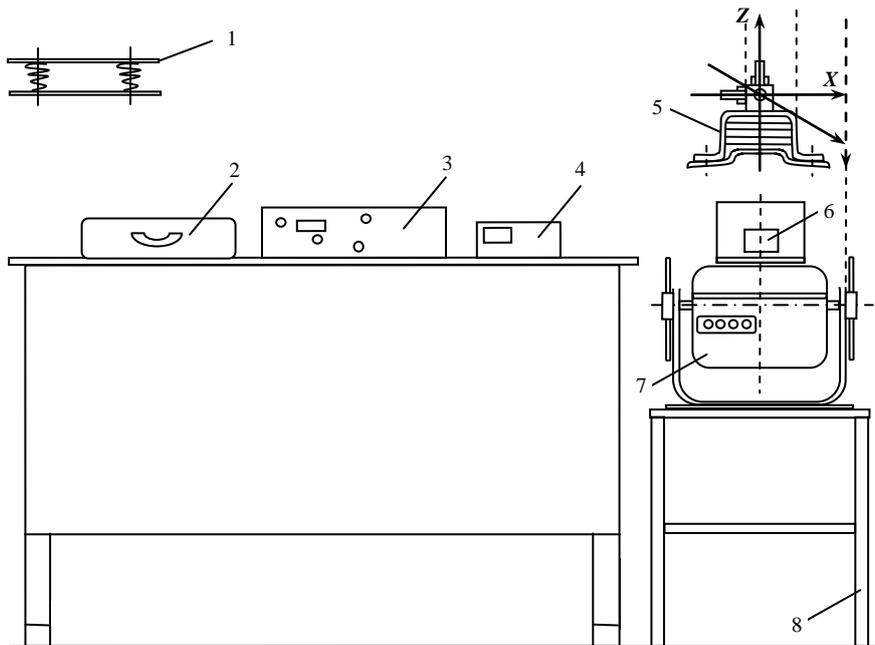
Контрольные вопросы

1. Как классифицируется воздействие вибрации на человека?
2. Какие показатели вибрационной нагрузки Вы знаете?
3. Какие показатели вибрационной нагрузки нормируются?
4. Перечислите категории вибрации по санитарным нормам и критерии их оценки.
5. Назовите признаки вибрационной болезни.
6. Какие технические методы и средства борьбы с вибрацией Вы знаете?
7. Что такое время действия вибрации и как оно определяется?
8. Каков нормируемый диапазон гасителя для локальной вибрации?
9. Каков нормируемый диапазон гасителя для общей вибрации?
10. Какому критерию соответствуют нормы вибрационной нагрузки?
11. Что означает критерий безопасности?
12. Что служит показателем превышения вибрационной нагрузки?
13. Какие организационные методы виброзащиты Вы знаете и как они классифицируются?

Работа 3. Измерение параметров вибрации и оценка эффективности виброзащиты

Цель работы – закрепить теоретические знания о физической природе и характере промышленных источников вибрации, параметрах вибрации и нормативах, а также приобрести навыки оценки эффективности виброзащиты.

Задание – измерить виброускорение и виброскорость источника вибрации в режимах общей и локальной вибрации при отсут-



ствии и при наличии виброзащиты и оценить эффективность различных видов виброзащиты.

Лабораторный стенд изображен на **рис.7**. Вибростенд 7, снабженный электромагнитной системой возбуждения вибраций, установлен на подставке 8 и соединен с генератором низкочастотных сигналов 3. Объект виброизоляции 5 и сменный виброзащитный модуль 1 крепятся на вибростоле 6. Регистрация параметров вибраций производится вибродатчиком ДН-4, закрепляемым на объекте 5 с ориентацией по направлению соответствующей оси (X , Y , Z). Величина виброскорости или виброускорения определяется по показаниям прибора 4 (ВШВ-003-М2). Для хранения объекта звукоизоляции, модулей, датчика и кабелей предназначен ящик 2.

На лицевую панель прибора ВШВ-003-М2 выведены следующие органы управления, регулирования и индикации (**рис.8**):

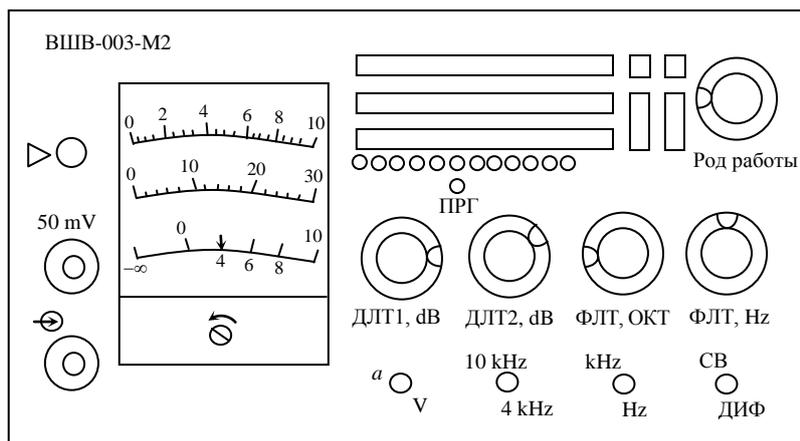


Рис.8. Лицевая панель измерителя шума и вибрации ВШВ-003-М2

- переключатель «Род работы» с положениями «0» для включения измерителя, «—||—» для контроля состояния батарей, «▷» для включения измерителя в режим калибровки; «F», «S» и «10S» для включения измерителя в режим измерения с постоянной времени (соответственно быстро, медленно и в течение 10 с);
- переключатели ДЛТ1, dB и ДЛТ2, dB, а также единичные индикаторы (20, 30, ..., 130 dB; $3 \cdot 10^{-3}$, 0,01 ... 10^{-3} mS^{-2} и 0,03; $0,1 \dots 10^4 \text{ mmS}^{-1}$), предназначенные для выбора пределов измерений звукового давления, виброускорения и виброскорости соответственно;
- индикатор ПРГ для индикации перегрузки измерительного тракта;
- кнопка *a-V* для включения измерителя в режим измерения виброскорости;
- переключатель ФЛТ, Hz с положениями «1» и «10» для включения фильтра высоких частот ФВЧ (1 и 10 Гц соответственно), ограничивающего частотный диапазон при измерении виброускорения и виброскорости; «ЛИН» для включения фильтра низких частот ФНЧ (20 кГц) при измерении уровня звукового давления; «А», «В» и «С» для включения корректирующих фильтров А, В и С соответ-

ственно; «ОКТ» для включения измерителя в режим частотного анализа в октавных полосах;

- переключатель ФЛТ, ОКТ с кнопкой «kHz-Hz» для включения одного из 14 октавных фильтров со среднегеометрическими значениями частот от 1 Гц до 8 кГц;

- кнопка «10 kHz – 4 kHz» для включения ФНЧ, ограничивающего частотный диапазон при измерении виброускорения и виброскорости;

- кнопка СВ-ДИФ для измерений в режиме свободного или отраженного диффузного поля;

- гнезда «50 mV» (выход калибровочного генератора) и «⊖» для подсоединения предусилителя ВПМ-101.

При работе прибора с преобразователем ДН-4 результат измерения следует умножить на 10.

Требования техники безопасности следующие:

1. К работе со стендом допускаются лица, ознакомленные с его устройством, принципом действия и подготовившиеся к работе.

2. При смене виброизолирующих модулей на вибростоле или при изменении положения вибростенда относительно основания следует выключить генератор низкочастотных сигналов.

3. При эксплуатации и ремонте генератора и измерителя возможна опасность поражения электрическим током напряжением 220 В. Поэтому при работе с генератором и измерителем необходимо соблюдать следующие правила:

- заземлить корпус генератора и измерителя с помощью клемм защитного заземления;

- проверить исправность плавких предохранителей в приборах;

- не работать с генератором и измерителем при снятых крышках;

- не производить доработки монтажа и другие работы в генераторе и измерителе под напряжением;

- при ремонте и регулировании приборов использовать ручной инструмент с рукоятками из диэлектриков.

4. При выполнении ремонтно-наладочных работ и эксплуатации стенда необходимо соблюдать общие правила и требования электробезопасности (ПУЭ, ПЭЭП и ПТБ ЭЭП [5]).

Порядок проведения работы следующий:

1. Закрепить объект виброизоляции на вибростоле.
2. Установить вибродатчик ДН-4 на объекте виброизоляции вертикально, в направлении оси Z.
3. Подготовить измеритель к работе:
 - а) подключить измеритель к сети 220 В;
 - б) обеспечить его горизонтальное положение и установить стрелку измерителя на отметку «0» шкалы «0...10» с помощью механического корректора нуля. Установить переключатель «Род работы» в положение «←|→», переключатели ДЛТ1, dВ и ДЛТ2, dВ в положения соответственно «80» и «50»;
 - в) зафиксировать показание измерителя в пределах сектора, указанного на нижней шкале.
4. Провести калибровку измерителя (калибровку измерителя необходимо производить каждый раз перед началом измерений):
 - а) подсоединить эквивалент вибропреобразователя к предусилителю ВПМ-101, который необходимо подключить к гнезду «-⊖» измерителя;
 - б) гнездо «50 mV» измерителя соединить кабелем 5Ф6.644.368 с эквивалентом вибропреобразователя;
 - в) переключатель измерителя «Род работы» установить в положение «▷»;
 - г) резистором «▷» установить стрелку измерителя на отметку «5,2» шкалы «0...10», учитывая действительное значение коэффициента преобразования вибропреобразователя. Выключить измеритель, для чего переключатель «Род работы» установить в положение «0».
 - д) отсоединить кабель 5Ф6.644.368 и подсоединить датчик ДН-4 к эквиваленту вибропреобразователя с помощью кабеля 5Ф6.644.333.
5. Подключить генератор (рис.9) к сети 220 В. Соединить выход генератора со входом нагрузки, включить тумблер «Сеть». Время прогрева генератора 10 мин.
6. Установить с помощью переключателя «Множитель» диапазон «×1» и ручкой плавного регулирования «Частота» частоту возбуждения 2 Гц, контролируя значение по индикатору. Значение

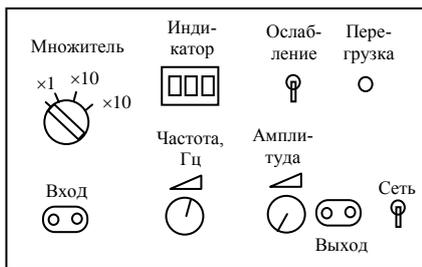


Рис.9. Лицевая панель генератора ГНС

амплитуды вибрации, устанавливаемое с помощью генератора, задается преподавателем.

При возникновении перегрузки на лицевой панели генератора загорается светодиод «Перегрузка». В этом случае необходимо отключить сетевое питание. Повторное включение прибора возможно после того, как светодиод погаснет.

7. Произвести измерение виброускорения объекта виброизоляции в направлении Z в режиме общей или локальной вибрации по стандартным среднегеометрическим значениям октавных частот.

Измерение виброускорения производится в следующей последовательности:

а) переключатели ДЛТ1, dB-80 и ДЛТ2, dB-50 установить соответственно в положения «80» и «50». Все кнопки должны быть отжаты, на табло индикатора должно быть показание «130 dB»;

б) в зависимости от частотного диапазона измерения переключатель ФЛТ, Hz установить в положение «1» (для измерения общей вибрации) или «10» (для измерения локальной);

в) переключатель «Род работы» установить в положения «F» или «10S», так как при измерениях низкочастотных составляющих могут возникнуть флуктуации (колебания) стрелки измерителя. В этом случае следует перевести переключатель «Род работы» из положения «F» в положение «S»;

г) произвести измерения, изменяя при необходимости положения переключателей ДЛТ1, dB и ДЛТ2, dB.

Если при измерении стрелка измерителя находится в начале шкалы, то следует вывести ее правее цифры 4 (на верхней шкале) или цифры 10 (на средней) сначала переключателем ДЛТ1, dB. Если периодически загорается индикатор ПРГ, то необходимо переключить ДЛТ1, dB на более высокий уровень (влево), пока не погаснет индикатор ПРГ, а затем использовать аналогично переключатель ДЛТ2, dB.

Таблица 11

Результаты измерений и расчетов

Место измерения, источник вибрации, модуль виброзащиты	Характер вибрации	Координата измерения	Показатель	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц										U*, м/с		
				2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000			
		Z	a, м/с ² a _{3s} , м/с ² Э, %													
		X	a, м/с ² a _{3s} , м/с ² Э, %													
		Y	a, м/с ² a _{3s} , м/с ² Э, %													

* Корректировочное по частоте значение.

Произвести отсчет показаний измерителя в метрах на секунду в квадрате. Напомним, что при работе с вибропреобразователем ДН-4 показания необходимо умножать на 10.

Результаты измерений занести в табл. 11.

8. Установить датчик ДН-4 на объекте исследования последовательно в направлении X и Y , подключить к измерителю и провести измерения виброускорения в направлении осей X и Y .

9. Выключить генератор. Снять объект виброизоляции со стола. Присоединить к нему виброзащитный модуль и в сборе установить его на вибростол. Включить генератор.

10. Закрепить вибродатчик ДН-4 на объекте виброизоляции вертикально в направлении оси Z . Провести измерения виброускорения объекта виброизоляции, защищенного модулем, в режиме общей и локальной вибрации во всех октавных полосах частот, изменяя частоту вибрации с помощью переключателя «Множитель» и ручки плавного регулирования «Частота». Для этого переключатель ФЛК, Hz установить в положение «ОКТ», переключателем ФЛТ, ОКТ и кнопкой КHz, Hz включить необходимый октавный фильтр. При измерении общей вибрации (частоты 2; 4; 8; 16; 31,5 и 63 Гц) и локальной вибрации (частоты 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500 и 1000 Гц) в диапазоне от 2 Гц до 500 Гц кнопка КHz, Hz должна быть нажата, а начиная с 1000 Гц, отжата. Повторить операции п. 7.

11. Переставить датчик ДН-4 в направлении X , предварительно отсоединив кабель 5Ф6.644.333 от датчика, и произвести измерения виброускорения в направлении оси X . Выполнить аналогичные измерения в направлении оси Y .

12. Измерить виброскорость, нажав кнопку $a-V$ и повторить операции, как при измерении виброускорения, записывая результаты в метрах в секунду.

13. Отключить генератор и измеритель. Объект виброизоляции, модули, датчик и кабели уложить в ящик 2 (см. рис. 7).

14. По результатам измерений оценить эффективность виброзащиты Θ (в процентах) для каждой октавной полосы частот:

$$\Theta = \frac{a - a_3}{a} 100,$$

где a – среднее квадратическое значение виброускорения до применения виброзащиты, м/с^2 ; a_3 – среднее квадратическое значение виброускорения после применения виброзащиты, м/с^2 .

Результаты расчетов занести в табл.11.

4. ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ЕГО ПАРАМЕТРЫ

Тепловой обмен. Лучистый теплообмен представляет собой процесс преобразования внутренней энергии среды (тела) в энергию излучения электромагнитных волн, отличающихся длиной волны. Например, длина волн ультрафиолетового диапазона излучения 0,02-0,4 мкм, видимого излучения 0,4-0,76 мкм, а инфракрасного более 0,76 мкм. Видимое и инфракрасное излучение называют тепловым, или лучистым.

Воздух для теплового излучения прозрачен (диатермичен), поэтому при передаче тепла излучением температура воздушной среды не повышается. Поглощение лучистой энергии телами сопровождается их нагреванием, в результате которого они становятся излучателями тепла. Поверхностная плотность теплового потока (интенсивность излучения)

$$Q = \frac{0,78F \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - 110 \right]}{l^2}$$

где 0,78 – размерный коэффициент, Вт/м^2 ; F – площадь излучающей поверхности, м^2 ; T – температура излучающей поверхности, К; l – расстояние от излучающей поверхности до объекта, м.

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

Тепловой обмен организма человека с окружающей средой заключается, в частности, во взаимосвязи образования тепла (термогенеза) в результате жизнедеятельности организма и отдачи этого

тепла во внешнюю среду. Отдача тепла осуществляется, в основном, тремя способами: конвекцией, излучением и испарением.

Теплопередача в окружающую среду энергии инфракрасным излучением (ИК-излучением) является наиболее мощным путем отдачи тепла и составляет в комфортных метеоусловиях в состоянии покоя 44-59 % общей теплоотдачи. Излучение тела человека находится в диапазоне волн длиной от 5 до 25 мкм с максимальной энергией, приходящейся на волны длиной 9,4 мкм.

Воздействие инфракрасного излучения. Такое воздействие зависит от мощности и приводит к перегреву организма тем быстрее, чем выше температура и влажность воздуха в рабочем помещении, чем больше интенсивность выполняемой работы.

С точки зрения влияния на биологические структуры, важной особенностью ИК-излучения является его способность проникать на разную глубину в живую ткань. Лучи длинноволнового диапазона (от 3,0 мкм до 1 мм) действуют на поверхностные слои кожи (0,1-0,2 мм). Поэтому их физиологический эффект проявляется, главным образом, в повышении температуры кожного покрова и перегреве организма.

Лучи с длиной волны 0,78-1,4 мкм (коротковолновый диапазон) легко проникают в ткани человеческого организма на несколько сантиметров и воздействуют не только через кожу, но и кости черепа, что может привести к тяжелым поражениям тканей головного мозга и развитию теплового удара, внешне выражающегося в головной боли, головокружении, учащении пульса, ускорении дыхания, падении сердечной деятельности, потере сознания. При облучении глубокопроникающими коротковолновыми ИК-лучами наблюдается повышение температуры легких, почек, мышц и других органов. В крови, лимфе, спинно-мозговой жидкости появляются специфические биологически активные вещества, наблюдаются нарушения обменных процессов, изменяется функциональное состояние центральной нервной системы.

Нормирование теплового облучения. Интенсивность теплового облучения человека регламентируется, исходя из субъективного ощущения человеком энергии облучения. Человек может неопределенно долго выдерживать облучение интенсивностью до

350 Вт/м², Эта величина считается верхним пределом облучения. При более высоких значениях должно осуществляться воздушное душирование рабочих мест.

Нормативы ограничивают также температуру нагретых поверхностей оборудования: не более 45 °С в рабочей зоне и не более 35 °С, если оборудование имеет внутренний нагрев до 100 °С.

Защита работающих от угрозы перегрева. В производственных условиях предусматриваются дистанционное управление ходом технологического процесса, использование защитных экранов, воздушного и водовоздушного душирования рабочих мест, применение средств индивидуальной защиты (спецодежды, спецобуви), устройство специально оборудованных кондиционированных комнат и кабин.

Одним из наиболее распространенных способов борьбы с тепловым излучением является экранирование излучающих поверхностей. Различают экраны трех типов: непрозрачные, прозрачные и полупрозрачные.

В непрозрачных экранах лучистая энергия взаимодействует с материалом защиты, преобразуясь в тепловую. Нагрев экрана приводит к излучению им электромагнитных волн, при этом регистрируемое в помещении, у внешней поверхности экрана, излучение условно рассматривается как пропущенное. К непрозрачным экранам относятся, например, металлические (в том числе алюминиевые), альфолевые (алюминиевая фольга), футерованные (пенобетон, пеностекло, керамзит, пемза), асбестовые и др.

В прозрачных экранах излучение минует стадию превращения в тепловую энергию и распространяется внутри экрана по законам геометрической оптики. Так ведут себя экраны, выполненные из различных стекол: силикатного, кварцевого, органического, металлизированного, а также пленочные водяные (свободные и стекающие по стеклу) и вододисперсные завесы.

Полупрозрачные экраны: металлические сетки, цепные завесы, экраны из стекла, армированного металлической сеткой, – объединяют в себе свойства прозрачных и непрозрачных экранов.

По принципу действия экраны подразделяются на теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие. Это деление до-

статочно условно, так как каждый экран обладает одновременно способностью отражать, поглощать и отводить тепло. Отнесение экрана к той или иной группе производится в зависимости от того, какая способность выражена более сильно.

Теплоотражающие экраны имеют низкую степень черноты поверхностей, вследствие чего они отражают значительную часть падающего на них потока лучистой энергии. В качестве теплоотражающих материалов в конструкции экранов широко используют альфоль, листовую алюминий, оцинкованную сталь, алюминиевую краску.

Теплопоглощающие материалы характеризуются высоким термическим сопротивлением (малым коэффициентом теплопроводности). В качестве теплопоглощающих материалов применяют огнеупорный и теплоизоляционный кирпич, асбест, шлаковату.

В качестве теплоотводящих экранов наиболее широко распространены водяные завесы, свободно падающие в виде пленки и орошающие другую экранирующую поверхность (например, металлическую), либо заключенные в специальный кожух из стекла (аквариальные экраны), металла (змеевики) и т.д.

Оценить эффективность защиты от теплового излучения (в процентах) с помощью экранов и водяных завес можно по формуле

$$n = \frac{Q - Q_3}{Q} 100, \quad (7)$$

где Q и Q_3 – интенсивность теплового излучения без применения защиты и при наличии защиты, Вт/м².

Контрольные вопросы

1. Какие факторы определяют количество лучистого тепла, поглощаемого телом человека?
2. Какими способами осуществляется теплообмен человека с окружающей средой?
3. При каких условиях возможен отвод тепла от организма человека и при каких условиях возможен перегрев организма?

4. При какой длине волны инфракрасного излучения возможно возникновение теплового удара и каковы его симптомы?

5. Какие способы защиты человека от теплового облучения Вы знаете?

6. Какие типы экранов Вы знаете и каков принцип их действия?

7. Как определить эффективность защиты от теплового излучения?

8. Какой вид теплоотдачи является преобладающим у человека, находящегося в комфортных условиях?

Работа 4. Измерение параметров теплового излучения и оценка эффективности защиты

Цель работы – приобретение навыков измерения параметров теплового излучения и изучение методов защиты.

Задание – определить интенсивность тепловых излучений в зависимости от различных параметров и оценить эффективность защиты водяной завесой и экранированием.

Лабораторный стенд смонтирован на столе 1, выполненном в виде металлического сварного каркаса, на котором установлена столешница 2 и устройство 9 для создания водяной завесы (рис. 10). Под столешницей размещена замкнутая гидросистема 14 и ящик 18 для хранения комплекта сменных элементов. Ящик и гидросистема закрыты стенками и дверцами.

На столешнице закреплены направляющие 6 линейного перемещения, пульт управления 12, линейка 3 и установлен имитатор 10 источника теплового излучения.

На направляющих 6 установлены две каретки 5. На одной из них закреплен датчик 4 измерителя теплового излучения 7, другая служит для размещения защитных экранов 8.

Устройство 9 для создания водяной завесы представляет собой металлическую трубу с заглушкой на одном конце и системой отверстий, просверленных по прямой линии вдоль трубы, для выпуска воды. Непосредственно под устройством расположен бак 13 для приема воды. Имитатор 10 источника теплового излучения име-

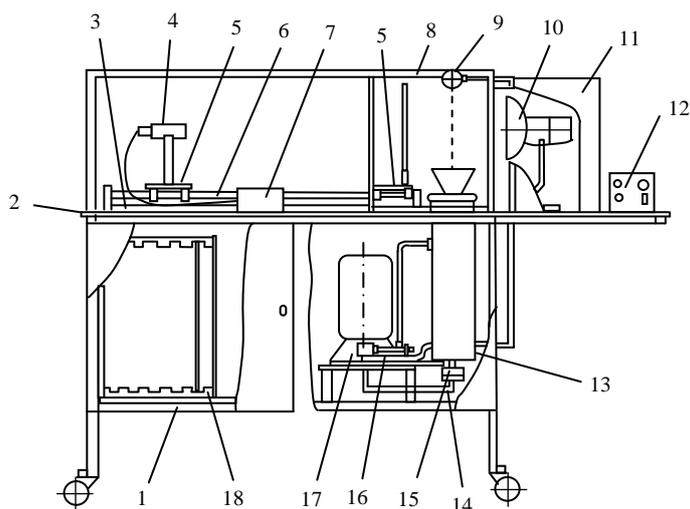


Рис.10. Лабораторный стенд

ет защитный кожух 11. Замкнутая гидросистема 14, питающая устройство 9 для создания водяной завесы, состоит из водяного насоса 17, предохранительного клапана 16, бака 13 для приема воды, сетчатого фильтра 15.

Все элементы гидросистемы и устройство для создания водяной завесы соединяются между собой гибкими шлангами. Бак 13 имеет штуцер для слива воды. Клапан 16 предназначен для регулирования водяного напора в устройстве 9.

Ящик 18 имеет направляющие для установки сменных экранов.

Требования техники безопасности следующие:

1. К работе со стендом допускаются лица, ознакомленные с его устройством и принципом действия.

2. Запрещается снимать защитный экран, которым закрыт источник теплового излучения. Подключение приборов и работа на стенде проводится сухими руками.

3. Включение установки, водяного насоса и имитатора источника теплового излучения в сеть переменного тока напряжением 220 В осуществляется с помощью специального переходного удлинителя.

Порядок проведения работы следующий:

1. Подключить стенд к сети переменного тока, включить источник и измеритель теплового излучения.
2. Переносную часть измерителя с помощью каретки поместить на нескольких различных расстояниях от источника теплового излучения и определить интенсивность теплового излучения для каждого из этих расстояний. Данные измерений занести в табл.12. Построить график зависимости интенсивности теплового излучения от расстояния.

Таблица 12

Условия измерений	Расстояние l , м			

Без экрана				
С водяной завесой				
Экран 1				
...				

3. Включить устройство для создания водяной завесы. Определить интенсивность теплового излучения на тех же расстояниях, что и в п.2. Оценить эффективность водяной завесы как защиты от теплового излучения по формуле (7). Построить график зависимости интенсивности теплового излучения от расстояния при водяной завесе.

4. Установить с помощью каретки различные защитные экраны и определить интенсивность теплового излучения на заданных расстояниях, согласно п.2. Оценить эффективность защитного действия экранов по формуле (7). Построить графики зависимости интенсивности теплового излучения от расстояния для испытанных защитных экранов. Данные измерений занести в табл.12.

5. Сравнить эффективность защитного действия водяной завесы и экранов.

5. СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ЕГО ПАРАМЕТРЫ

Электромагнитные поля (ЭМП) генерируются переменными токами. Спектр электромагнитных колебаний охватывает широкие диапазоны длин волн λ (от 1000 км до менее 0,001 мкм) и частот f (от $3 \cdot 10^2$ до $3 \cdot 10^{20}$ Гц), включая радиоволны, оптические и ионизирующие излучения. В настоящее время наиболее широкое применение в различных отраслях хозяйства находит электромагнитная энергия неионизирующих излучений, прежде всего, полей радиочастот. Они подразделяются по длине волны и частоте на ряд диапазонов (табл.13).

Таблица 13

Классификация волн и частот

Название диапазона	Длина волны	Диапазон частот	Частота	По международному регламенту	
				Название диапазона	Номер
Длинные (километровые) волны (ДВ)	10-1 км	Высокие частоты (ВЧ)	От 3 до 300 КГц	Низкие (НЧ)	5
Средние (гектометровые) волны	1 км-100 м	То же	От 0,3 до 3 МГц	Средние (СЧ)	6
Короткие (декаметровые) волны (КВ)	100-10 м	– « –	От 3 до 30 МГц	Высокие (ВЧ)	7
Ультракороткие (метровые) волны (УКВ)	10-1 м	Ультравысокие (УВЧ)	От 30 до 300 МГц	Очень высокие (ОВЧ)	8
Микроволны:					
дециметровые	1 м-10 см	Сверхвысокие (СВЧ)	От 0,3 до 3 ГГц	Ультравысокие частоты (УВЧ)	
сантиметровые	10 см-1 см	То же	От 3 до 30 ГГц	Сверхвысокие частоты (СВЧ)	9
миллиметровые	1 см-1 мм	– « –	От 30 до 300 ГГц	Крайневысокие (КВЧ)	10

ЭМП образуется (слагывается) из электрического поля, обусловленного напряжением на токоведущих частях электроустановок, и магнитного поля, возникающего при прохождении тока по этим частям. Электромагнитные волны распространяются на большие расстояния.

В промышленности источниками ЭМП являются электрические установки, работающие на переменном токе частотой от 10 до 10^6 Гц, приборы автоматики, электрические установки с промышленной частотой 50-60 Гц, установки высокочастотного нагрева (сушка древесины, склеивание диэлектриков, нагрев пластмасс и др.). Значения предельно допустимых на рабочих местах напряженностей ЭМП радиочастот в диапазоне 0,06-300 МГц следующие:

Составляющая поля	Электрическая				Магнитная	
	0,06-3	3-30	30-50	50-300	0,06-1,5	30-50
Составляющая ЭМП, по которой оценивается его воздействие в диапазонах частот, МГц						
Предельно допустимая напряженность ЭМП на рабочем месте в течение 8-часовой смены, В/м	50	20	10	5,0	5,0 А/м	0,3 А/м

ЭМП характеризуется совокупностью переменных векторов напряженности электрической и магнитной составляющих. Предельно допустимые уровни (ПДУ) согласно ГОСТу и санитарным нормам составляют 20 В/м по электрической составляющей и не более 5 А/м по магнитной составляющей. Различные диапазоны радиоволн объединяет общая физическая природа, однако они существенно различаются по энергии, характеру распространения, процессам поглощения и отражения, а вследствие этого – по воздействию на среду и человека. Чем короче длина волны и выше частота колебаний, тем большей энергией обладает электромагнитное поле. Энергия Y и частота f колебаний связаны соотношениями

$$Y = hf$$

или

$$Y = hc/\lambda,$$

поскольку частота f зависит от длины волны λ :

$$f = c/\lambda.$$

Здесь c – скорость распространения электромагнитной волны в воздухе, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; h – постоянная Планка, $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

Вокруг любого источника электромагнитного излучения выделяют три зоны: ближнюю (зону индукции), промежуточную (зону интерференции) и дальнюю (волновую зону). Если геометрические размеры источника излучения меньше длины излучаемой волны, т.е. источник является точечным, границы ближней, промежуточной и дальней зон определяются следующими расстояниями R соответственно:

$$R < \frac{\lambda}{2\pi}; \quad \frac{\lambda}{2\pi} < R < 2\pi\lambda; \quad R > 2\pi\lambda.$$

Люди, работающие с источниками излучения НЧ, СЧ и, в известной степени, ВЧ и ОВЧ, находятся в зоне индукции. При эксплуатации генераторов СВЧ- и КВЧ-диапазонов работающие часто оказываются в волновой зоне.

Интенсивность поля волновой зоны оценивается величиной плотности потока энергии (ППЭ), т.е. количеством энергии, падающей на единицу поверхности. В этом случае поток энергии (ПЭ) выражается в ваттах на квадратный метр или в производных единицах: милливаттах и микроваттах на квадратный сантиметр. Параметры ЭМП по мере удаления от источника излучения снижаются. Электромагнитные волны диапазона УВЧ, СВЧ и КВЧ (микроволны) используются в радиолокации, радиоастрономии, радиоспектроскопии, геодезии, дефектоскопии, физиотерапии. Иногда ЭМП УВЧ-диапазона применяются для вулканизации резины, термической обработки пищевых продуктов, стерилизации, пастеризации, вторичного разогрева пищевых продуктов. СВЧ-аппараты нашли распространение также в микроволновой терапии.

Наиболее опасны для человека ЭМП высокой и сверхвысокой частот. Критерием оценки степени воздействия на человека ЭМП может служить количество электромагнитной энергии, поглощаемой живыми тканями, которое зависит от интенсивности ЭМП, времени пребывания в нем и проводимости тканей организма.

Изменения в тканевых структурах вызывает только та часть энергии излучения, которая поглощается, а не отражается или проходит через них. Электромагнитные волны поглощаются тканями лишь частично, и биологический эффект зависит от физических параметров ЭМП: от длины волны, частоты колебаний, интенсивности и режима излучения (непрерывный, прерывистый, импульсно-модулированный), продолжительности и характера облучения организма (постоянное, интермиттирующее), а также от площади облучаемой поверхности и анатомического строения облучаемого органа или ткани.

Степень поглощения энергии тканями зависит от их способности к отражению падающей волны, от химического состава клеток и содержания в них воды. Колебания дипольных молекул воды и ионов, содержащихся в тканях, приводят к преобразованию электромагнитной энергии внешнего поля в тепловую, что сопровождается повышением температуры тела или локальным избирательным нагревом его участков, органов, особенно обладающих плохой терморегуляцией (хрусталик глаза, стекловидное тело, семенники и т.д.). Пороговые интенсивности теплового действия ЭМП на организм животного составляют для диапазона средних частот 8000 Вт/м^2 , высоких 2250 Вт/м^2 , очень высоких 150 Вт/м^2 , для дециметровых волн 40 мВт/см^2 , сантиметровых 10 мВт/см^2 , миллиметровых 7 мВт/см^2 .

ЭМП интенсивностью ниже указанных величин не обладает термическим действием на организм, но вызывает слабовыраженные эффекты аналогичной направленности, что, согласно ряду теорий, считается специфическим нетепловым действием, т.е. переходом электромагнитной энергии в объекте в другую форму нетепловой энергии. Нарушение гормонального равновесия в условиях СВЧ-фона следует рассматривать, как противопоказание к профессиональной деятельности.

Постоянные изменения в крови: фазовые изменения лейкоцитов, эритроцитов и гемоглобина – наблюдаются при ППЭ выше

1 мВт/см². Поражение глаз в виде помутнения хрусталика (катаракты) также может быть последствием воздействия ЭМП в условиях производства. При действии миллиметровых волн изменения наступают немедленно, но быстро проходят, а при частоте 35 ГГц они становятся стойкими, так как являются результатом повреждения эпителия роговицы. При частотах около 400 кГц повреждений практически не наблюдается. Клинико-эпидемиологические исследования людей, подвергшихся производственному воздействию СВЧ-облучения при интенсивности ниже 10 мВт/см², показали отсутствие каких-либо симптомов катаракты.

Воздействие ЭМП с уровнями, превышающими допустимые, приводят к изменениям функционального состояния сердечно-сосудистой и центральной нервной систем, нарушению обменных процессов. Под воздействием СВЧ значительной интенсивности возможно помутнение хрусталика глаза, нередко также изменения в составе крови периферической кровеносной системы.

Защитные меры от действия ЭМП сводятся, в основном, к переходу на дистанционное управление устройствами, излучающими электромагнитные волны, применению защитного экранирования и средств индивидуальной защиты.

Защитные экраны подразделяют на отражающие и поглощающие. К первому типу относят сплошные металлические экраны, экраны из металлической сетки, из металлизированной ткани, ко второму – экраны из радиопоглощающих материалов. Средствами индивидуальной защиты (СИЗ) являются спецодежда, выполненная из металлизированной ткани, защитные очки, халаты, фартуки, накидки с капюшоном, перчатки, щитки и т.п.

Контрольные вопросы

1. Назовите источники генерации электромагнитных полей и составляющие последних.
2. Какие виды радиоволн Вы знаете?
3. От каких факторов зависит количество энергии, передаваемой при помощи радиоволн?

4. В каком случае источник радиоволн называют точечным?
5. Какие зоны образуются вокруг любого излучателя электромагнитных излучений?
6. Как оценивается интенсивность электромагнитного поля и в каких единицах она измеряется?
7. Как определить количество энергии, поглощенной веществом?
8. Какие вещества не поглощают излучаемую энергию?
9. От каких свойств материала зависит количество поглощенной энергии?
10. При каких значениях плотности потока энергии наблюдаются постоянные изменения в крови и в чем они выражаются?
11. К каким изменениям в организме человека приводит воздействие электромагнитных полей с уровнем, превышающим допустимый?
12. Какие защитные меры от воздействия электромагнитных полей и виды защитных устройств Вы знаете?

Работа 5. Измерение интенсивности сверхвысокочастотного излучения и оценка способов защиты

Цель работы – приобретение навыков работы с измерительными приборами, изучение зависимости интенсивности электромагнитного излучения от расстояния от источника излучения и методов и эффективности защиты.

Задание – измерить интенсивность электромагнитного излучения СВЧ-диапазона в зависимости от различных параметров и оценить эффективность защиты от СВЧ-излучения с помощью экранирования.

Лабораторная установка представляет собой передвижной стол, выполненный в виде металлического сварного каркаса 7, на котором установлена столешница 2 (рис.11). На столешнице размещены микроволновая СВЧ-печь 6 марки «Daewoo», координатное устройство 5 с датчиком 4 и микроамперметром 3. Последний служит для регистрации наличия СВЧ-излучения и соединен с датчи-

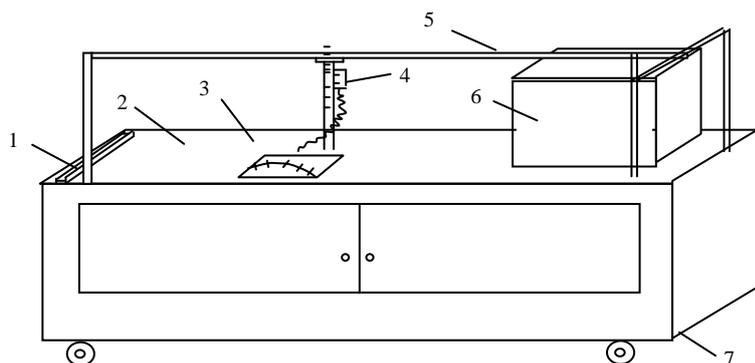


Рис.11. Общий вид лабораторной установки «Защита от СВЧ- излучений»

ком координатного устройства, которое обеспечивает четыре степени свободы и позволяет фиксировать наличие излучения перед печью, слева и справа от нее. Все элементы координатного устройства выполнены из органического стекла для исключения искажения сигнала. Датчик состоит из фторопластового корпуса, полуволнового вибратора и выпрямительного СВЧ-диода. Сигнал от датчика поступает на микроамперметр, закрепленный на съемной панели, которая устанавливается в центре стола, заподлицо с поверхностью столешницы. В качестве нагрузки в печи используется строительный красный кирпич марки М-150, устанавливаемый на неподвижную подставку, например, столовую фаянсовую тарелку. На столешнице имеются пазы 1 для размещения сменных защитных экранов.

В работе изучаются экранирующие свойства следующих материалов:

- полумпаковой сетки с диаметром ячеек 2,5 мм;
- алюминиевого листа;
- асбестоцементной плиты;
- органического стекла;
- армированной резины;
- резинового коврика.

Стенд предназначен для эксплуатации в помещении при температуре от +10 до +35 °С и относительной влажности воздуха до 80 %. Технические характеристики стенда следующие:

Величина перемещения датчика координатного устройства относительно СВЧ-печи по осям, мм:	
X	От +200 до –400
Y	±320
Z	От +120 до –200
Количество сменных защитных экранов	6
Размеры сменных защитных экранов, мм, не более	350 × 600
Мощность СВЧ печи, Вт, не более	800
Габаритные размеры стенда, мм, не более:	
Длина	1000
Ширина	750
Высота	1200
Масса печи, кг, не более	18
Потребляемая мощность при номинальном напряжении, Вт, не более	1200
Электропитание:	
Напряжение сети переменного тока, В	220 ± 22
Частота, Гц	50 ± 0,4
Режим работы печи:	
Продолжительность работы, мин	8
Перерыв, мин	10
Уровень мощности, %	100

Требования техники безопасности следующие:

1. К работе со стендом допускаются лица, прошедшие первичный инструктаж, ознакомленные с устройством стенда и порядком выполнения лабораторной работы.
2. Не следует работать с открытой дверцей СВЧ-печи во избежание излучения микроволновой энергии наружу.
3. Запрещается самостоятельно регулировать или ремонтировать дверцу, панель управления, выключатели системы блокировки или какие-либо другие части печи. Ремонт производится только специалистами.

4. СВЧ-печь должна быть заземлена.

5. Не допускается включение и работа СВЧ-печи без нагрузки. В перерывах между рабочими циклами рекомендуется оставлять в печи стакан с водой для поглощения микроволновой энергии при случайном включении установки.

Порядок проведения работы следующий:

1. Подключить СВЧ-печь к сети переменного тока. В печь на подставку (перевернутую фаянсовую тарелку) положить кирпич. Закрыть дверцу печи. Установить режим работы печи. Чтобы включить печь в рабочий режим, следует закрыть дверцы и установить время работы (задается преподавателем).

2. Разместить датчик в непосредственной близости от печи по оси X . Перемещая датчик по осям Y и Z в пределах возможных перемещений датчика координатного устройства, найти зоны наиболее интенсивного излучения и с помощью микроамперметра зафиксировать интенсивность излучения.

3. Данные замеров записать по форме:

Расстояние от СВЧ-печи, мм
Интенсивность излучения (показания микроамперметра), мкА

Построить график зависимости излучения от расстояния.

4. Расположить датчик в зоне наиболее интенсивного излучения на оси X на расстоянии 20 мм от лицевой поверхности печи. Зафиксировать показания микроамперметра.

5. Поочередно устанавливая защитные экраны и фиксировать показания микроамперметра. Данные занести в [табл.14](#).

Таблица 14

Результаты измерений и расчетов

Наличие и вид защиты	Показания амперметра, мкА	Эффективность экранирования δ
Без защитного экрана		
Защитный экран:		
1		

2
...
6

6. Вычислить эффективность экранирования по формуле

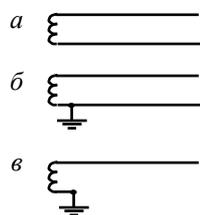
$$\delta = \frac{Y - Y_3}{Y},$$

где Y и Y_3 – показания микроамперметра в отсутствие и при наличии экрана соответственно.

7. Дать анализ зависимости интенсивности излучения от расстояния и эффективности экранирования от вида материалов защитных экранов.

6. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ И ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара, т.е. прохождения тока через тело человека, являются следствием его прикосновения не менее чем к двум точкам электрической цепи, между которыми существует некоторое напряжение. Опасность такого прикосновения оценивается током, проходящим через тело человека I_n или напряжением прикосновения $U_{пр}$, зависящим от схемы включения человека в электрическую цепь, напряжения сети, режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей от земли, а также емкости токоведущих частей относительно земли.



Сети переменного тока. В промышленности применяют преимущественно трехфазные и значительно реже однофазные сети.

Однофазные сети могут быть двухпроводными изолированными от земли (рис.12, а), с заземленным проводом (рис.12, б) и однопро-

Рис.12. Схемы однофазных сетей

водными, когда роль второго проводника играет земля, рельс и т.п. (рис.12, в). Двухпроводные сети используют для питания малым напряжением (12, 24, 36 и 42 В) ручных переносных ламп, электрофицированных инструментов и подобных им потребителей, а при более высоких напряжениях (127, 220, 380 В и выше) для питания сварочных трансформаторов, испытательных установок и других однофазных потребителей. Однопроводные сети применяют на электрифицированном транспорте, в испытательных устройствах и т.п.

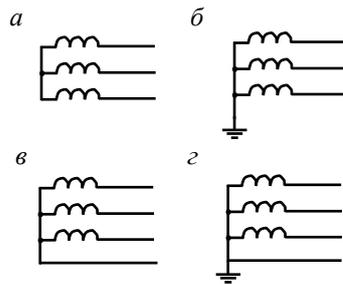


Рис.13. Схемы трехфазных сетей

Трехфазные сети в зависимости от режима работы нейтрали источника тока, т.е. в зависимости от того, изолирована от земли или заземлена нейтраль, и наличия нейтрального или нулевого проводника могут быть выполнены по четырем схемам:

- трехпроводной с изолированной нейтралью (рис.13, а);
- трехпроводной с заземленной нейтралью (рис.13, б);
- четырехпроводной с изолированной нейтралью (рис.13, в);
- четырехпроводной с заземленной нейтралью (рис.13, г).

Нейтраль, т.е. нейтральная точка обмотки источника или потребителя энергии, – это точка, напряжения которой относительно всех внешних выводов обмотки одинаковы по абсолютному значению. Заземленную нейтральную точку называют нулевой.

Нейтраль, заземленная путем непосредственного присоединения к заземлителю или через малое сопротивление (трансформатор тока), называется также глухозаземленной нейтралью, проводник, присоединенный к нейтральной точке, – нейтральным проводником, а присоединенный к нулевой точке, – нулевым проводником.

При напряжении до 1000 В в России применяют в основном две схемы: трехпроводную с изолированной нейтралью напряжением 36, 42, 127, 220, 380 и 660 В и четырехпроводную с заземленной нейтралью напряжением 220/127, 380/220 и 660/380 В. В четырехпроводной сети заземление нейтрали источника тока (генератора,

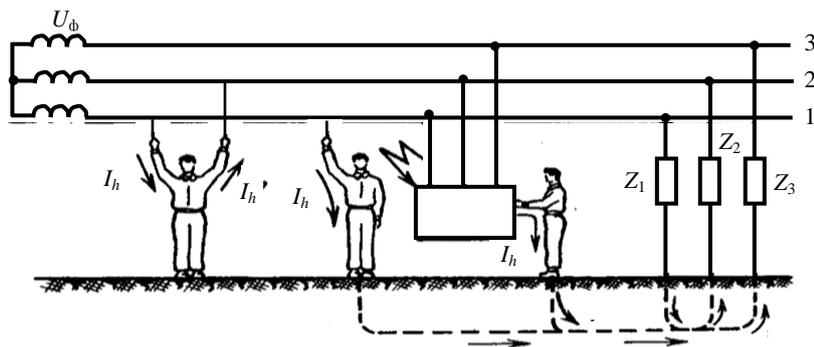


Рис.14. Случаи прикосновения человека к проводам трехфазной электрической сети

Z_1 , Z_2 и Z_3 – сопротивление изоляции фазных проводов 1, 2 и 3 соответственно

трансформатора) осуществляют соединением ее с заземлителем непосредственно либо через малое сопротивление и потому такую сеть принято называть сетью с глухозаземленной нейтралью. Наиболее распространенными являются сети напряжением 380/220 В.

Схемы включения человека в цепь тока. Таких схем несколько, но наиболее характерны две: между двумя фазами электрической цепи и между одной фазой и землей (рис.14). Связь между сетью и землей может быть обусловлена несовершенством изоляции проводов относительно земли, наличием емкости между проводами и землей и, наконец, заземлением нейтрали источника тока, питающего данную сеть. Применительно к сетям переменного тока первая схема соответствует двухфазному прикосновению, а вторая – однофазному.

Двухфазное прикосновение, как правило, более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение – линейное, а ток, проходящий через тело человека, оказываясь не зависимым от схемы сети, режима ее нейтрали и других факторов, имеет наибольшее значение $I_h = U_n / R_h = \sqrt{3} U_\phi / R_h$,

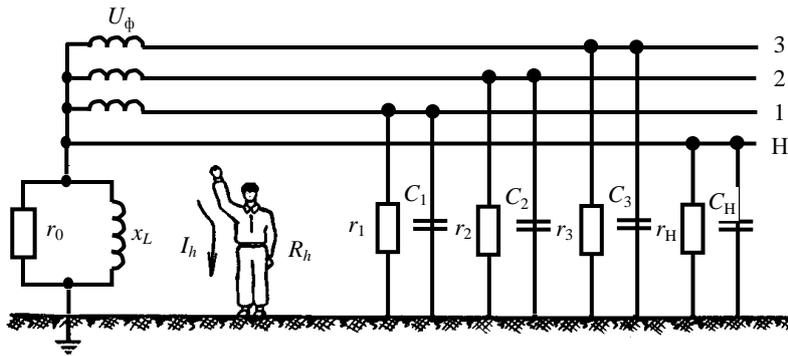


Рис.15. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с нейтралью, заземленной через активное и индуктивное сопротивления (Н – нулевой провод)

где $U_{л}$ и U_{ϕ} – линейное и фазное напряжение соответственно, В; R_h – сопротивление тела человека, Ом.

Однофазное прикосновение, как правило, менее опасно, чем двухфазное. Однако однофазное прикосновение возникает во много раз чаще и именно поэтому оно анализируется в ниже рассматриваемых электрических сетях.

Однофазное прикосновение к трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью. При нормальном режиме работы сети (рис.15) напряжение прикосновения

$$U_{\text{пр}} = U_{\phi} \frac{R_h}{R_h + r_0}, \quad (8)$$

а ток через тело человека

$$I_h = U_{\phi} / (R_h + r_0), \quad (9)$$

где r_0 – сопротивление заземления нейтрали.

Согласно требованиям «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ) наибольшее $r_0 = 60$ Ом; сопротивление же тела человека R_h не опускается ниже нескольких сотен Ом. Следовательно, без большой ошибки в формулах (8) и (9) можно пренебречь значе-

нием r_0 и считать, что при прикосновении к одной из фаз трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью человек оказывается практически под фазным напряжением U_ϕ , а ток, проходящий через него, равен частному от деления U_ϕ на R_h .

Из формулы (9) следует еще один вывод: ток, проходящий через тело человека, прикоснувшегося к фазе трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью в период ее нормальной работы, практически не изменяется с изменением сопротивления изоляции и емкости проводов относительно земли при условии, что полные проводимости проводов относительно земли весьма малы по сравнению с проводимостью заземления нейтрали (рис.16).

При аварийном режиме, когда одна из фаз, например фаза 3 (рис.17), замкнута на землю через малое активное сопротивление $r_{3м}$,

$$U_{пр} = U_\phi R_h \frac{r_{3м} + \sqrt{3}r_0}{r_{3м}r_0 + R_h(r_{3м} - r_0)};$$

$$I_h = U_\phi \frac{r_{3м} + \sqrt{3}r_0}{r_{3м}r_0 + R_h(r_{3м} + r_0)}, \quad (10)$$

где $r_{3м}$ – сопротивление замыкания провода на землю.

Рассмотрим два характерных случая:

- при $r_{3M} = 0$ напряжение прикосновения $U_{пр} = \sqrt{3}U_{\phi}$, т.е. человек окажется под воздействием линейного напряжения сети;
- при $r_0 = 0$ напряжение, под которым окажется человек, будет равно фазному напряжению: $U_{пр} = U_{\phi}$.

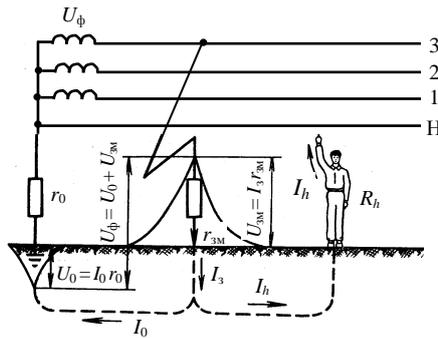


Рис.17. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью при аварийном режиме

Однако в практических условиях сопротивления r_{3M} и r_0 всегда больше нуля, поэтому напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправному фазному проводу трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью, всегда меньше линейного, но больше фазного:

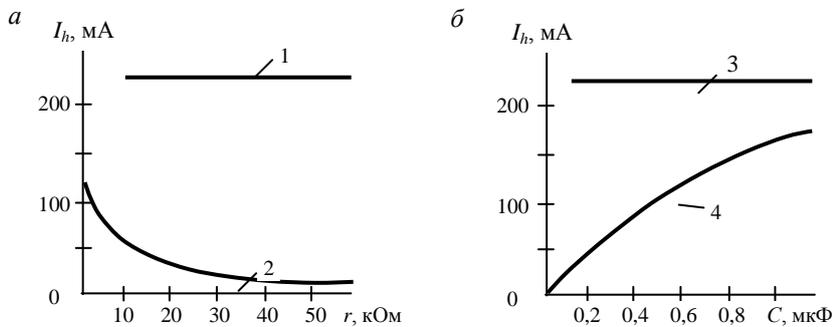


Рис.16. Изменение тока I_h при прикосновении человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью 380/220 В (кривые 1 и 3) и трехпроводной с изолированной нейтралью (кривые 2 и 4) в период нормальной их работы: а – в зависимости от изменения сопротивления изоляции проводов относительно земли при $r_1 = r_2 = r_3 = r_H = r$ и $C_1 = C_2 = C_3 = C_H = 0$; б – в зависимости от изменения емкости проводов относительно земли при условии, что $r_1 = r_2 = r_3 = r_H = \infty$ и $C_1 = C_2 = C_3 = C_H = C$ r – сопротивление изоляций проводника; C – емкость проводов относительно земли

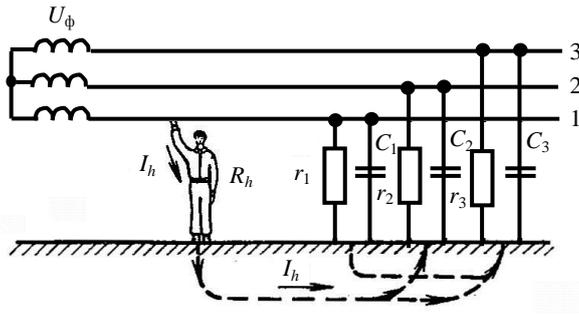


Рис.18. Прикосновение человека к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы

$\sqrt{3}U_\phi > U_{пр} > U_\phi$, т.е. прикосновение человека к исправному проводу сети с глухозаземленной нейтралью в аварийный период более опасно, чем при нормальном режиме.

Однофазное прикосновение к трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью. Оценим опасность прикосновения к фазному проводу при нормальном режиме работы (рис.18) для следующих трех случаев:

- при $r_1 = r_2 = r_3 = r$ и $C_1 = C_2 = C_3 = C$. Ток, проходящий через тело человека,

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{r(r + 6R_h)}{9R_h^2(1 + r^2\omega^2C^2)}}}, \quad (11)$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота; f – частота тока, Гц;

- при $r_1 = r_2 = r_3 = r$ и $C_1 = C_2 = C_3 = 0$, что может иметь место в коротких воздушных сетях, ток, проходящий через тело человека,

$$I_h = U_\phi / (R_h + r/3); \quad (12)$$

- при $r_1 = r_2 = r_3 = \infty$ и $C_1 = C_2 = C_3 = C$, что может иметь место в кабельных сетях

$$I_h = U_\phi / \sqrt{R_h^2 + (x_C/3)^2}, \quad (13)$$

где $x_C = 1/(\omega C)$ – емкостное сопротивление провода относительно земли.

Выражения (11)-(13) показывают, что в сетях с изолированной нейтралью опасность для человека, прикоснувшегося к одному из фазных проводов в период нормальной работы сети, зависит от сопротивления проводов относительно земли: с увеличением сопротивления опасность уменьшается. Вместе с тем этот случай, как правило, менее опасен, чем прикосновение к сети с заземленной нейтралью [сравните формулы (9) и (12)]. Этот вывод иллюстрируется кривыми 2 и 4 (см. [рис.16](#)).

При аварийном режиме работы сети ([рис.19](#)), когда возникло замыкание фазы (например, фазы 3) на землю через малое активное сопротивление r_{3M} ,

$$I_h = \frac{\sqrt{3}U_\phi}{R_h + r_{3M}}; \quad (14)$$

$$U_{пр} = I_h R_h = \sqrt{3}U_\phi \frac{R_h}{R_h + r_{3M}}.$$

Если принять $r_{3M} = 0$ или считать, что $r_{3M} \ll R_h$ (как обычно бывает на практике), то

$$U_{пр} = \sqrt{3}U_\phi,$$

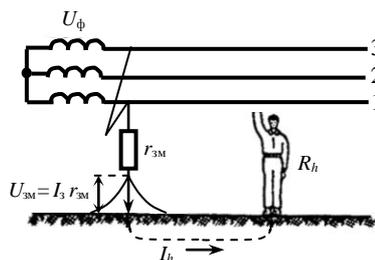


Рис.19. Прикосновение человека к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью при аварийном режиме

т.е. человек окажется под линейным напряжением сети.

В реальных условиях r_{3M} всегда больше нуля, поэтому напряжение, под которым окажется человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправной фазе трехфазной сети с изолированной нейтралью, будет значительно больше фазного и несколько меньше линейного напряжения сети.

Таким образом, это прикосновение во много раз опаснее прикосновения к той же фазе сети при нормальном режиме работы [сравните (12) и (14), имея в виду что $r_{3м} \ll r/3$]. Вместе с тем такое прикосновение является также более опасным, чем прикосновение к исправной фазе трехфазной сети с заземленной нейтралью [ср. уравнения (10) и (13), имея в виду, что r_0 мало по сравнению с $r_{3м}$].

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

По технологическим требованиям предпочтение отдается, как правило, четырехпроводной сети, поскольку она позволяет использовать два рабочих напряжения: линейное и фазное.

По условиям безопасности сети с изолированной нейтралью целесообразно применять на объектах с повышенной опасностью поражения током. ПУЭ рекомендуют использовать трехфазные трехпроводные сети с изолированной нейтралью при повышенных требованиях безопасности (для передвижных установок, шахт, торфяных разработок и т.п.).

Защитное отключение. Устройство защитного отключения (УЗО) обеспечивает автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения человека током. Такая опасность может возникнуть, в частности, при замыкании фазы на корпус, снижении сопротивления изоляции сети ниже определенного предела и, наконец, в случае прикосновения человека непосредственно к токоведущей части, находящейся под напряжением.

Основными элементами УЗО являются прибор защитного отключения и исполнительный орган – автоматический выключатель.

Прибор защитного отключения – совокупность отдельных элементов, которые воспринимают входную величину, реагируют на ее изменения и при заданном ее значении дают сигнал на отключение выключателя.

Исполнительный орган – автоматический выключатель, обеспечивающий отключение соответствующего участка электроустановки (электрической сети) при получении сигнала от прибора защитного отключения.

Основные требования, которым должны удовлетворять УЗО, следующие:

- высокая чувствительность;
- короткое время отключения;
- селективность действия;
- самоконтроль исправности, т.е. способность реагировать на неисправность в собственной схеме отключением защищаемого объекта;
- достаточная надежность.

Чувствительность УЗО – их способность реагировать на малые изменения входной величины – непосредственно влияет на степень безопасности.

Временем отключения называют интервал времени с момента возникновения аварийной ситуации до момента прекращения тока во всех полюсах выключателя. Чем меньше время отключения, тем выше степень безопасности при одних и тех же условиях, так как опасность воздействия тока снижается с уменьшением времени его прохождения через тело человека. Существующие конструкции приборов и аппаратов, применяемых в схемах защитного отключения, обеспечивают время отключения 0,05-0,2 с.

Селективность – избирательность действия УЗО – выражается в способности отключать от сети лишь поврежденный объект, т.е. объект, в котором возникла опасность поражения человека током.

Надежность УЗО характеризуется постоянной готовностью к действию, способностью срабатывать во всех случаях нарушения нормального режима работы защищаемого объекта, грозящего поражением током и, наконец, способностью не реагировать на все другие случаи нарушения режима.

При использовании УЗО, реагирующего на дифференциальный ток в сети с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ входной сигнал УЗО может быть представлен в виде

$$I_{\Sigma} = I_h + \Delta I ,$$

где I_h – ток, протекающий в теле человека при прямом прикосновении к фазному проводу в нормальном режиме работы сети; ΔI – по-

грешность (помеха), обусловленная неравенством проводимостей фазных проводов относительно земли.

Расчет производится по следующим формулам:

$$I_h = \frac{U_\Phi}{R_h + R_0} \approx U G_h; G_h = 1/R_h; \Delta I = U(Y_{Ai} + a^2 Y_{Bi} + a Y_{Ci});$$

$$Y_{Ai} = \frac{1}{R_{Ai}} + j\omega C_{Ai}; Y_{Bi} = \frac{1}{R_{Bi}} + j\omega C_{Bi}; Y_{Ci} = \frac{1}{R_{Ci}} + j\omega C_{Ci}.$$

Контрольные вопросы

1. Какими бывают сети переменного тока?
2. По каким схемам могут быть выполнены трехфазные сети?
3. Что такое нулевая точка?
4. Что такое глухозаземленная нейтраль?
5. Какие схемы в основном применяются в России при напряжении до 1000 В?
6. В чем состоит принципиальное отличие защитного заземления от защитного зануления?
7. Какая схема включения человека в цепь тока наиболее опасна?
8. Под каким напряжением оказывается человек при прикосновении к одной из фаз трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью при нормальном и аварийном режимах?
9. Какой схеме трехфазного тока отдается предпочтение по технологическим требованиям?
10. Какие схемы рекомендуется использовать при повышенных требованиях безопасности?

Работа 6. Оценка электробезопасности трехфазной электрической сети напряжением до 1 кВ

Цель работы – оценить опасность прямого прикосновения человека к фазным проводам электрических сетей напряжением до 1 кВ, установить, как влияет активное сопротивление изоляции и емкость фазных проводов относительно земли на опасность поражения человека электрическим током при нормальном и аварийном режимах работы сетей двух типов.

Задание 1 – сравнить опасность прямого прикосновения человека к проводам двух трехфазных сетей напряжением до 1 кВ: трехпроводной с изолированной нейтралью и четырехпроводной с заземленной нейтралью (параметры сетей задает преподаватель) – при нормальном и аварийном (при замыкании одного из фазных проводов на землю) режимах работы сети.

Задание 2 – при нормальном режиме работы для каждого типа сети определить зависимость тока, проходящего через тело человека при прямом прикосновении к фазному проводу, в зависимости от активного сопротивления изоляции фазных и PEN-провода относительно земли при постоянном значении емкости проводов относительно земли (сеть симметричная) и емкости фазных и PEN-провода относительно земли при постоянном значении активного сопротивления изоляции проводов относительно земли (сеть симметричная).

Лабораторный стенд позволяет моделировать источник питания сети; трехфазный потребитель электроэнергии, подключенный к сети с использованием устройства защитного отключения, реагирующего на дифференциальный (остаточный) ток, а также два типа сети: трехфазную трехпроводную с изолированной нейтралью и трехфазную четырехпроводную с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ. Стенд представляет собой настольную конструкцию с вертикальной передней панелью. На лицевой панели стенда изображена мнемосхема исследуемой системы электрическая сеть – электропотребители, которая содержит изображение источника питания (трехфазная сеть), фазных и защитных проводников, электропотребителей (корпуса 1, 2 и 3) и автоматических выключателей (рис.20).

Стенд включается автоматом S2 (положение переключателя «I»). При этом загораются индикаторы (желтого, зеленого и красного цветов), расположенные рядом с фазными проводами А, В, С.

Значение активных сопротивлений (R_{AE} , R_{BE} , R_{CE} , R_{PEN}) и емкостей (C_{AE} , C_{BE} , C_{CE} , C_{PEN}) фазных проводов А, В, С и PEN-провода относительно земли могут изменяться с помощью переключателей S4-S10 в зависимости от вариантов, задаваемых преподавателем.

Назначение переключателей следующее:

- S3 – для подключения PEN-провода;
- S1 – для изменения режима нейтрали исследуемой сети (левое положение – изолированная нейтраль, правое – заземленная нейтраль). Сопротивление заземления нейтрали, установленного на стенде, 4 Ом;

- S12 и S14 – для моделирования аварийных режимов работы исследуемых сетей. Положение «0» S12 соответствует нормальному режиму работы сети, а положения «А», «В» и «С» – замыканию фазных проводов А, В, С на землю. Сопротивление растеканию тока в месте замыкания на землю $r_{зм}$ может принимать различные значения. Переключателем S14 можно выставить различные значения сопротивления растеканию тока $r_{зм}$ (10; 100; 1000 Ом);

- S15 – для моделирования прямого прикосновения человека к токоведущей части (проводу исследуемой сети). Положение «0» означает, что человек не касается фазного провода сети, положения «А», «В» и «С», а также «PEN» – что человек касается соответственно фазных проводов А, В, С или PEN-провода; положение «УЗО» моделирует касание человеком фазного провода на стороне трехфазного потребителя электроэнергии при нажатой кнопке S16.

Тело человека имитируется в схеме стенда резистором R_h , который может подключаться к каждому проводу сети или к проводу

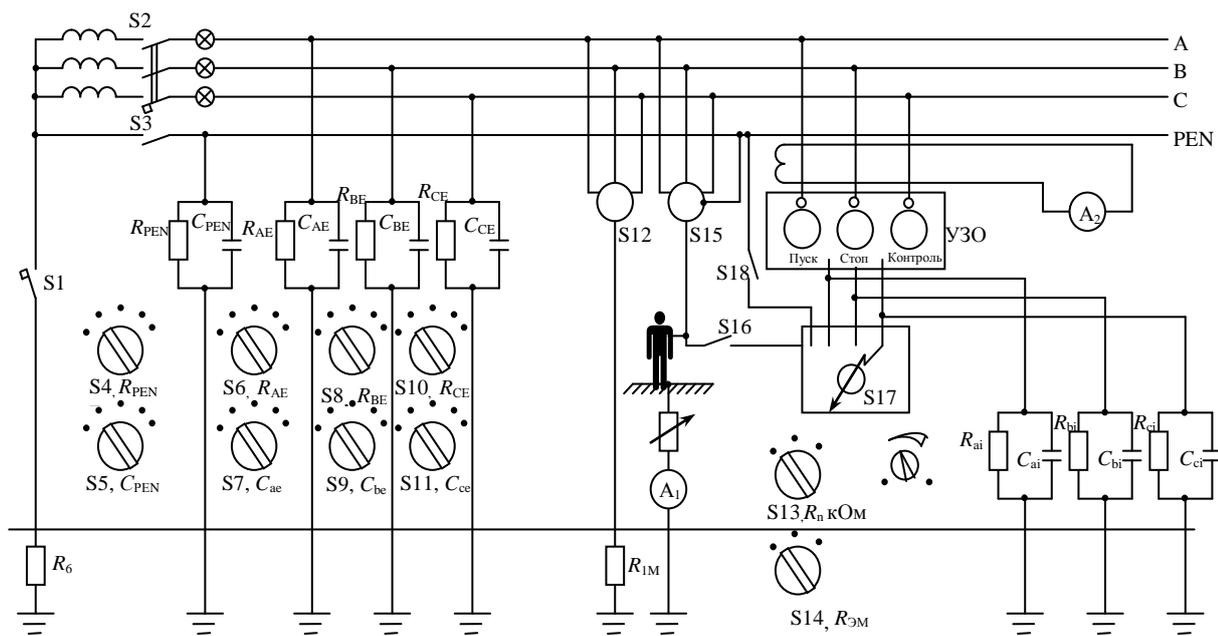


Рис.20. Мнемосхема стенда по анализу электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1 кВ и оценке работоспособности устройства защитного отключения

сети на стороне трехфазного потребителя электроэнергии, подключенного к сети через УЗО.

Значение сопротивления цепи тела человека может быть задано дискретно (1 или 5, или 10 кОм) с помощью переключателя S13 либо плавно в пределах от 0 до 100 кОм с помощью переменного резистора R_h . Установка значений R_h , равных 1; 5 и 10 кОм производится переключателем S13 при положении «0» ручки резистора R_h .

Трехфазный потребитель электроэнергии показан на лицевой панели стенда в виде корпуса, подключенного к сети с помощью УЗО, реагирующего на дифференциальный (остаточный ток). Корпус трехфазного потребителя электроэнергии может быть занулен с помощью переключателя S18 (правое положение).

С помощью кнопки S17 моделируется замыкание фазного провода на корпус. При нажатой кнопке S17 загорается красный индикатор на корпусе трехфазного потребителя электроэнергии.

На лицевой панели УЗО расположены кнопки «Пуск» (при нажатии этой кнопки трехфазный потребитель подключается к сети и загорается красный индикатор на лицевой панели УЗО); «Стоп» (отключение трехфазного потребителя от сети); «Контроль» (оперативный контроль УЗО).

На стенде установлены значения активных сопротивлений изоляции (R_{Ai} , R_{Bi} , R_{Ci}) и емкостей (C_{Ai} , C_{Bi} , C_{Ci}) фазных проводов относительно земли в зоне защиты УЗО и в процессе выполнения работы они не меняются.

В правой части лицевой панели стенда размещены индикаторы трех цифровых приборов: миллисекундомера; амперметра и вольтметра. Миллисекундомер предназначен для измерения времени срабатывания УЗО; кнопка «Сброс» обнуляет показания миллисекундомера; миллисекундомер срабатывает при нажатой кнопке S16.

Амперметром измеряется сила тока в цепи тела человека (положение « I_h » переключателя амперметра) и уставки УЗО (положение « $I_{уст}$ » переключателя амперметра). Амперметр имеет четыре предела измерения.

Вольтметр подключается к фазным проводам А, В, С с помощью переключателя фаз и служит для измерения напряжений фазных проводов относительно земли.

Требования техники безопасности при проведении работы следующие:

1. К работе со стендом допускаются лица, ознакомленные с его устройством и принципом действия.

2. Перед эксплуатацией стенд должен быть заземлен.

3. К работам по монтажу и проверке стенда допускается персонал, обученный методам безопасной работы с электрооборудованием напряжением до 1000 В в соответствии с требованиями действующих «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

4. Во избежание поражения электрическим током стенд при вскрытии должен быть отключен от сети.

5. Источники питания можно включать только с разрешения преподавателя.

6. Замену и установку предохранителей следует производить только при отключенной установке.

7. ПРИКОСНОВЕНИЕ К КОНДЕНСАТОРАМ, ИМЕЮЩИМ ОСТАТОЧНЫЙ ЗАРЯД, ОПАСНО.

Порядок проведения работы следующий:

Задание 1.

1. Изолировать нейтраль, переведя переключатель S1 в левое положение, отключить PEN-провод, поставив переключатель S3 в нижнее положение, а переключатель S12 в положение «0».

2. Установить значения активных сопротивлений изоляции (переключатели S6-S10) и емкостей (переключателя S7-S11) фазных проводов относительно земли в соответствии с заданием преподавателя.

3. переключателем S13 установить значения сопротивления тела человека R_h (в соответствии с заданием преподавателя). Ручка регулятора резистора R_h должна находиться в положении «0».

4. Установить переключатели S15 в положение «А» и S12 в положение «0». Включить стенд, переведя S2 в положение «1». Убедиться в наличии напряжения фазных проводов с помощью вольтметра ($U_A = U_B = U_C = 220$ В).

5. Произвести измерение тока I_{hA} через тело человека с помощью амперметра, переведя его переключатель в положение « I_h » и выбрав необходимый предел измерения.
6. Повторить измерения тока через тело человека I_{hB} , I_{hC} для положений «В» и «С» переключателя S15.
7. Выключить стенд, переведя переключатель в положение «0».
8. Перевести переключатель S12 в любое из трех положений «А», «В» и «С». Переключателем S14 установить значение r_{3M} в соответствии с заданием преподавателя.
9. Включить стенд, переведя S2 в положение «1».
10. Произвести измерения токов I_{hA} , I_{hB} или I_{hC} (в соответствии с положением переключателя S15) с помощью амперметра, выбрав необходимый предел измерения. Переключатель амперметра в положении « I_h ».
11. Выключить стенд, переведя переключатель S2 в положение «0».
12. Заземлить нейтраль, переведя переключатель S1 в правое положение, подключить PEN-провод, поставив переключатель S3 в нижнее положение, переключатель S12 оставить в положении «0».
13. Установить значения активных сопротивлений изоляции (переключатель S4-S10) и емкостей (переключатели S5-S11) фазных проводов и PEN-провода относительно земли в соответствии с заданием преподавателя. Установить значение сопротивления R_h (в соответствии с заданием преподавателя) переключателем S13. Ручка регулятора резистора R_h должна находиться в положении «0». Поставить переключатель S15 в положение «А».
14. Включить стенд (S2 – в положение «1»).
15. Произвести измерение тока I_{hA} в цепи тела человека с помощью амперметра, выбрав необходимый предел измерения. Переключатель амперметра в положении « I_h ». Повторить измерения тока в цепи тела человека I_{hB} , I_{hC} для положений «В» и «С» переключателя S15.
16. Выключить стенд (S2 – в положение «0»).
17. Перевести переключатель S12 в любое из трех положений. Переключателем S14 установить значение r_{3M} в соответствии с заданием преподавателя.

18. Включить стенд (S2 – в положение «1»).

19. Произвести измерения токов в цепи тела человека I_{hA} , I_{hB} , I_{hC} (соответственно положению переключателя S15) с помощью амперметра, выбрав необходимый предел измерения. Переключатель амперметра в положении « I_h ».

20. Выключить стенд (S2 – в положение «0»).

Задание 2.

1. Изолировать нейтраль, переведя переключатель S1 в левое положение. Отключить PEN-провод, поставив переключатель S3 в нижнее положение.

2. Поставить переключатель S15 в положение «А», переключателем S13 установить значения сопротивления тела человека R_h (в соответствии с заданием преподавателя). Ручка регулятора резистора R_h должна находиться в положении «0». Переключателями S7, S9 и S11 установить значения емкостей проводов относительно земли (в соответствии с заданием преподавателя), например $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = C = 0$.

3. Включить стенд (S2 – в положение «1»).

4. Произвести измерения тока I_{hA} в цепи тела человека с помощью амперметра, устанавливая поочередно значения активного сопротивления проводов относительно земли $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R$ (переключатели S6-S10), равными 1; 2; 5; 10; 25; 100 кОм. Положение переключателя амперметра при измерениях « I_h ».

5. Выключить стенд (S2 – в положение «0»).

6. Заземлить нейтраль, переведя переключатель S1 в правое положение. Подключить PEN-провод, поставив переключатель S3 в верхнее положение.

7. Повторить пп.2-3, дополнительно выставив значения $C_{PEN} = C$ (переключатель S5).

10. Включить стенд, переведя S2 в положение «1».

11. Произвести измерения тока I_{hA} в цепи тела человека с помощью амперметра, устанавливая поочередно значения активного сопротивления фазных проводов и PEN-провода относительно земли $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{PEN} = R$ (переключатели S5-S11), равными 1; 2,5; 10; 25; 100 кОм.

12. Отключить стенд (S2 – в положение «0»).

13. Повторить пп.1-3, установив не значения емкости, а значения активного сопротивления фазных проводов относительно земли в соответствии с заданием преподавателя, например 10 кОм (переключатели S6, S8 и S10).

14. Произвести измерения тока I_{hA} с помощью амперметра, устанавливая поочередно значения емкости фазных проводов относительно земли $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = C$, равными 0; 0,02; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,5 мкФ (переключатели S7-S11). Положение переключателя амперметра при измерениях « I_h ».

15. Выключить стенд (S2 – в положение «0»).

16. Снять зависимость $I_{hA} = f(C)$, где $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = C_{PEN} = C$ при $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{PEN} = R = \text{const}$, выполняя действия аналогично пп.13-15 для сети с заземленной нейтралью при нормальном режиме работы сети.

17. Обработать результаты измерений, представив их в виде таблиц и графиков зависимостей.

Отчет должен содержать схемы сети, иллюстрирующие измерения, выводы по работе.

Работа 7. Оценка работоспособности устройства защитного отключения

Цель работы – оценить работоспособность устройства защитного отключения (УЗО), реагирующего на дифференциальный (остаточный) ток в сети с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ.

Задание – определить уставку и время срабатывания УЗО, установить, соответствуют ли значения этих параметров первичным критериям электробезопасности; оценить работоспособность УЗО совместно с занулением; сравнить эффективность защитного отключения сети при заданных параметрах УЗО и сети в зависимости от типа сети, применяемого оборудования и условий поражения человека электрическим током.

Описание лабораторного стенда и требования техники безопасности см. в работе 6.

Порядок проведения работы следующий:

1. Установить значение параметров сети с заземленной нейтралью (переключатели S4-S11) в соответствии с заданием преподавателя. Переключатели S1 перевести в правое положение, S3 в верхнее, S12 в положение «0». Установить переключатель S15 в любое из трех положений, S13 в положение «1 кОм», а ручку резистора R_h в положение «100 кОм».

2. Включить стенд, переведя S2 в положение «1».

3. Измерить длительно допустимый ток через тело человека. Для этого необходимо плавно вращать ручку резистора R_h , увеличивая ток. Значению тока I_h соответствует загорание индикатора, расположенного на изображении человека. Ток через тело человека I_h измеряется с помощью амперметра с пределом измерения 20 мА. Положение переключателя амперметра « I_h ».

4. Отключить стенд, переведя S2 в положение «0».

5. Установить переключатель S15 в положение «УЗО», переключатель S18 – в левое положение.

6. Включить стенд (S2 – в положение «1»).

7. Включить УЗО нажатием кнопки «Пуск» (при этом загорается красный индикатор на лицевой панели УЗО). Плавным вращением ручки резистора R_h против часовой стрелки при нажатой кнопке S16 увеличивать значение дифференциального тока, являющегося входным сигналом для заданного типа УЗО. Значение дифференциального тока, при котором произойдет срабатывание УЗО, будет соответствовать току уставки. При срабатывании УЗО красный индикатор на его лицевой панели погаснет.

Значение тока уставки измеряется по амперметру (положение переключателя « $I_{уст}$ »). Ток уставки измеряется на пределе амперметра (200 мА).

8. Повернуть ручку резистора R_h против часовой стрелки до положения «100»; включить УЗО нажатием кнопки «Пуск».

9. Измерить значение времени срабатывания УЗО по миллисекундомеру (предварительно обнулив его нажатием кнопки «Сброс»), нажав кнопку S16, имитируя этим прикосновение человека к фазному проводу в зоне защиты УЗО.

10. Выключить стенд (S2 – в положение «0»).

11. Занулить корпус трехфазного потребителя электроэнергии (переключатель S18 в правое положение).

12. Включить стенд (S2 – в положение «1»).

13. Включить УЗО, нажав кнопку «Пуск» на его лицевой панели.

14. Замкнуть фазный провод на корпус потребителя электроэнергии, нажав кнопку S17. При этом загорается красный индикатор на корпусе. Устройство защитного отключения должно сработать, отключив потребитель электроэнергии от сети за определенное время.

15. Отключить стенд (S2 – в положение «0»).

16. Рассчитать зависимость дифференциального тока входного сигнала УЗО $I_{\Sigma} = f(I_h)$ при различных соотношениях проводимостей фазных проводов относительно земли в зоне защиты УЗО (в соответствии с заданием преподавателя) и оценить защитные свойства заданного УЗО в исследуемой цели.

7. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом (вода реки, моря, каменный уголь в пласте и т.п.) металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпусе или по другим причинам, т.е. случайного электрического соединения токоведущей части с металлическими нетоковедущими частями электроустановки.

Назначение защитного заземления – устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу установки и другим нетоковедущим металлическим частям, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус.

Снижение до безопасных значений напряжений прикосновения, обусловленных замыканием на корпус и другими причинами, достигается уменьшением потенциала заземленного оборудования (уменьшением сопротивления заземлителя) или выравниванием по-

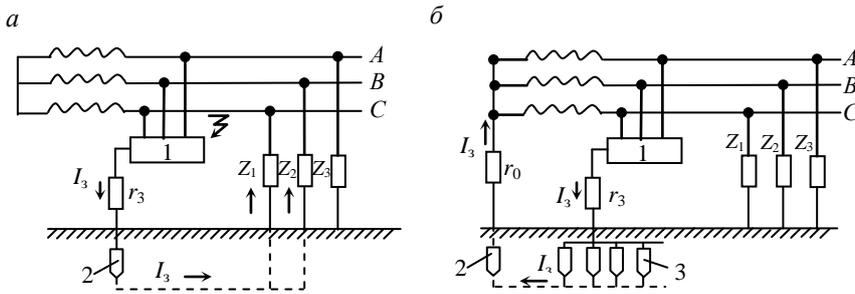


Рис.21. Принципиальные схемы защитного заземления в сетях трехфазового тока: *а* – в сети с изолированной нейтралью до 1000 В и выше; *б* – в сети с заземленной нейтралью выше 1000 В

1 – заземленное оборудование; 2 – заземлитель защитного заземления; 3 – заземлитель рабочего заземления; r_0 и r_3 – сопротивление рабочего и защитного заземлений

тенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования.

Защитное заземление следует отличать от рабочего заземления – преднамеренного заземления с землей отдельных точек электрической цепи, например нейтральных точек обмоток генераторов, трансформаторов, а также фазы при использовании земли в качестве фазного или обратного провода (рис.21). Защитному заземлению подлежат металлические нетоковедущие части электрооборудования, которые вследствие неисправности изоляции и других причин могут оказаться под напряжением и к которым возможно прикосновение людей и животных.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, а также в наружных установках заземление обязательно при номинальном напряжении электроустановки выше 42 В (переменный ток) и 110 В (постоянный ток), в помещениях без повышенной опасности при напряжении 380 В и выше (переменный ток) и 440 В и выше (постоянный ток).

Зануление – преднамеренное электрическое соединение металлических токоведущих частей электроустановки, могущих ока-

заться под напряжением, с глухозаземленной нейтральной точкой обмотки источника тока в трехфазных сетях.

Проводник, обеспечивающий указанные соединения зануляемых частей с глухозаземленной нейтральной точкой, выводом и средней точкой обмоток источников тока, называется нулевым защитным проводником. Нулевой защитный проводник следует отличать от так называемого нулевого рабочего проводника, который также соединен с глухозаземленной нейтральной точкой, выводом и средней точкой обмоток источников тока, но предназначен для питания током электроприемников, т.е. является частью цепи рабочего тока и по нему проходит рабочий ток.

Устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу электроустановки и другим металлическим токоведущим частям, оказавшимся под напряжением относительно земли вследствие замыкания на корпусе и по другим причинам, достигается превращением замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание (т.е. замыкание между фазным и нулевым защитным проводниками) с целью вызвать большой ток, способный обеспечить срабатывание защиты и тем самым отключить поврежденную электроустановку от питающей сети. Такой защитой являются плавкие предохранители или автоматы максимального тока, устанавливаемые для защиты от токов короткого замыкания (КЗ), магнитные пускатели со встроенной тепловой защитой, осуществляющие защиту от перегрузки, автоматы с комбинированными расцепителями, осуществляющие защиту одновременно от токов короткого замыкания и перегрузки.

Кроме того, поскольку корпуса (или другие токоведущие металлические части) заземлены через нулевой защитный проводник, то в аварийный период, т.е. с момента возникновения замыкания на корпус и до автоматического отключения поврежденной электроустановки от сети, проявляется защитное свойство зануления аналогично защитному заземлению. Иначе говоря, заземление корпусов через нулевой проводник в аварийный период снижает их напряжение относительно земли.

Таким образом, зануление осуществляет два защитных действия:

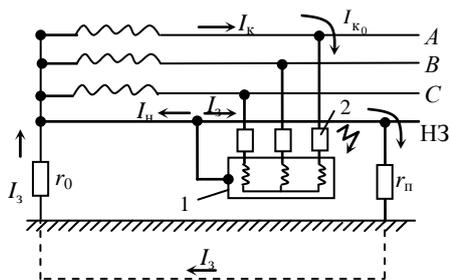


Рис.22. Принципиальная схема зануления в трехфазной сети до 1000 В

1 – корпус электроустановки (электродвигатель, трансформатор и т.п.); 2 – аппараты защиты от токов КЗ (предохранители, автоматические выключатели и т.п.); НЗ – нулевой защитный проводник; r_0 – сопротивление заземления нейтрали обмотки источника тока; r_n – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника; I_k – ток КЗ; I_{k0} – часть тока КЗ, протекающего через нулевой защитный проводник; I_3 – часть тока КЗ, протекающего

- быстрое автоматическое отключение поврежденной установки от питающей сети;

- снижение напряжения зануленных металлических токоведущих частей, оказавшихся под напряжением относительно земли.

При этом отключение осуществляется лишь при замыкании на корпус, а снижение напряжения – во всех случаях возникновения напряжения на зануленных металлических токоведущих частях, в том числе при замыкании на корпус, электростатическом и электромагнитном влияниях соседних цепей и т.п.

Область применения зануления – трехфазные четырехпроводные сети до 2000 В с глухозаземленной нейтралью, в том числе наиболее распространенные сети напряжением 380/220 В, а также сети 220/127 и 660/380 В (рис.22).

Назначение нулевого защитного проводника в схеме зануления состоит в обеспечении необходимого для отключения установки значения тока однофазного КЗ путем создания для этого тока цепи с малым сопротивлением.

Назначение заземления нейтрали обмоток источника тока, питающего сеть до 1000 В, – снижение напряжения зануленных корпусов (а следовательно, нулевого защитного проводника) относительно земли до безопасного значения при замыкании фазы на землю.

Повторное заземление защитного проводника имеет целью снижение напряжения зануленных конструкций относительно земли в период замыкания фазы на корпус как при исправной схеме зануления, так и в случае обрыва нулевого защитного проводника.

Зануление должно выполняться в следующих помещениях:

- с повышенной опасностью и особо опасных в отношении поражения электрическим током, а также вне помещений при напряжениях электроустановок, превышающих 42 В (переменный ток) и 110 В (постоянный ток);
- в помещениях без повышенной опасности при напряжениях электроустановок 380 В и выше (переменный ток) и 440 В и выше (постоянный ток).

Кроме того, зануление необходимо во взрывоопасных зонах всех классов независимо от напряжения электроустановок.

Контрольные вопросы

1. Каковы факторы, определяющие поражающее действие электрического тока?
2. Какое действие оказывает электрический ток на человека?
3. Какие основные средства защиты от электрического тока Вы знаете?
4. Что такое защитное отключение?
5. Из каких основных элементов состоит устройство защитного отключения? Каково их назначение?
6. Каковы основные требования к УЗО?
7. Что такое чувствительность УЗО?
8. Какое время отключения обеспечивают современные конструкции УЗО?
9. В чем заключается сущность селективности действия УЗО?
10. Как называется способность УЗО отключать защищаемый объект при неисправности в собственной схеме?

Работа 8. Оценка эффективности действия защитного заземления

Цель работы – исследование эффективности действия защитного заземления в электроустановках в сетях с изолированной нейтралью.

Задания 1-3 – оценить эффективность защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных трехпроводных сетей с изолированной нейтралью напряжением до 1 кВ (задание 1) при двойном замыкании на заземленные корпуса электроустановок (задание 2) и в электроустановках, питающихся от трехфазных пятипроводных сетей с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ (задание 3).

Лабораторный стенд позволяет моделировать два способа защиты: защитное заземление и зануление. Стенд представляет собой настольную конструкцию с вертикальной передней панелью. На лицевой панели стенда изображена мнемосхема исследуемой системы электрическая сеть – человек, которая содержит изображение источника питания (трехфазная сеть), фазных и защитных проводников, электропотребителя, УЗО и цепи, имитирующие прикосновение человека к фазным проводам (рис.23).

Подключение корпусов 1 и 2 к PEN-проводнику осуществляется переключателями S8 и S14 соответственно. Правое положение переключателей означает, что корпуса занулены. Сопротивление фазового провода R_{ϕ} от нейтральной точки до корпуса 2 не изменяется, равно 0,1 Ом и распределено равномерно на двух участках провода (нейтральная точка – точка подключения корпуса 1 и точка подключения корпуса 1 – точка подключения корпуса 2). Сопротивление PEN-проводника может изменяться с помощью трехпозиционного переключателя S6, причем сопротивления участков нейтраль – корпус 1 и корпус 1 – корпус 2 равны, и принимают значения 0,1; 0,2; 0,5 Ом. Обрыв PEN-проводника между точками подсоединения корпусов 1 и 2 имитируется с помощью переключателя S12, нижнее положение которого соответствует обрыву проводника. Повторное заземление R_{Π} подключается к PEN-проводнику с помощью переключателя S17. Значение сопротивления R_{Π} изменяется трехпозиционным переключателем S19 и может принимать значения 0; 0,1; 0,5 Ом.

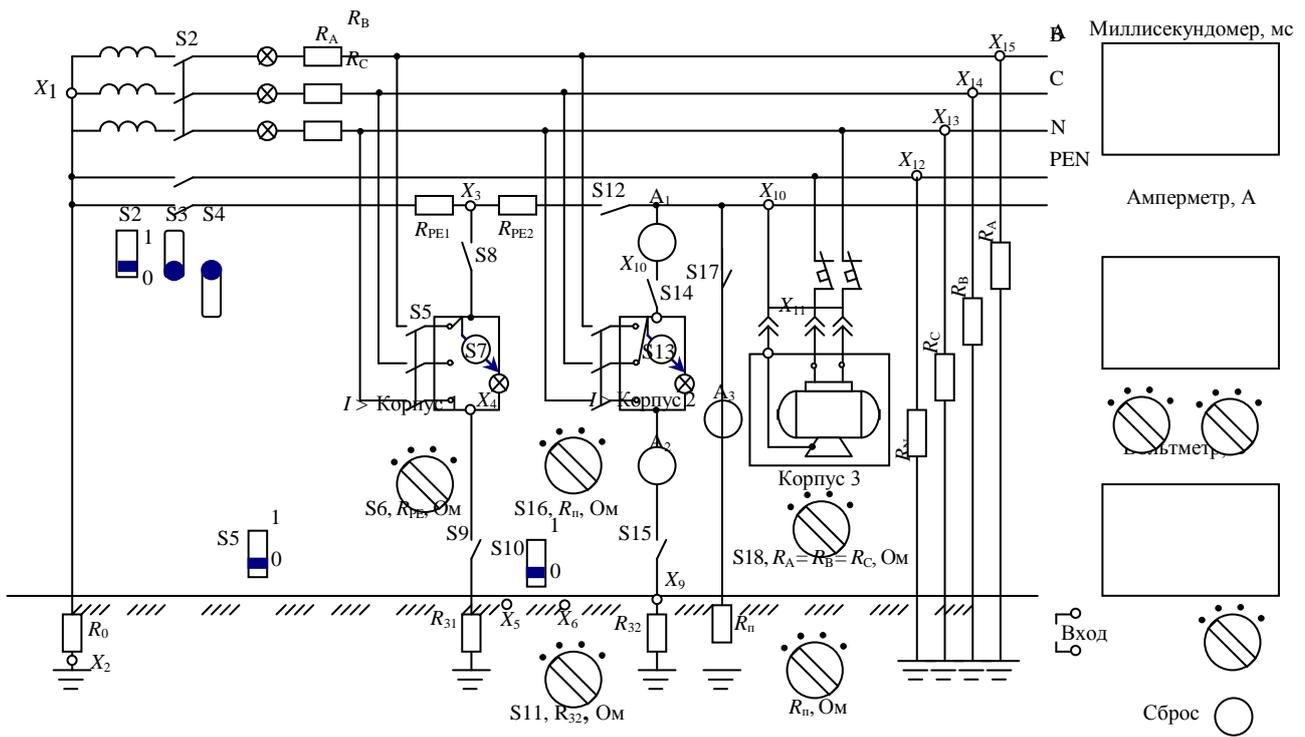


Рис.23. Мнемосхема стенда по оценке эффективности действия защитного заземления и зануления

Подключение корпусов 1 и 2 к заземляющим устройствам с сопротивлениями R_{31} и R_{32} осуществляется с помощью переключателей S9 и S15 соответственно. Сопротивление заземления R_{31} корпуса 1 является постоянным и равным 4 Ом. Сопротивление заземления R_{32} корпуса 2 устанавливается с помощью трехпозиционного переключателя S11 (4, 10, 100 Ом).

Замыкания фазных проводов на корпуса 1 и 2 осуществляются кнопками S7 и S13 соответственно, причем на корпус 1 замыкается фазный провод А и на корпус 2 – фазный провод В.

Лабораторный стенд имеет три измерительных прибора: цифровой вольтметр с диапазоном измерения от 0 до 2000 В, цифровой амперметр с диапазоном измерения от 0 до 2000 А и цифровой секундомер с диапазоном измерения от 0 до 999 мс.

Вольтметр включается в измерительные цепи через гнезда XI-X15, установленные в соответствующих точках схемы, с помощью гибких проводников, снабженных наконечниками. Включение амперметра в цепь осуществляется с помощью переключателя, находящегося под индикатором. При соответствующем подключении загорается лампочка, указывающая на место подключения прибора. Положение «Откл» означает отсутствие амперметра в цепях стенда. В положении А1 измеряется ток КЗ, в положении А2 – ток, стекающий с заземлителя корпуса 2, в положении А3 – ток замыкания на землю через повторное заземление PEN-проводника.

Миллисекундомер включается нажатием кнопки S13, а отключается при срабатывании автоматического выключателя S10.

Установка позволяет длительно сохранять режим, соответствующий периоду замыкания фазного провода на корпуса 1 и 2. Для возврата схемы в исходное состояние после того, как измерены все необходимые параметры, следует нажать кнопку «Сброс».

Требования техники безопасности следующие:

1. К работе со стендом допускаются лица, ознакомленные с его устройством и принципом действия.
2. Перед эксплуатацией стенд должен быть заземлен.
3. К работам по монтажу и проверке стенда допускается персонал, обученный методам безопасной работы с электрооборудованием напряжением до 1000 В в соответствии с требованиями дей-

ствующих «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

4. Во избежание поражения электрическим током стенд при вскрытии должен быть отключен от сети.

5. Перед началом работы необходимо убедиться в исправности изоляции соединительных проводов.

6. Замену и установку предохранителей можно производить только при отключенной установке.

7. ПРИКОСНОВЕНИЕ К КОНДЕНСАТОРАМ, ИМЕЮЩИМ ОСТАТОЧНЫЙ ЗАРЯД, ОПАСНО.

8. Собирать электрические цепи можно только при отключенном источнике питания.

Порядок проведения работы следующий:

Задание 1.

1. Изолировать нейтраль, переведя переключатель S1 в левое положение.

2. Отключить X- и РЕ-проводники, переведя переключатели S3 и S4 в нижнее положение.

3. Переключателем S18 установить значения активных сопротивлений изоляции в соответствии с заданием преподавателя.

4. Перед включением стенда убедиться, что переключатели S8, S14, S17, S9 и S15 находятся в левом положении, а переключатель S12 – в нижнем.

5. Включить стенд (S2 – в положение «1»). При этом загораются лампы.

6. Подключить корпус 2 к сети (автомат S10 – в положение «1»; S5 – в положение «0», т.е. корпус 1 отключен).

7. Произвести кнопкой S13 замыкание фазного провода В на корпус 2.

8. Вольтметром с помощью гибких проводников измерить напряжение корпуса 2 относительно земли (гнезда X8 и X2) и фазных проводов относительно земли (гнезда X2 и X15, X2 и X14, X2 и X13).

9. Кнопкой «Сброс» устранить замыкание фазного провода на корпус 2.

10. Выключить стенд (S2 – в положение «0»).

11. Установить значение R_{32} в соответствии с заданием преподавателя и заземлить корпус 2, переведя переключатель S15 в правое положение.

12. Включить стенд (S2 – в положение «1»).

13. Тумблером S13 произвести замыкание фазного провода В на корпус 2.

14. С помощью гибких проводников вольтметром измерить напряжение корпуса 2 относительно земли (гнезда X8 и X2) и фазных проводов относительно земли (гнезда X2 и X15, X2 и X14, X2 и X13), а также напряжение прикосновения при различных расстояниях до заземлителя (гнезда X8 и X9, X8 и X6, X8 и X5). Напомним, что при измерении напряжения необходимо отключить амперметр (переключатель амперметра – в положение «Откл»).

15. Измерить ток замыкания на землю, установив переключатель амперметра в положение А2; при этом загорается лампа, соответствующая данному подключению амперметра. При переходе с одного предела измерения амперметра на другой необходимо дождаться установившегося показания прибора.

16. Переключатель амперметра установить в положение «Откл».

17. Отключить стенд (S2 – в положение «0»).

Задание 2.

1. Заземлить корпус 1 (S9 – в правое положение), подключить корпус 1 к сети (S5 – в положение «1»).

2. Включить стенд (S2 – в положение «1»).

3. Одновременно кнопками S7 и S13 провести замыкания фазных проводов А и В и на корпуса 1 и 2 соответственно.

4. С помощью гибких проводников вольтметром измерить напряжение корпуса 1 относительно земли (гнезда X4 и X2) и корпуса 2 относительно земли (гнезда X8 и X2). Амперметр должен быть отключен.

5. Измерить ток замыкания на землю, установив переключатель амперметра в положение А2.

6. Переключатель амперметра установить в положение «Откл» и отключить стенд (S2 – в положение «0»).

Задание 3.

1. Отключить корпус 1 от сети, переведя переключатель S5 в положение «0», заземлить нейтраль источника тока (S1 – в правое положение) и подключить N- и PEN-проводник к источнику питания (S3 и S4 соответственно – в верхнее положение).

2. Включить стенд (S2 – в положение «1»).

3. Кнопкой S13 замкнуть фазный провод В на корпус 2.

4. С помощью гибких проводников вольтметром измерить напряжение корпуса 2 относительно земли (гнезда X8 и X2) и нейтральной точки относительно земли (гнезда XI и X2).

5. Измерить ток замыкания на землю, установив переключатель амперметра в положение А2.

6. Выключить стенд (S2 – в положение «0»). Все переключатели перевести в исходное состояние.

7. Обработать результаты измерений, представив их в виде таблиц.

Отчет должен содержать принципиальные схемы исследуемых режимов, краткие выводы по каждому из разделов измерений.

Работа 9. Оценка эффективности действия зануления

Цель работы – оценить эффективность действия зануления и повторного заземления в трехфазной пятипроводной сети напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью.

Задание 1 – установить время срабатывания автоматов защиты и силу тока КЗ при замыкании фазного провода на корпус при различном сопротивлении петли фаза-нуль.

Задание 2 – определить распределение потенциалов вдоль PEN-проводника без и при наличии повторного заземления.

Задание 3 – оценить эффективность использования повторного заземления PEN-проводника при его обрыве.

Описание лабораторного стенда и требования техники безопасности см. в работе 8.

Порядок проведения работы следующий:

Задание 1.

1. Заземлить нейтраль источника тока (S1 – в правое положение).
2. Подключить N- и PEN-проводник к источнику тока (S3, S4, S12 – в верхнее положение).
3. Подключить корпуса 1 и 2 к PEN-проводнику (S8 и S14 – в правое положение).
4. Убедиться, что переключатели S9, S15, S17 находятся в левом положении и включить стенд (S2 – в положение «1»).
5. Подключить корпуса 1 и 2 к сети (автоматы S5 и S10 – в положение «1»).
6. Переключателем S6 установить значения $R_{PEN} = 0,1$ Ом.
7. Произвести замыкание фазного провода на корпус 2 кнопкой S13.
8. Снять показания миллисекундомера и амперметра (переключатель амперметра должен находиться в положении «A1»).
9. Поочередно установить $R_{PE} = 0,2$ и $R_{PEN} = 0,5$ Ом и произвести измерения времени и тока КЗ аналогично пп.7, 8.
10. Установить по заданию преподавателя фиксированное значение сопротивления R_{PEN} .
11. В соответствии с пп.7 и 8 произвести измерения времени срабатывания и тока КЗ при различных переходных сопротивлениях $R_{пер}$.
12. Отключить стенд (S2 – в положение «0»).

Задание 2.

1. Переключателями S6 и S16 соответственно установить значения $R_{PEN} = 0$ и $R_{пер} = 0$.
2. Включить стенд (S2 – в положение «1»).
3. Подключить корпуса 1 и 2 к сети (автоматы S5 и S10 – в положение «1»).
4. Произвести замыкание фазного провода на корпус 2 кнопкой S13.
5. С помощью гибких проводников вольтметром измерить напряжение нулевой точки относительно земли (гнезда X1 и X2) и корпусов 1 и 2 относительно земли (гнезда X4 и X2, X8 и X2, X11 и

X2). При измерении напряжений переключатель амперметра должен находиться в положении «Откл».

6. Измерить ток КЗ (переключатель амперметра – в положение «А1») и время срабатывания.

7. Выключить стенд (S2 – в положение «0»).

8. Подключить повторное заземление PEN-проводника (S17 – в правое положение), установить значения $R_{\Pi} = 0$ (S10 – в положение «1»).

10. Включить стенд (S2 – в положение «1»).

11. В соответствии с пп.4-6 измерить напряжения на корпусах 1 и 2, нулевой точки относительно земли, а также время срабатывания и ток КЗ.

12. Установив переключатель амперметра в положение А3, измерить ток замыкания на землю.

13. Отключить стенд (S2 – в положение «0»).

14. Переключателем S19 установить значения R_{Π} , равными 10 и 100 Ом, и провести измерения аналогично пп.10-12 (S10 – в положение «1»).

15. Выключить стенд (S2 – в положение «0»).

Задание 3.

1. Отключить повторное заземление R_{Π} от PEN-проводника – переключатель S17 в левое положение. Произвести обрыв PEN-проводника между корпусами 1 и 2, для чего перевести переключение S12 в нижнее положение.

2. Включить стенд (S2 – в положение «1»).

3. Включить автоматы защиты (S5 и S10 – в положение «1»).

4. Произвести замыкание фазного провода В на корпус 2 кнопкой S13.

5. С помощью гибких проводников вольтметром измерить напряжение нулевой точки относительно земли (гнезда XI и X2) и корпусов 1 и 2 относительно земли (гнезда X4 и X2, X8 и X2, X11 и X2). При измерении напряжений переключатель амперметра должен находиться в положении «Откл».

6. Установив переключатель амперметра в положение А3, измерить ток замыкания на землю.

7. Выключить стенд (S2 – в положение «0»).

8. Подключить повторное заземление к PEN-проводнику (S17 – в правое положение, S10 – в положение «1»). Установить $R_{\Pi} = 4 \text{ Ом}$.

9. Включить стенд (S2 – в положение «1»).

10. Измерить напряжения на корпусах 1 и 2 и нулевой точки относительно земли, а также ток замыкания на землю (аналогично пп.4-6). Выключить стенд.

11. Установить переключателем S19 значения R_{Π} , равными 10 и 100 Ом, и произвести измерения напряжений и тока (S10 – в положение «1»).

12. Выключить стенд и перевести все переключатели в исходное состояние.

13. Обработать результаты измерений, представив их в виде таблиц.

Отчет должен содержать принципиальные схемы исследуемых режимов, графики распределения напряжения PEN-проводника относительно земли по его длине при отсутствии и наличии повторного заземления, а также при обрыве PEN-проводника и замыкании на корпус 2, краткие выводы по каждому из разделов измерений.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аненко В.П.* Справочник по освещению предприятий горно-промышленных комплексов. / В.П.Аненко, В.И.Шпротько, А.Я.Фарбман. М.: Недра, 1985.
2. *Гендлер С.Г.* Безопасность жизнедеятельности: Практикум. / С.Г.Гендлер, И.А.Павлов, В.Б.Соловьев; Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 2001.
3. Гигиенические критерии оценки и классификации условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса: Руководство Р2.2.755-99 / Минздрав России. М., 1999.
4. *Долин И.А.* Основы техники безопасности в электроустройствах. М.: Энергоиздат, 1984.
5. Нормы радиационной безопасности НРБ-99 / Госкомсанэпиднадзор. М., 1999.
6. *Русак О.Н.* Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие / О.Н.Русак, К.Р.Малаян, Н.Г.Занько. СПб: Лань, 2000.
7. *Ушаков К.З.* Охрана труда: Учебник для вузов / К.З.Ушаков, Б.Ф.Кирин, Н.В.Ножков, И.И.Медведев, И.А.Бабокин, М.А.Сребный. М.: Недра, 1986.
8. *Флавицкий Ю.В.* Защита от шума и вибрации на предприятиях угольной промышленности: Справочное пособие. / Ю.В.Флавицкий, Л.А.Гешлин, И.Г.Резников и др. М.: Недра, 1990.
9. *Шувалов Ю.В.* Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие / Ю.В.Шувалов, В.А.Рогалев, И.А.Павлов; Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1998.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Исследование производственного освещения и оценка коэффициента использования осветительных установок	5
Работа 1. Определение освещенности рабочих мест и эффективности использования источников света	15
2. Исследование средств звукоизоляции	20
Работа 2. Расчет эффективности звукоизоляции	25
3. Исследование вибрации	29
Работа 3. Измерение параметров вибрации и оценка эффективности виброзащиты	38
4. Тепловое излучение и его параметры	46
Работа 4. Изучение параметров теплового излучения и оценка эффективности защиты	50
5. Сверхвысокочастотное излучение и его параметры	53
Работа 5. Измерение интенсивности сверхвысокочастотного излучения и оценка способов защиты	58
6. Анализ электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1 кВ и оценка работоспособности устройств защитного отключения	62
Работа 6. Оценка электробезопасности трехфазной электрической сети напряжением до 1 кВ	72
Работа 7. Оценка работоспособности устройства защитного отключения	79
7. Оценка эффективности действия защитного заземления	81
Работа 8. Оценка эффективности действия защитного заземления	86
Работа 9. Оценка эффективности действия зануления	91
Рекомендательный библиографический список	95