

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ (ЧАСТЬ 3)

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра безопасности производств

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ (ЧАСТЬ 3)

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2021

УДК 613.64; 331.451 (073)

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ (ЧАСТЬ 3): Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *А.В. Корнев, А.В. Пасынков*. СПб, 2021. 81 с.

Изложены методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности».

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Технологическая безопасность и горноспасательное дело».

Научный редактор проф. *М.Л. Рудаков*

Рецензент д.т.н., профессор *М.А. Галишев* (Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы.)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2021

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время профессиональные заболевания, обусловленные длительным воздействием на работников виброакустического фактора, относятся к числу наиболее распространенных на предприятиях минерально-сырьевого комплекса. Кроме того, в повседневной деятельности, в том числе при следовании к месту работы и обратно, человек подвергается воздействию различных шумов, отрицательно сказывающихся на здоровье. Для того, чтобы своевременно выявить вредные факторы, оценить их уровень и ограничить воздействие требуется знание не только физической природы того или иного явления и последствий его воздействия на человека, но и наличие практических навыков измерения их параметров с последующей гигиенической оценкой.

Помимо воздействия вредных факторов человек подвержен и множеству травмирующих факторов, которые при определенных обстоятельствах приводят к несчастным случаям различной тяжести. Одни из наиболее тяжелых несчастных случаев, чаще всего смертельных, связаны с поражением человека электрическим током. Поэтому роль знаний будущими специалистами механизма и видов воздействия электрического тока на организм человека, основных факторов, влияющих на тяжесть поражения, в также важность приобретения навыков оценки работоспособности и эффективности средств электробезопасности в современном мире сложно переоценить.

Настоящие методические указания подготовлены с целью формирования у студентов знаний и навыков по обеспечению безопасных условий труда в аспектах виброшумового воздействия и электробезопасности в соответствии с программой курса «Безопасность жизнедеятельности».

В методические указания включены лабораторные работы по измерению уровня шума и определению эффективности средств звукоизоляции и звукопоглощения, измерению параметров вибрации и оценке эффективности средств виброзащиты, определению эффективности действия защитного заземления и зануления, а также анализу электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1 кВ и оценке работоспособности устройств защитного отключения.

ТРЕБОВАНИЯ К ПОРЯДКУ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ

К проведению лабораторных работ допускаются студенты, которые:

- прошли инструктаж по охране труда и инструктаж по пожарной безопасности с оформлением в соответствующих журналах регистрации инструктажа;
- знают цель, порядок проведения работы, правила использования приборов, стендов, оборудования;
- имеют подготовленные таблицы, необходимые для внесения измеренных параметров и результатов расчета.

Перед началом выполнения работы студентам следует проверить визуальным осмотром комплектность и исправность оборудования, при обнаружении каких-либо неисправностей сообщить дежурному лицу (преподавателю, заведующему лабораторией или ее сотруднику) и получить у него разрешение на выполнение работ.

Во время выполнения работы студенты должны строго следовать методическим указаниям и при обнаружении неисправностей в установке, искрении, появлении постороннего шума, запаха дыма, немедленно сообщить дежурному лицу.

При нахождении в лаборатории студентам запрещается: включать установку и приборы без разрешения дежурного лица, использовать их не по назначению; задействовать оборудование, не относящееся к выполняемой лабораторной работе; отключать без необходимости лабораторную установку до окончания выполнения всех требуемых в работе замеров; выходить из лаборатории без разрешения дежурного лица; использовать мобильные телефоны не для учебных целей; включать без разрешения зарядные устройства мобильных телефонов в розетки, расположенные в лаборатории.

По окончании выполнения работы необходимо выключить установку, приборы и оборудование; убрать за собой мусор, использованные расходные материалы, вернуть методические указания на место; сообщить дежурному лицу об окончании работ и представить ему на подпись таблицу с результатами измерений.

Отчет по лабораторной работе оформляется машинописным текстом на листах бумаги формата А4 с полями: слева – 30 мм, справа, снизу и сверху – 20 мм. Шрифт – Times New Roman, кегль 12-14, межстрочный интервал 1,25-1,5. Нумерация страниц – сквозная, включая таблицы, иллюстрации и приложения. Формулы должны быть набраны в редакторе формул и пронумерованы. Не допускается вместо знака умножения использовать «*», в качестве значка степени – «^». Рисунки, схемы, фото, графики подписываются текстом, расположенным ниже объекта и выровненным по центру. Условные обозначения на изображениях должны быть пояснены в подписочных подписях. Каждый график должен иметь наименования осей с указанием единиц измерений параметров. Если на одном графике представлено несколько кривых (прямых), то они должны быть обозначены различными маркерами или иметь отличные друг от друга цвета, а также должна быть представлена их «легенда». Ряды в «легенде» должны быть подписаны. Если представлен один график, то «легенда» не требуется. Названия таблиц указываются перед таблицей по левому краю с указанием номера таблицы. На все формулы, рисунки и таблицы должны быть даны ссылки, расположенные выше по тексту. Наименования основных разделов должны быть выделены жирным шрифтом.

Отчет по лабораторной работе должен содержать титульный лист; цель работы и теоретические сведения; используемые приборы и оборудование с их схематичным изображением и фото; порядок выполнения работы; таблицу с результатами измерений; раздел «Порядок обработки и анализа результатов измерений»; таблицу с результатами расчетов; выводы.

Порядок выполнения работы должен содержать описание последовательности действий, фактически выполненных в ходе замеров. В разделе «Порядок обработки и анализа результатов измерений» должны быть приведены расчеты в логической последовательности с указанием полученных результатов, сведенных в таблицу. В выводах должен быть представлен анализ полученных результатов, рассмотрены факторы, влияющие на эти результаты.

Лабораторная работа № 1.

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ШУМА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ И ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ

Цель работы – приобретение практических навыков измерения уровня шумового воздействия, определения класса условий труда на рабочем месте по акустическому фактору и оценки эффективности мероприятий по снижению шума средствами звукоизоляции и звукопоглощения.

Теоретические сведения

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

Под *звуком (звуковыми колебаниями)* понимаются механические колебания упругих волн, которые распространяются в различных средах (газообразной, жидкой, твердой). Шум может быть представлен как одним неприятным для человека звуком, так и совокупностью множества неупорядоченных звуков.

К основным параметрам, характеризующим шум, относятся скорость распространения, частота, длина волны, звуковое давление, интенсивность или сила звука, уровень звукового давления или уровень звука (УЗД).

Скорость звука c (м/с) зависит от упругости, плотности и температуры среды, в которой он распространяется. Звук с наибольшей скоростью распространяется в твердых телах, с меньшей – в жидкостях, с еще меньшей – в газах. Например, при нормальных условиях ($t=0$ °С и $p=101\,325$ Па) наименьшая скорость распространения звука – в хлоре (206 м/с), наиболее высокая – в алмазе (12 000 м/с).

Частота звуковых колебаний f (Гц) – число полных колебаний, совершенных в течение одной секунды.

Диапазон слышимых человеческим ухом частот составляет от 20 до 20 000 Гц. Звук с частотой, лежащей ниже полосы слышимых (акустических) частот – 20 Гц называется *инфразвуком*, а звук с частотой более 20 кГц – *ультразвуком*. По частотному диапазону

выделяют низкочастотный (11,2-100 кГц) и высокочастотный ультразвук (100 кГц-1 ГГц), по способу распространения – воздушный и контактный ультразвук.

Уровень шума оценивается в 9 октавных полосах диапазона слышимых частот, каждая из которых имеет нижнюю и верхнюю границу по частоте и характеризуется среднегеометрической частотой (рис. 1). Частотный состав шума характеризует его *спектр*.

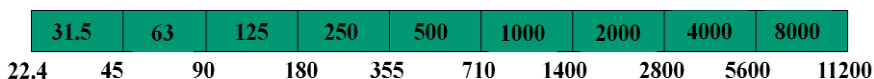


Рис. 1. Граничные и среднегеометрические частоты октавных полос

Разложение шума на составляющие его тона (звуки с одной частотой) с определением их интенсивностей и УЗД называют спектральным анализом, а графическое изображение частотного спектра шума – спектрограммой (рис. 2).

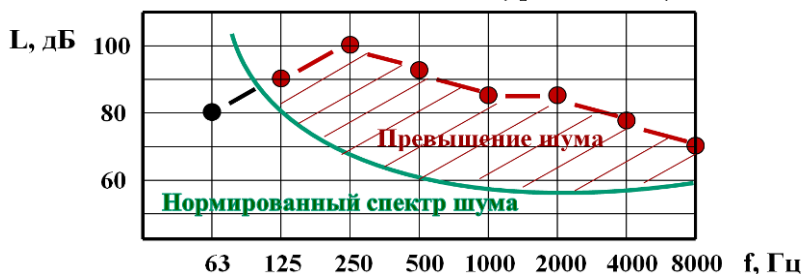


Рис. 2. Спектрограммы допустимого и фактического уровней шума

Длина звуковой волны λ (м) прямо пропорциональна скорости звука (c) и обратно пропорциональна его частоте (f):

$$\lambda = \frac{c}{f}, \text{ м} \quad (1)$$

где λ – длина звуковой волны, м; c – скорость звука, м/с; f – частота, c^{-1} .

Длина звуковой волны зависит от типа среды, в которой распространяется. Для частоты 20 кГц длина звуковой волны при распространении в воздухе составляет 1,7 см, в воде – 7,3 см, в стали – 25 см.

Звуковое давление p (Па) – разность между мгновенным и статическим давлениями воздушной среды.

Так как минимальное и максимальное значения звукового давления, различаемые слуховым анализатором человека, отличаются друг от друга примерно в миллион раз, для оценки шума принято использовать *уровень звукового давления (L_p)*, выражаемый в децибелах (дБ).

$$L_p = 10 \cdot \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0}, \text{ дБ} \quad (2)$$

где p – среднеквадратичная величина звукового давления, Па; p_0 – опорное (на пороге слышимости) значение звукового давления, $p_0 = 20$ мкПа.

Уровень звукового давления может быть выражен через интенсивность звука по следующей формуле:

$$L_p = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0}, \text{ дБ} \quad (3)$$

где I – интенсивность звука, Па; I_0 – опорная интенсивность звука (на пороге слышимости), $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м².

Сила (интенсивность) звука I (Вт/м²) – количество звуковой энергии, переносимой через единицу площади, расположенную перпендикулярно направлению распространения звуковой волны.

Интенсивность звука и звуковое давление взаимосвязаны следующим соотношением:

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c}, \text{ Вт/м}^2 \quad (4)$$

где p – мгновенное значение звукового давления, Па; $\rho \cdot c$ – удельное акустическое сопротивление среды, Па·с/м (для воздуха $\rho \cdot c = 410$ Па·с/м); ρ – плотность среды, кг/м³; c – скорость звука в среде, м/с.

Поскольку звуковое давление и УЗД являются величинами, изменяющимися со временем, то для описания шумового воздействия на некотором временном интервале часто используют средний по этому интервалу уровень звукового давления, называемый эквивалентным уровнем звукового давления.

Эквивалентный (по энергии) уровень звука $L_{Aэкв}$ (дБА) непостоянного шума – уровень звука постоянного широкополосного шума, который имеет такое же среднеквадратичное звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение определенного интервала времени [7].

Эквивалентный уровень звука за некоторый период времени T , обычно равный 8 часам, определяется по результатам измерений эквивалентных уровней звука при выполнении отдельных технологических (рабочих) операций с учетом их продолжительности в течение рабочей смены по формуле:

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^m T_i \cdot 10^{L_{Aeq,T_i}/10} \right), \text{ дБА} \quad (5)$$

где L_{Aeq,T_i} – эквивалентный уровень звука в интервале времени T_i , дБА; T_i – продолжительность временного интервала, в течение которого выполняется соответствующая рабочая операция, час.; T – суммарная продолжительность рабочих операций; m – номер интервала [4].

Громкость звука – субъективная величина слухового ощущения, которая зависит от интенсивности звука и его частоты, позволяющая располагать все звуки по шкале от тихих до громких. Единицу громкости звука 1 сон определяют, как громкость тона с частотой 1 кГц, создающего звуковое давление 2 мПа и характеризуемого уровнем звукового давления 40 дБ.

Шум различают по характеру спектра (тональный и широкополосный), по временным характеристикам (постоянный, непостоянный и импульсный) и по происхождению (механический, электрический, аэродинамический, гидродинамический; электромагнитный).

Тональный шум характеризуется наличием в спектре выраженных тонов. Тональный характер шума для практических целей устанавливается измерением УЗД в третьоктавных (1/3-октавных)

полосах частот в диапазоне частот 25-10 000 Гц по превышению уровня в одной из полос над соседними не менее чем на 10 дБ или по превышению суммарного уровня двух соседних 1/3-октавных полос, уровни которых отличаются менее чем на 3 дБ, над соседними не менее чем на 12 дБ.

Широкополосный шум характеризуется непрерывным спектром шириной более 1 октавы.

Шум, уровень которого за 8-часовой рабочий день или за время измерения при измерениях на временной характеристике шумомера «медленно» изменяется во времени не более чем на 5 дБА, характеризуют как *постоянный шум*, более 5 дБА – *непостоянный шум*.

В зависимости от длительности звуковых сигналов с определенным УЗД непостоянный шум подразделяют на колеблющийся, прерывистый и импульсный.

Колеблющийся шум характеризуется непрерывно изменяющимся во времени уровнем звука.

Прерывистый шум характеризуется уровнем звука, ступенчато изменяющимся за временной интервал измерения более чем на 5 дБА, причем длительность интервалов, в течение которых уровень звука остается постоянным, составляет не менее 1 с.

Импульсный шум состоит из одного или множества звуковых сигналов (импульсов), длительность которых составляет не более 1 с.

Влияние шума на организм человека

Шум оказывает раздражающее влияние на человека, повышает его утомляемость, приводит к снижению внимания и сосредоточенности. Внезапные шумы высокой интенсивности (например, взрывы, удары) могут вызвать как острые нейросенсорные эффекты (головокружение, звон в ушах, снижение слуха), так и физические повреждения (разрыв барабанной перепонки с кровотечением, поражения среднего уха и улитки). Даже при непродолжительном воздействии на человека шума с УЗД=185 дБА происходит разрыв барабанной перепонки, а воздействие шума с УЗД=194 дБА приводит к повреждению лёгких.

При работе в условиях длительного воздействия шума у работника развивается тугоухость, а в крайнем случае – полная глухота. Различают три основных вида тугоухости в зависимости от того, в

какой из систем слухового тракта наблюдаются патологические изменения: звукопроводения (кондуктивная тугоухость), звуковосприятия (нейросенсорная или перцептивная тугоухость) или обоих видов (смешанный вид тугоухости).

Кондуктивная тугоухость обусловлена изменением подвижности барабанной перепонки и цепи слуховых косточек.

Нейросенсорная тугоухость развивается при повреждении чувствительных нервных клеток внутреннего уха, слухового нерва и центральных образований слуховой системы [1].

Нейросенсорная тугоухость чаще развивается в случае воздействия на работника высокочастотных и тональных (узкополосных) шумов, а кондуктивная – при воздействии низкочастотного и широкополосного шума. Длительное воздействие повышенного уровня шума на работника приводит также к увеличению риска развития артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой и нервной систем.

Гигиеническое нормирование шумового воздействия

Нормируемыми показателями шума на рабочих местах согласно СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» являются: эквивалентный уровень звука А за рабочую смену; максимальные уровни звука А, измеренные с временными коррекциями S и I; пиковый уровень звука С. Нормативным эквивалентным уровнем звука на рабочих местах является 80 дБА. Максимальные уровни звука А, измеренные с временными коррекциями S и I, не должны превышать 110 дБА и 125 дБА соответственно, пиковый уровень звука С – не более 137 дБС.

Отнесение условий труда к классу условий труда при воздействии акустических факторов осуществляется в зависимости от превышения фактических уровней шума относительно предельно допустимых уровней, установленных гигиеническими нормативами.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Согласно приказу Минтруда России от 24.01.2014 №33н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда (СОУТ)...» при воздействии на работника постоянного шума отнесение условий труда к классу условий труда осуществляется по результатам измерения УЗД в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц (таблица 1 приложение 1). Для оценки уровня шума допускается использовать эквивалентный уровень звука (дБА) (таблица 2 приложение 1) [6, 8].

При воздействии в течение рабочего дня (смены) на работника шумов с разными временными и спектральными характеристиками в различных сочетаниях определяют эквивалентный уровень звука. Для получения сопоставимых данных вычисленные эквивалентные уровни звука импульсного и тонального шумов увеличиваются на 5 дБА, после чего полученный результат можно сравнивать с ПДУ.

Измерения уровня шума проводятся как с использованием персонального дозиметра шума, закрепленного на плече работника на высоте около 0,04 м над ним и на расстоянии не менее 0,1 м от входного отверстия наружного слухового прохода, так и с интегрирующим-усредняющим шумомером, установленным в точке расположения головы работника (для сидящего работника – в центральной плоскости сиденья на высоте $0,80 \pm 0,05$ м над его поверхностью, для стоящего работника – на высоте $1,55 \pm 0,08$ м над уровнем поверхности, на которой стоит работник [4, 5].

Методы и средства защиты от повышенного уровня шума

Средства и методы защиты от шума в соответствии с ГОСТ 12.1.029-80 по отношению к защищаемому объекту подразделяются на средства и методы коллективной защиты (СКЗ) и средства индивидуальной защиты (СИЗ). СКЗ по отношению к источнику возбуждения шума подразделяются на средства, снижающие шум в источнике его возникновения и средства, снижающие шум на пути его распространения от источника до защищаемого объекта.

Средства и методы коллективной защиты от шума в зависимости от способа реализации подразделяются на:

– *акустические*, включающие средства звукоизоляции (звукоизолирующие ограждения зданий и помещений, кожухи, кабины, акустические экраны), звукопоглощения, виброизоляции (виброизо-

лирующие опоры, упругие прокладки, конструкционные разрывы), средства демпфирования, глушители шума, подразделяющиеся на абсорбционные, реактивные (рефлексные) и комбинированные;

– *архитектурно-планировочные*, предусматривающие рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов, рабочих мест, рациональное акустическое планирование зон и режима движения транспортных средств;

– *организационно-технические*, предполагающие применение малошумных технологических процессов и машин, использование средств дистанционного управления и автоматического контроля, рациональные режимы труда и отдыха работников.

Экранирование основано на способности преград создавать зону звуковой тени. При *звукоизоляции* используется способность преград отражать звуковую энергию. *Звукопоглощение* характеризует способность пористых, рыхло-волокнистых материалов и резонансных конструкций поглощать звуковую энергию, преобразуя ее в тепловую энергию трения слоев этих материалов.

СИЗ органов слуха в зависимости от конструктивного исполнения подразделяются на противошумные наушники, вкладыши, шлемы и каски.

Приборы и оборудование, используемые в работе

Лабораторный стенд (рис. 3) представляет собой макет производственного помещения, состоящего из двух частей. В левой части стенда расположены источник шума, представленный динамиком (поз. 1), и макеты производственного оборудования (поз. 2). В правой части – макеты производственного оборудования и микрофон шумомера (поз. 3). На передней панели стенда имеются два смотровых окна и в нижней части установлены тумблеры для включения внутреннего освещения (поз. 4). На всех внутренних стенках стенда установлены направляющие (поз. 5) для размещения съемных звукопоглощающих плит (рис. 4) и в центральной части – направляющие для звукоизолирующей перегородки (поз. 6).

Для измерения уровней звукового давления в работе предусмотрено использование анализатора шума и вибрации «SVAN-912M» (рис. 5).

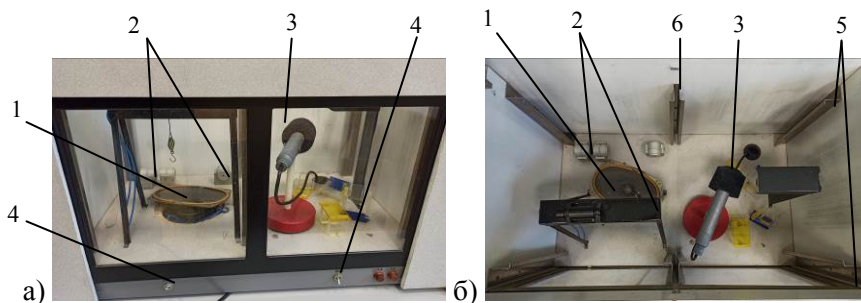


Рис. 3. Передняя панель (а) и внутреннее устройство (б) лабораторного стенда по исследованию шумового воздействия:

1 – динамик; 2 – макеты производственного оборудования; 3 – микрофон шумомера; 4 – тумблеры для включения внутреннего освещения; 5 – направляющие для звукопоглощающих плит; 6 – направляющие для звукоизолирующей перегородки



Рис. 4. Звукопоглощающие плиты



Рис. 5. Анализатор шума и вибрации «SVAN-912M»

Принцип действия анализатора шума и вибрации «SVAN-912M» заключается в аналогово-цифровом преобразовании и цифровой фильтрации электрического сигнала, поступающего от микрофона или датчика вибрации, с одновременной обработкой встроенным микропроцессором. «SVAN-912M» состоит из измерительного блока, конденсаторного микрофона, предусилителя, микрофона и датчика вибрации и позволяет проводить измерения ультразвука, инфразвука и шума в диапазоне от 21 до 140 дБА, общую и локальную вибрацию со значениями виброускорения от 0,001 до 500 м/с².

Основным элементом микрофона является капсуля, состоящий из мембраны, изготовленной из тонкой никелевой фольги толщиной 5 мкм, неподвижного электрода, расположенного на расстоянии 21 мкм от мембраны, изолятора из кварцевого стекла и корпуса.

Корпус и электрод выполнены из никелевого сплава. При воздействии звукового давления на капсулю происходит деформация мембраны, что приводит к появлению переменного напряжения на обкладках конденсатора, которым является капсуля.

Порядок выполнения работы:

Часть 1. Оценить уровень шума на рабочем месте.

1. Включить при необходимости освещение внутри стенда, предварительно подключив его к электросети.

2. Проверить, чтобы все средства звукоизоляции (звукоизолирующие перегородки) и звукопоглощения (звукопоглощающие плиты) были сняты.

3. Установить микрофон шумомера-виброметра после предварительной подготовки, описанной в п. 6 на подставку в правой части стенда и включить прибор.

4. По заданию преподавателя из шумотеки выбрать 3 разновидности производственного шума, которые воздействуют на работника на предполагаемом рабочем месте при выполнении соответствующих рабочих операций в течение 8-ми часовой рабочей смены.

5. Последовательно подавать на громкоговоритель (динамик) выбранные шумы заданной громкости, продолжительность каждого из которых должна составлять не менее 5 минут.

6. С помощью анализатора шума и вибрации «SVAN-912M» провести анализ спектра шума в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц и измерить эквивалентный уровень шума для каждой рабочей операции.

6.1 Конденсаторный микрофон МК 265 вынуть из футляра и накрутить на резьбу предусилителя SV 01A.

***ВНИМАНИЕ!!!** Во избежание поломки прибора во время подготовки его к работе, непосредственного измерения и завершения измерений следует очень осторожно обращаться с микрофоном МК 265 и предусилителем SV 01A, избегая чрезмерного механического воздействия на них, не допуская ударов, падений и т.п.*

6.2 Предусилитель с помощью соединительного кабеля подключить к измерительному блоку. Микрофон с предусилителем поместить в измерительную камеру стенда.

6.3 Подключить шумомер к электросети и включить его, одновременно и одновременно нажав на кнопки « \uparrow » и «ВКЛ. ».

6.4 Выбрать в главном меню пункт «НАСТРОЙКА», перемещая курсор стрелками « Δ » и « ∇ », нажать на кнопку «ВВОД / ПАУЗА». Для выбора пунктов меню используйте кнопку «ВВОД / ПАУЗА», для возврата на предыдущий уровень меню или отмены действий следует нажать на кнопку «ПЕЧАТЬ / ОТМЕНА».

6.5 Выбрать пункт «ДАЛЕЕ...» и проверить пункт «ПОЛЯР. МИК.». При работе шумомера от сети напротив указанного пункта меню должно стоять «200 V». При необходимости выбора данного или иного значения следует использовать кнопки « \triangleleft » и « \triangleright ».

6.6 Вернуться в главное меню и выбрать пункт «АНАЛИЗАТОР».

6.7 На ЖК-экране в основной части появится гистограмма. По оси Y – величина УЗД, дБ, по оси X – частоты спектра либо среднегеометрические частоты для октавных и третьоктавных полос, Гц. Справа на экране указаны некоторые настройки прибора, сверху – состояние измерения: «RunC» – проводится измерение, «HOLD» – пауза, «СТОП» – измерение прекращено.

6.8 Нажать кнопку «ФУНКЦ.». В пункте «ФУНКЦИЯ» установить «1/1 Окт.» – измерение будет проводиться в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц.

6.9 В пункте «СКЗ_ДЕТ» установить «SLOW» – временная коррекция «медленно», в пункте «AV.TIME» выбрать «1s».

6.10 Нажать на приборе кнопку «НАСТР. ПРИБОР» и проверить, чтобы были выставлены следующие параметры: «ВХОД» – «Микрофон», «ПОЛОСА» – 22,6 kHz, «ДИАПАЗОН» – «90dB», «ФИЛЬТР» – «А».

6.11 Нажав на приборе кнопку « \star ЭКРАН» можно выбрать формат представления информации на экране. Рекомендуется в меню «ДИСПЛЕЙ» выбрать «1/1 Окт.», «Шкала-Y» – «Лог. 70 dB», «ЗАЛИВКА» – «Lines».

6.12 Завершив настройки прибора, приступить к непосредственному измерению УЗД, нажав кнопку «СТАРТ / СТОП».

6.13 По истечению времени измерения нажать на кнопку «СТАРТ / СТОП». Перемещая курсор кнопками « \triangleleft » и « \triangleright » зафиксировать УЗД по вышеуказанным среднегеометрическим частотам. В левом углу нижней части ЖК-экрана символом «F» обозначается частота в Гц и кГц, символом «L:» – УЗД в дБ. При перемещении курсора в крайнее правое положение напротив символа «F:» появляется надпись «Total», обозначающая эквивалентный УЗД за время измерения, ниже – выведено фактическое его значение. Результаты измерений записать в таблицу 1.

6.14 При необходимости измерения только эквивалентного УЗД необходимо вернуться в главное меню и зайти в режим «ИЗМЕРИТЕЛЬ». Нажав кнопку «ФУНКЦ.» Выбрать в пункте «ФУНКЦИЯ» – «Leq». «ВРЕМ. ИНТ» И «ШАГ ИНТ.» обычно задается равным 1s и 0,1s. При нажатии на кнопку «НАСТР. ПРИБОР» выбрать фильтр «A» и в пункте «СКЗ_ДЕТ» – временную коррекцию «медленно» («SLOW»). Для начала и окончания измерений нужно нажать на кнопку «СТАРТ / СТОП». По завершению измерения в верхней части экрана появятся значения пикового, максимального и минимального УЗД за период измерения, в центральной части – эквивалентный УЗД. Записать необходимые параметры.

6.15 Выключить шумомер, кратковременно и одновременно нажав на кнопки « P » и «ВКЛ.». Отключить прибор от сети.

6.16 Повторить действия, описанные в пп. 6.2 и 6.1 в обратном порядке.

Порядок обработки и анализа результатов измерений:

1. Определить класс условий труда на рабочем месте при воздействии акустического фактора.

1.1 Сравнить фактические измеренные уровни звукового давления L_A в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц для каждого выбранного вида шума (столбцы 4-12 табл. 1) с ПДУ, приведенными в таблице 1 приложения 1. Сделать выводы.

1.2 Рассчитать по формуле (5) эквивалентный уровень звука за 8-часовую рабочую смену. Продолжительность временного интервала рабочих операций, при выполнении которых работник подвергается воздействию соответствующего вида шума с измеренным

значением УЗД, взять согласно заданию преподавателя. Заполнить столбцы 3 и 13 табл. 1.

1.3 Пользуясь таблицей 2 приложения 1 определить класс условий труда при воздействии акустического фактора на рабочем месте.

2. *Оценить эффективность средств звукоизоляции.*

2.1 Рассчитать эффективность снижения шума звукоизолирующей перегородкой на основании измеренных УЗД по каждой октавной полосе и эквивалентного УЗД по формуле:

$$\Theta = \frac{L_{A(исх.)} - L_{A(зн.)}}{L_{A(исх.)}} \cdot 100, \% \quad (6)$$

где $L_{A(исх.)}$ – уровень звукового давления на рабочем месте без использования средств звукоизоляции и звукопоглощения, дБА;

$L_{A(зн.)}$ – уровень звукового давления на рабочем месте с использованием звукоизолирующей перегородки либо звукопоглощающих плит, дБА.

2.2 Внести рассчитанные значения эффективности снижения шума звукоизолирующей перегородкой в таблицу 2.

3. *Оценить эффективность средств звукопоглощения.*

3.1 Рассчитать эффективность снижения шума за счет использования звукопоглощающих плит на основании измеренных УЗД по каждой октавной полосе и эквивалентного УЗД по формуле (7).

3.2 Внести рассчитанные значения эффективности снижения шума за счет использования звукопоглощающих плит в таблицу 2.

3.3 Построить график зависимости эффективности снижения шума звукоизолирующей перегородкой (Θ , %) от частотного диапазона (среднегеометрических частот октавных полос, f , Гц).

3.4. Построить график зависимости эффективности снижения шума за счет использования звукопоглощающих плит (Θ , %) от частотного диапазона (среднегеометрических частот октавных полос, f , Гц).

3.5 Построить спектрограммы: допустимого уровня шума на рабочих местах; фактически измеренного в стенде уровня шума без использования средств звукоизоляции и звукопоглощения; шума, сниженного звукоизолирующей перегородкой; шума, сниженного звукопоглощающей облицовкой.

3.6. Сделать выводы по работе.

Таблица 1

Измерение уровня шумового воздействия на рабочем месте

№	Тип рабочей операции	Суммарная продолжительность шума на рабочей операции за смену, ч	Уровни звукового давления L_A , дБА, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Эквивалентный уровень звука $L_{Aэкв.}$ (дБА)	
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000		8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Измерения на стенде без средств звукоизоляции и звукопоглощения</i>												
1												
2												
3												
Эквивалентный уровень звука $L_{Aэкв.}$ (дБА) за 8-часовую рабочую смену												
<i>Измерения на стенде с использованием средств звукоизоляции</i>												
1												
2												
3												
Эквивалентный уровень звука $L_{Aэкв.}$ (дБА) за 8-часовую рабочую смену												
<i>Измерения на стенде с использованием средств звукопоглощения</i>												
1												
2												
3												
Эквивалентный уровень звука $L_{Aэкв.}$ (дБА) за 8-часовую рабочую смену												

Таблица 2

Оценка эффективности средств звукоизоляции и звукопоглощения

№	Тип рабочей операции	Суммарная продолжительность шума на рабочей операции за смену, ч	Эффективность снижения шума Э, %										по эквивалентному УЗД
			по УЗД в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
<i>при использовании звукоизолирующей перегородки</i>													
1													
2													
3													
за 8-часовую рабочую смену													
<i>при использовании звукопоглощающих плит</i>													
1													
2													
3													
за 8-часовую рабочую смену													

Контрольные вопросы

1. Что такое шум? Какими параметрами он характеризуется и как классифицируется?

2. Назовите основные виды заболеваний человека, обусловленных длительным воздействием на него шума?

3. Каким образом нормируется шумовое воздействие? Приведите примеры. Чему равен ПДУ шума?

4. Перечислите методы и средства защиты от повышенного уровня шума. В чем отличие звукоизоляции от звукопоглощения?

5. Что такое эквивалентный уровень звука и как его измерить с помощью шумомера-виброметра «SVAN-912M» и «ВШВ-003-М3»?

Лабораторная работа № 2.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ВИБРОЗАЩИТЫ

Цель работы – приобретение практических навыков измерения уровней общей и локальной вибрации, определения класса условий труда на рабочем месте по вибрационному фактору и оценки эффективности средств виброзащиты.

Теоретические сведения

Вибрация – движение точки или механической системы, при котором происходят колебания характеризующих его скалярных величин, под которыми понимается процесс поочередного возрастания и убывания во времени значений какой-либо величины.

Колебательные силы, вызывающие вибрацию, классифицируются по происхождению на механические, аэродинамические, гидродинамические и электромагнитные.

Среди колебательных сил механического происхождения выделяют:

- *центробежные силы*, обусловленные дисбалансом вращающихся деталей;
- *кинематические силы*, вызванные движением тел по неровным поверхностям;
- *ударные силы*, вызванные упругими соударениями движущихся тел;
- *параметрические силы*, вызванные скачками во времени жесткости тел в направлении действия постоянной силы;
- *силы сухого трения*, обусловленные недостатком смазочных материалов.

Вибрации возникают при неправильной балансировке валов, шкивов в машинах и станках, воздействии динамических нагрузок, при работе машин и механизмов ударного действия и т.д.

Вибрация классифицируется:

1) По способу передачи человеку:

– на общую вибрацию, передаваемую на тело через опорные поверхности: для стоящего – через ступни ног, для сидящего – через ягодицы, для лежащего человека – через спину и голову;

– на локальную вибрацию, передающуюся через руки, ступни ног сидящего человека и на предплечья, контактирующие с вибрирующими рабочими поверхностями.

2) По направлению действия (относительно ориентации осей ортогональной системы координат):

– на общую вибрацию, действующую в направлении осей Z_o, X_o, Y_o (рис. 6 а);

– на локальную вибрацию, действующую в направлении осей Z_l, X_l, Y_l (рис. 6 б).

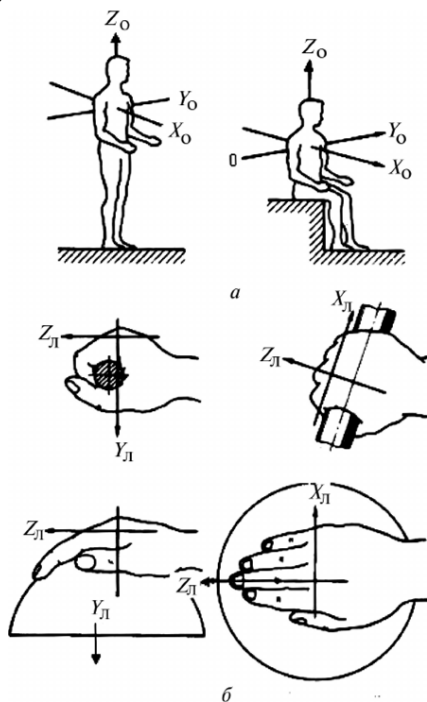


Рис. 6. Ориентация осей ортогональной системы координат а) при общей вибрации; б) при локальной вибрации [2, 3]

3) По временной характеристике:

– на постоянную вибрацию (за период наблюдения величина нормируемых параметров изменяется не более чем в 2 раза или на 6 дБ);

– непостоянную, которая подразделяется на:

а) колеблющуюся вибрацию, величина нормируемых параметров которой непрерывно изменяется во времени;

б) прерывистую вибрацию, характеризующуюся прерыванием контактов с человеком;

с) импульсную вибрацию, состоящую из одного или нескольких вибрационных воздействий (например, ударов) длительностью менее 1 с.

4) По источнику возникновения:

– на локальную вибрацию, передающуюся человеку от ручного механизированного инструмента (с двигателями), органов ручного управления машинами и оборудованием;

– на локальную вибрацию, передающуюся человеку от ручного немеханизированного инструмента, приспособлений и обрабатываемых деталей;

– на общую вибрацию 1 категории (транспортную вибрацию), воздействующую на человека на рабочих местах ж/д, авто- и авиатранспорта, горно-шахтного транспорта и сельскохозяйственных машин;

– на общую вибрацию 2 категории (транспортно-технологическую вибрацию), воздействующую на человека на рабочих местах экскаваторов, кранов, горных комбайнов, шахтных погрузочных машин, бетоноукладчиков и т.п.;

– на общую вибрацию 3 категории (технологическую вибрацию), воздействующую на человека на рабочих местах стационарных производственных машин (станков, прессов, вентиляторов, насосов, буровых станков).

Общая вибрация 3 категории подразделяется по месту действия на следующие типы: а) на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий; б) на рабочих местах на складах, в столовых, бытовых, дежурных и т.п. производственных помещений; в) на рабочих местах в помещениях заводоуправления, конструкторских бюро, лабораторий, учебных пунктов, вычисли-

тельных центров, здравпунктов, конторских помещениях, рабочих комнатах и других помещениях для работников умственного труда.

5) *По частотному диапазону:*

– на *низкочастотную вибрацию* – с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 1-4 Гц для общих вибраций, 8-16 Гц – для локальных вибраций;

– на *среднечастотную вибрацию* – с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 8-16 Гц – для общих вибраций и 31,5-63 Гц – для локальных вибраций);

– на *высокочастотную вибрацию* – с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 31,5-63 Гц – для общих вибраций и 125-1000 Гц – для локальных вибраций.

6) *По характеру спектра:*

– на *узкополосную вибрацию*, у которой контролируемый параметр в одной 1/3 октавной полосе частот более чем на 15 дБ превышает значения в соседних 1/3 октавных полосах;

– на *широкополосную вибрацию* – с непрерывным спектром шириной более одной октавы.

Влияние вибрации на организм человека

При превышении на рабочих местах в производственных помещениях нормируемых уровней общей или локальной вибрации у работников со временем развивается профессиональное заболевание, называемое вибрационной болезнью.

Выделяют три формы вибрационной болезни: *периферическую* – возникающую от воздействия локальной вибрации (спазмы периферических сосудов, побеления пальцев рук на холоде, ослабление подвижности и боль в руках в покое и ночное время, потеря чувствительности пальцев, гипертрофия мышц); *церебральную* – от воздействия общей вибрации (общемозговые сосудистые нарушения и поражение головного мозга); *смешанную* – при совместном воздействии общей и локальной вибрации.

Каждая форма вибрационной болезни имеет 3 степени тяжести: I – начальные проявления (компенсированная), II – умеренно выраженные проявления (субкомпенсированная), III – выраженные проявления (декомпенсированная). Каждой степени тяжести вибрационной болезни соответствуют свои синдромы.

Вибрационная болезнь от воздействия локальной вибрации сопровождается:

а) на начальной стадии – появлением боли в руках и повышением их зябкости, снижением вибрационной, температурной, болевой, тактильной поверхностной чувствительности;

б) на второй стадии – выраженным изменением цвета (побелением) пальцев рук от холодных предметов, жидкостей и воды, умеренным снижением силы в руках;

в) на третьей стадии – приступами «спонтанного» побеления пальцев при низких температурах воздуха, посинением и почернением пальцев рук на холоде, выраженной слабостью мышц верхних конечностей и появлением судорог.

При воздействии локальной вибрации нарушается работа различных систем организма:

– нервной системы (у человека появляются головные боли, скачки артериального давления и пульса, повышается потливость, возникает общая слабость, повышенная раздражительность);

– сердечно-сосудистой системы (появление периодических колющих болей в области сердца, учащение дыхания и пульса при выполнении привычной работы);

– пищеварительной системы (диспептические симптомы);

– психических функций (внимания, памяти, мышления).

При II и III степени вибрационной болезни отмечается утолщение межфаланговых суставов, расширение ногтевых фаланг пальцев рук, субатрофия межкостных мышц, утолщение или истончение, повышенная ломкость и расслаивание ногтей, гиперкератоз кожи кистей. В выраженных случаях – гипотрофия мышц плечевого пояса.

Вибрационная болезнь от воздействия общей вибрации характеризуется аналогичными расстройствами, но при этом страдают в наибольшей степени нижние конечности, пояснично-крестцовая область и шейно-грудной отделы позвоночника, снижается острота зрения, сужаются отдельные участки поля зрения, возникают головокружения, нарушается координация движений. Воздействие вибрации на человека усугубляется при понижении температуры воздуха, повышении уровня шума, чрезмерных мышечных нагрузках, неудобной позе [10].

Гигиеническое нормирование вибрации

В гигиеническом нормировании вибрации на рабочих местах используются следующие термины и определения:

а) *корректированное виброускорение* a_w , м/с^2 – значение виброускорения, измеренное с применением стандартизованной частотной коррекции;

б) *корректированный уровень виброускорения*, L_{aw} , дБ – десять десятичных логарифмов отношения квадрата корректированного ускорения к квадрату опорного значения виброускорения, равному 10^{-6} м/с^2 ;

в) *эквивалентное виброускорение* $a_{w,eqT}$, м/с^2 – среднеквадратичное значение ускорения на заданном интервале времени.

Эквивалентное корректированное виброускорение за 8-ми часовую рабочую смену, $a_{w,8h}$, м/с^2 определяется по формуле:

$$a_{w,8h} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n a_{w,T_i}^2 \cdot T_i}{T_0}}, \quad (7)$$

где T_0 – нормативная продолжительность рабочей смены (8 часов); T_i – продолжительность i -го интервала воздействия вибрации, ч; a_{w,T_i} – эквивалентное значение корректированного виброускорения, измеренное на i -м интервале воздействия вибрации, м/с^2 ;

г) *эквивалентный уровень виброускорения*, $L_{a_{w,eqT}}$, дБ – десять десятичных логарифмов отношения квадрата эквивалентного ускорения к квадрату опорного значения виброускорения.

Эквивалентный корректированный уровень виброускорения за рабочую смену, $L_{a_{w,8h}}$, дБ определяется по формуле:

$$L_{a_{w,8h}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_{a_{w,T_i}}} \right), \quad (8)$$

где T_0 – нормативная продолжительность рабочей смены (8 часов); T_i – продолжительность i -го интервала воздействия вибрации, ч; $L_{a_{w,T_i}}$ – эквивалентный корректированный уровень виброускорения, измеренный на i -м интервале воздействия вибрации, дБ;

д) *текущее скорректированное виброускорение*, $a_w(t)$, $\text{м}\cdot\text{с}^{-2}$ – среднеквадратичное значение скорректированного виброускорения в данный момент времени, усредненное со стандартизованной постоянной времени усреднения.

Для измерений в гигиенических целях стандартизованные постоянные времени усреднения составляют: для локальной вибрации – 1 с; для общей вибрации – 10 с.

Гигиеническое нормирование, измерение и оценка вибрационного воздействия осуществляются в соответствии с следующими документами: СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» от 31.10.1996; СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах», утвержденные постановлением главного государственного санитарного врача РФ от 21.06.2016 № 81; Методика проведения специальной оценки условий труда, классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению», утвержденная приказом Минтруда России от 24.01.2014 № 33н [6,7,9].

Гигиеническая оценка постоянной и непостоянной вибрации, воздействующей на человека, производится следующими методами:

- частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра;
- интегральной оценкой по частоте нормируемого параметра;
- интегральной оценкой с учетом времени вибрационного воздействия по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемого параметра.

Нормируемый диапазон частот устанавливается:

- для локальной вибрации в виде октавных полос со среднегеометрическими частотами: 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц;
- для общей вибрации в виде октавных или 1/3 октавных полос со среднегеометрическими частотами: 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0 Гц.

При частотном (спектральном) анализе нормируемыми параметрами являются средние квадратические значения виброскорости

сти (v) и виброускорения (a) или их логарифмические уровни L_v , L_a , измеряемые в 1/1 и 1/3 октавных полосах:

$$v = 2\pi fA, \text{ м/с} \quad (9)$$

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

$$L_v = 20 \lg \frac{v_c}{5 \cdot 10^{-8}}, \text{ дБ} \quad (10)$$

где v_c – среднее квадратическое значение виброскорости, м/с.

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{10^{-6}}, \text{ дБ} \quad (11)$$

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

При интегральной оценке по частоте нормируемым параметром является скорректированное значение виброскорости и виброускорения U или их логарифмические уровни L_U :

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^n (U_i K_i)^2}, \text{ м/с}^2 \quad (12)$$

$$L_U = 10 \lg \sum_1^n 10^{0,1(L_{U_i} + L_{K_i})}, \text{ дБ} \quad (13)$$

где U_i и L_{U_i} – среднее квадратическое значение виброскорости или виброускорения (или их логарифмические уровни) в i -ой частотной полосе; 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 логарифмического уровня (таблицы 1-3 приложения 2).

Расчет скорректированного по частоте уровня вибрации может производиться либо на основе абсолютных значений виброскорости или виброускорения, измеренных в октавных полосах частот, по вышерассмотренным формулам либо путем энергетического суммирования логарифмических уровней виброскорости (виброускорения) с использованием табличных значений поправок к разности слагаемых уровней. Энергетическое суммирование уровней виб-

роскорости производят попарно, последовательно, прибавляя к наибольшему значению уровня поправку, значение которой принимается по таблице 4 приложения 2.

При интегральной оценке вибрации с учетом времени ее воздействия по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемым параметром является эквивалентное скорректированное значение виброскорости или виброускорения ($U_{\text{экв.}}$) или их логарифмический уровень ($L_{U_{\text{экв.}}}$), измеренные либо вычисленные по формулам:

$$U_{\text{экв.}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n U_i^2 \cdot t_i}{T}}, \text{ м/с}^2 \quad (14)$$

$$L_{U_{\text{экв.}}} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{U_i}} \cdot t_i \right), \text{ дБ} \quad (15)$$

где U_i – скорректированное по частоте значение контролируемого параметра виброскорости (v, L_v) м/с, или виброускорения (a, L_a) м/с²; L_{U_i} – уровни виброскорости или виброускорения, действующие в течение времени t_i ; t_i – время действия вибрации, ч.

Эквивалентный по энергии скорректированный уровень виброускорения рассчитывается путем усреднения фактических уровней с учетом времени их действия по рассмотренным формулам либо путем энергетического суммирования логарифмических уровней виброускорения с учетом поправок на время действия фактора (таблица 5 приложения 2).

Согласно методике проведения СОУТ при воздействии на работника постоянной общей и (или) локальной вибрации отнесение условий труда к классу условий труда осуществляется методом интегральной оценки по частоте нормируемого параметра, при воздействии непостоянной вибрации – по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемого параметра соответственно. При этом измеряется или рассчитывается эквивалентный скорректированный уровень виброускорения, который сравнивается с соответствующим ПДУ (таблицы 6-8 приложения 2). При воздействии локальной вибрации в сочетании с местным охлаждением рук (работа в условиях охлаждающего микроклимата, отнесенного к подклассу 3.1 вредных усло-

вий труда и выше) класс (подкласс) условий труда по данному фактору повышается на одну степень.

Порядок измерения параметров вибрационного воздействия регламентирован Методическими указаниями по проведению измерений и гигиенической оценки производственных вибраций от 10.07.1985 №3911-85. Для измерения параметров вибрации вибродатчики устанавливаются в точках, с которыми контактирует работник в процессе выполнения работы. Для непостоянных рабочих мест выбирается не менее 3 точек контроля в местах наибольших колебаний.

В каждой точке контроля вибродатчик устанавливают на ровной, гладкой посадочной площадке последовательно по трем взаимно перпендикулярным направлениям. Ось вибродатчика должна быть ориентирована по выбранному направлению измерения. При измерении общей вибрации вибродатчик крепится на резьбе к жесткому стальному диску диаметром 200-100 (50) мм и толщиной 4 мм, который размещается между полом и ногами стоящего человека или сидением и корпусом сидящего человека. Диск не должен иметь контакт с металлическими элементами сидения. При измерении на площадках с твердым покрытием (асфальт, бетон, металлические плиты и т.п.) или сидениях без упругих облицовок диск не применяется, а вибродатчик должен крепиться непосредственно к этим поверхностям.

При измерении локальной вибрации в случаях, когда места контакта с руками покрыты эластичным виброизолирующим материалом или рукоятки не имеют жесткой основы, вибродатчик крепят на резьбе к виброадаптеру или к металлической пластине размером 50×25×0,8 мм. Рекомендуется проводить измерения параметров вибрации в течение следующего времени: а) для локальной вибрации – 10 с; б) для общей технологической вибрации – 60 с; в) для общей транспортной и транспортно-технологической вибрации (во время движения) – 300 с. Общее количество отсчетов должно быть не менее 3 для локальной вибрации, не менее 6 для общей технологической вибрации и не менее 30 для общей транспортной и транспортно-технологической (во время движения) [2, 3].

Методы и средства вибрационной защиты

Методы вибрационной защиты классифицируются по организационному признаку, отношению к источнику возбуждения вибрации и виду реализации.

По организационному признаку выделяют методы коллективной и индивидуальной виброзащиты.

По наличию контакта работника с вибрирующим объектом бывают методы, снижающие передачу вибрации при контакте и методы, исключаящие контакт работника с вибрирующим объектом (дистанционное управление, автоматический контроль и сигнализация, ограждение вибрирующего объекта).

По отношению к источнику возбуждения вибрации различают:

– *методы, снижающие параметры вибрации воздействием на источник возбуждения* за счет изменения частоты вибрации источника ее возбуждения, изменения конструктивных элементов машин и строительных конструкций, уравновешивания масс;

– *методы, снижающие параметры вибрации на путях ее распространения от источника возбуждения*, предусматривающие применение демпфирующих покрытий, использования дополнительных устройств, встраиваемых в конструкцию машин и конструкций.

Коллективные средства виброзащиты по принципу действия подразделяют на средства виброизоляции и средства виброгашения.

Средства виброзащиты (СВ) в зависимости от использования дополнительного источника энергии подразделяют на пассивные (ПСВ) и активные (АСВ), предназначенные для поддержания статического положения объекта виброзащиты и требуемых его динамических характеристик.

Средства виброгашения по принципу действия бывают ударные (УВГ) и динамические виброгасители (ДВГ), по конструктивному признаку – пружинные, катковые, маятниковые, эксцентриковые, гидравлические, пневматические.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) от вибрации по месту контакта оператора с вибрирующим объектом подразделяют на: СИЗ рук (рукавицы, перчатки, вкладыши, прокладки); ног (обувь, подметки, наколенники); тела оператора (нагрудники; пояса, специальные костюмы); головы оператора (подголовники).

Приборы и оборудование, используемые в работе

Лабораторный стенд (рис. 7) включает в себя вибростенд (поз. 2), оборудованный вибростолом (поз. 3), на который устанавливается объект виброизоляции (поз. 4) и сменный виброзащитный модуль (поз. 8), генератор сигналов специальной формы Г6-34 (поз. 6), усилитель мощности У4-27 (поз. 9), частотомер электронный ЧЗ-38 (поз. 10), осциллограф С1-79 (поз. 11) и анализатор шума и вибрации «SVAN-912М» (поз. 5). Виброзащитный модуль (рис. 8) представляет собой устройство из двух параллельных пластин, между которыми установлены виброизолирующие прокладки. К объекту виброизоляции крепится вибродатчик АР-98.

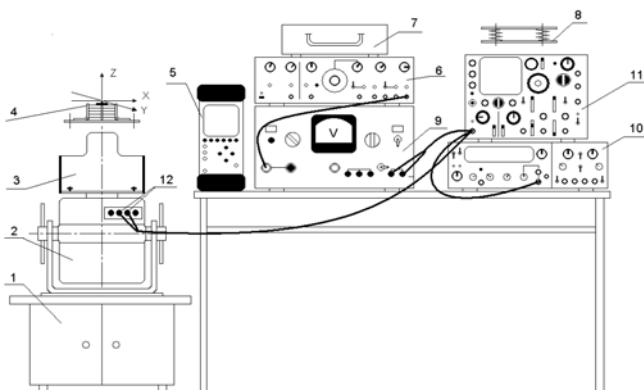


Рис. 7. Внешний вид лабораторного стенда

1 – шкаф под вибростенд; 2 – вибростенд; 3 – вибростол; 4 – объект виброизоляции; 5 – измеритель шума и вибрации «SVAN-912М»; 6 – генератор сигналов специальной формы Г6-34; 7 – ящик для хранения виброзащитных модулей; 8 – виброзащитные модули; 9 – усилитель мощности У4-27; 10 – частотомер электронный ЧЗ-38; 11 – осциллограф С1-79; 12 – входные разъемы для подачи сигнала.



Рис. 8. Типы виброзащитных модулей

Порядок выполнения работы:

Часть 1. Измерить уровень виброускорения в режиме общей вибрации на вибрационном стенде.

1. Закрепить объект виброизоляции на вибростоле. Закрепить вибродатчик АР-98 к объекту виброизоляции.

2. Проверить, чтобы выход генератора сигналов был соединен с входным разъемом усилителя мощности. Выходы усилителя мощности, частотомера и вибростенда должны быть подключены через 3-х канальный переходник ко входу осциллографа, расположенного в нижнем левом углу на передней панели прибора.

3. Подключить оборудование (генератор сигналов Г6-34, усилитель мощности низкочастотный У4-27, частотомер электронный ЧЗ-38, осциллограф С1-79) к электрической сети 220 В.

4. Включить тумблер «Сеть» на всех приборах по очереди и выждать не менее 5 минут для прогрева оборудования.

Внимание! При возникновении перегрузки на усилителе мощности низкочастотном У4-27 на лицевой панели прибора загорается светодиод «ПЕРЕГРУЗКА» (поз. 4 рис. 9). В этом случае необходимо нажать на рядом расположенную кнопку (поз. 5 рис. 9) и если после этого снова загорается светодиод «ПЕРЕГРУЗКА», то необходимо выключить прибор тумблером «СЕТЬ» (поз. 1 рис. 9). Затем нужно перевести все переключатели в крайнее левое положение и включить прибор. Поворачивая ручку регулировки выходного напряжения (поз. 2 рис.9) установить такое выходное напряжение, при котором стрелка вольтметра будет находиться в пределах измерительной шкалы.

5. Установить на генераторе сигналов с помощью регулировочных ручек (поз. 1, 2 рис. 10) частоту возбуждения, контролируя ее значение по индикатору частотомера ЧЗ-38. Выставляемые частоты должны соответствовать среднегеометрическим частотам, по которым осуществляется нормирование общей вибрации в октавных полосах.



Рис. 9. Лицевая панель усилителя мощности низкочастотного У4-27

- 1 – тумблер «СЕТЬ»; 2 – ручка регулировки выходного напряжения;
3 – вольтметр; 4 – светодиод «ПЕРЕГРУЗКА»; 5 – кнопка для сброса перегрузки

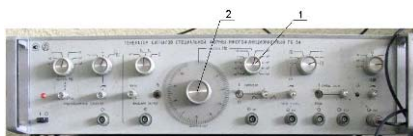


Рис. 10. Лицевая панель генератора сигналов специальной формы Г6-34:

- 1 – ручка регулировки диапазонов частот; 2 – ручка регулировки частоты

6. Произвести измерение уровня виброускорения объекта виброизоляции в режиме общей вибрации в направлении Z_0 .

6.1 Вибродатчик АР-98 с помощью соединительного провода АК 15 и переходника подсоединить к анализатору шума и вибрации «SVAN-912М».

6.2 Подключить шумомер к электросети и включить его, одновременно и одновременно нажав на кнопки « \uparrow » и «ВКЛ.».

6.3 Для подсветки экрана в случае необходимости, одновременно и одновременно нажать на кнопки « \uparrow » и « \star ЭКРАН».

6.4 Выбрать в главном меню пункт «НАСТРОЙКА», перемещая курсор стрелками « Δ » и « ∇ », нажать на кнопку «ВВОД / ПАУЗА». Для выбора пунктов меню используйте кнопку «ВВОД / ПАУЗА», для возврата на предыдущий уровень меню или отмены действий следует нажать на кнопку «ПЕЧАТЬ / ОТМЕНА».

6.5 Выбрать пункт «ДАЛЕЕ...» и проверить пункт «ПОЛЯР. МИК.». При работе шумомера от сети напротив указанного пункта меню должно стоять «200 V». При необходимости выбора данного или иного значения следует использовать кнопки « \triangleleft » и « \triangleright ».

6.6 Вернуться в главное меню и для измерения параметров вибрации в октавных или третьоктавных полосах по среднегеометрическим частотам выбрать пункт «АНАЛИЗАТОР».

6.7 После появления на ЖК-экране гистограммы нажать на приборе кнопку «НАСТР. ПРИБОР» и установить следующие пара-

метры: «ВХОД» – «Акселер.», «ПОЛОСА» – 22,6 kHz, «ДИАПАЗОН» – «130dB», «ФИЛЬТР» – «Lin».

6.8 Нажать кнопку «ФУНКЦ.». В пункте «ФУНКЦИЯ» установить «1/1 Окт.» – измерение будет проводиться в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8, 16, 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц.

6.9 В пункте «СКЗ_ДЕТ» установить «SLOW» – временная коррекция «медленно», в пункте «AV.TIME» выбрать «10s».

6.10 Нажав на приборе кнопку «*ЭКРАН» выбрать вид фиксируемых параметров. Рекомендуется в меню «ДИСПЛЕЙ» выбрать «1/1 Окт.», «Шкала-Y» – «Лог. 70 dB» - для измерения уровня виброскорости (виброускорения), «ЗАЛИВКА» – «Lines». При необходимости измерения абсолютных значений виброскорости, виброускорения или перемещения в пункте меню «Шкала-Y» следует выбрать соответственно «Скорость», «Лин.», «Перемещ.».

6.11 Завершив настройки прибора, приступить к непосредственному измерению уровня виброскорости (виброускорения), нажав кнопку «СТАРТ / СТОП».

6.12 По истечению рекомендуемого времени измерения нажать на кнопку «СТАРТ / СТОП». Перемещая курсор кнопками «◀» и «▶» зафиксировать уровни виброускорения по вышеуказанным среднегеометрическим частотам. В левом углу нижней части ЖК-экрана символом «F:» обозначается частота в Гц и кГц, символом «L:» – уровень виброускорения в дБ. При перемещении курсора в крайнее правое положение напротив символа «F:» появляется надпись «Total», обозначающая эквивалентный уровень виброускорения за время измерения по всему частотному диапазону, включая и ненормируемые частоты, ниже – выведено фактическое его значение. Результаты измерений записать в таблицу 3.

6.13 При необходимости измерения только эквивалентного скорректированного уровня виброускорения необходимо вернуться в главное меню и зайти в режим «ИЗМЕРИТЕЛЬ». Нажать на кнопку «ДИСПЛЕЙ» и выбрать логарифмическую шкалу. В настройках прибора выбрать фильтр «Wd» – при измерении общей вибрации по осям X_0 , Y_0 и фильтр «Wk» – по оси Z_0 , фильтр «Wh» – при измерении локальной вибрации. В пункте «СКЗ_ДЕТ» установить временную

коррекцию «медленно» («SLOW»). Для начала и окончания измерений нужно нажать на кнопку «СТАРТ / СТОП». По завершению измерения в центральной части экрана выводится текущее значение скорректированного уровня виброускорения, а в верхней части экрана рядом с обозначением «MTVV» – эквивалентного скорректированного уровня виброускорения за период измерения.

7. Выставить на генераторе сигналов с помощью регулировочных ручек следующую частоту возбуждения, соответствующую среднегеометрической частоте, по которой осуществляется нормирование вибрации, и повторить измерения пп. 6.11-6.13.

8. С помощью поворотной ручки повернуть вибрационный стол с закрепленным вибродатчиком на 90° и произвести измерения уровня виброускорения в направлении X_0Y_0 , повторив действия пп. 6.11-6.12, допуская, что вибрация в направлении оси X_0 совпадает по значению с вибрацией Y_0 .

9. С помощью поворотной ручки вернуть вибрационный стол в исходное положение.

Часть 2. Измерить уровень виброускорения в режиме общей вибрации на вибрационном стенде с использованием средств виброзащиты.

1. Закрепить объект виброизоляции на вибростоле.

2. Установить один из предложенных преподавателем виброзащитных модулей.

3. Произвести измерения уровня виброускорения в направлениях Z_0 , X_0Y_0 повторяя действия, описанные в пп. 6.11-6.13 и п. 7-9 первой части работы.

4. Результаты измерений по 2-му опыту внести в таблицу 3.

5. Снять установленный на вибростоле виброзащитный модуль и установить на его место другой модуль.

6. Повторить измерения аналогичным образом, опираясь на п. 3.

7. Результаты измерений по 3-му опыту внести в таблицу 3.

8. Выключить тумблер «сеть» на всех приборах по очереди.

Отключить все использованное оборудование от электрической сети.

9. Отсоединить датчик и кабель, поместить их в исходный чехол. Снять объект виброизоляции и виброзащитные модули, вернуть их на место для хранения.

**Результаты измерений параметров вибрации в октавных полосах частот и
определение эффективности средств виброзащиты**

№ опыта	Ось	Уровень виброускорения (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами (Гц)							Эквивалентный скорректированный уровень, дБ
		1	2	4	8	16	31,5	63	
1	Z ₀								
	X ₀ , Y ₀								
2	Z ₀								
	X ₀ , Y ₀								
	Э, %								
3	Z ₀								
	X ₀ , Y ₀								
	Э, %								

Порядок обработки и анализа результатов измерений

1. *Определить класс условий труда на рабочем месте при воздействии вибрационного фактора в режиме постоянной вибрации.*

1.1 Пользуясь данными таблиц 2-4 приложения 2 рассчитать по формуле 13, а также путем энергетического суммирования логарифмических уровней виброускорения логарифмический скорректированный уровень виброускорения.

1.2 Сравнить рассчитанные значения с ПДУ, приведенными в таблицах 7-9 приложения 2, установить класс условий труда.

1.3 Построить графические зависимости скорректированного уровня виброускорения от среднегеометрических частот для измеренных значений и ПДУ.

2. *Оценить эффективность различных видов виброзащиты.*

2.1 По результатам измерений оценить эффективность виброзащиты Э (%) для каждой октавной полосы частот и в целом:

$$\text{Э} = \frac{L - L_3}{L} \cdot 100, \% \quad (16)$$

где L и L_3 – уровень виброускорения без использования средств виброзащиты и с использованием соответственно, дБ.

2.2 Результаты расчетов внести в таблицу 3.

3. *Определить класс условий труда на рабочем месте при воздействии вибрационного фактора в режиме непостоянной вибрации.*

3.1 Рассчитать эквивалентный (по энергии) скорректированный уровень вибрации за рабочую смену, используя формулу 15 и также путем энергетического суммирования логарифмических уровней виброускорения с учетом поправок на время действия фактора, опираясь на данные таблиц 4-5 приложения 2. Считать, что на предполагаемом рабочем месте действует непостоянная вибрация: в течение 5 часов – с уровнем, соответствующим значению определенного эквивалентного скорректированного уровня виброускорения по одному из направлений Z_0 , X_0 , Y_0 для 1-го опыта; в течение 2-х часов – с уровнем на 8 дБ больше уровня для 1-го временного интервала, в течение 1 часа – с уровнем на 4 дБ больше относительно уровня для 2-го временного интервала.

3.2 Пользуясь таблицей 8 приложения 2 и опираясь на рассчитанные значения скорректированного эквивалентного (по энергии) уровня вибрации определить класс условий труда на рабочем месте.

4. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое вибрация и как она классифицируется?
2. К каким негативным изменениям в состоянии здоровья человека может приводить длительное воздействие на него вибрации?
3. Как осуществляется гигиеническая оценка постоянной и непостоянной вибрации, воздействующей на человека? Как производится измерение параметров общей и локальной вибрации на рабочих местах?
4. Какие существуют методы и средства вибрационной защиты? Приведите примеры.
5. Как произвести измерение параметров общей вибрации с помощью анализатора шума и вибрации «SVAN-912M»?

Лабораторная работа № 3.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАНУЛЕНИЯ

Цель работы – закрепление знаний о механизме и видах воздействия электрического тока на организм человека, основных факторах, влияющих на тяжесть поражения, а также оценка эффективности действия защитного заземления и зануления в электроустановках напряжением до 1000 В в сетях с изолированной и заземленной нейтралью.

Теоретические сведения

Согласно официальной статистике смертельный травматизм от поражения электрическим током в России составляет 2,7 % от общего числа смертельных случаев.

При включении человека в электрическую сеть образуется замкнутая «цепь поражения», степень опасности которой будет зависеть от величины тока, проходящего через тело человека I_q :

$$I_q = \frac{U_{np}}{R_q}, \text{ А} \quad (17)$$

где I_q – ток, проходящий через тело человека, А; U_{np} – напряжение прикосновения, В; R_q – сопротивление тела человека, Ом.

В зависимости от величины различают: *ощутимый пороговый ток* (для переменного тока – 0,6-1,5 мА, для постоянного – 5-7 мА); *неотпускающий пороговый ток*, приводящий к судорожным неконтрольным сокращениям мышц у человека и не позволяющий самостоятельно освободиться от его действия (для переменного тока – 10-15 мА, для постоянного – 50-60 мА); *фибрилляционный пороговый ток*, вызывающий фибрилляцию сердца (для переменного тока – 100 мА, для постоянного – 300 мА).

Помимо величины силы тока основными факторами, определяющими степень поражения человека, являются род и частота тока, путь прохождения его по телу и продолжительность воздействия, индивидуальные особенности организма и условия внешней среды.

Наиболее опасным считается воздействие на человека переменного тока частотой от 20 до 100 Гц. При увеличении времени контакта человека с источником тока тяжесть поражения растет. По направлению воздействия наиболее опасными считаются случаи прохождения тока через места с нервными окончаниями: «голова – руки», «голова – ноги», «рука – рука», «рука – ноги». К факторам, обусловленным особенностями организма человека и повышающим риск тяжелого поражения, относятся наличие заболеваний (например, сердечнососудистой и центральной нервной систем, органов дыхания и органов внутренней секреции), утомление, алкогольное опьянение, невнимательность

По степени опасности поражения человека электрическим током производственные помещения делятся на 3 категории: без повышенной опасности, с повышенной опасностью (характеризуются наличием одного из условий: температуры свыше +35°C, наличия токопроводящей пыли в значительных количествах, наличия токопроводящих полов; возможности одновременного прикосновения к заземленным металлоконструкциям и металлическим корпусам электрооборудования) и особо опасные (в которых выполняется одно или несколько условий: относительная влажность близка к 100 %; наличие химически активных или органических сред; одновременное наличие двух и более признаков помещений с повышенной опасностью; территории наружных электроустановок).

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей и животных от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Основные понятия, используемые для целей электробезопасности приведены в ГОСТ Р 12.1.009-2009 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Термины и определения». Ниже даны ключевые понятия, необходимые для понимания хода выполнения данной лабораторной работы.

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

Заземленная нейтраль – нейтраль сети, соединенная с землей наглухо или через резистор или реактор, сопротивление которого достаточно мало, чтобы существенно ограничить колебания переходного процесса и обеспечить значение тока, необходимое для селективной защиты от замыкания на землю.

Нейтраль, заземленная путем непосредственного присоединения к заземлителю или через малое сопротивление (трансформатор тока), называется также *глухозаземленной нейтралью*.

Изолированная нейтраль – нейтраль сети, которая не имеет соединений с землей, за исключением приборов сигнализации, измерения и защиты, имеющих весьма высокое сопротивление.

Заземлитель – проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, например, бетон.

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. Наиболее распространенными являются сети напряжением 380/220 В.

Нулевой защитный проводник (РЕ-проводник) – защитный проводник в электроустановках до 1 кВ, предназначенный для присоединения открытых проводящих частей к глухозаземленной нейтрали источника питания.

Нулевой рабочий (нейтральный) проводник (N-проводник) – проводник в электроустановках до 1 кВ, предназначенный для питания электроприемников и соединенный с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока.

Нейтральный проводник (нейтральная проводящая часть) – часть электроустановки, способная проводить электрический ток, потенциал которой в нормальном эксплуатационном режиме равен или близок к нулю.

PEN-проводник – проводник, совмещающий функции защитного проводника и нулевого рабочего проводника.

РЕМ-проводник – проводник, совмещающий функции защитного проводника и проводника средней точки.

РЕЛ-проводник – проводник, совмещающий функции защитного проводника и линейного проводника.

Замыкание на корпус – аварийное электрическое соединение токоведущей части с металлическими нетоковедущими частями электроустановки.

Замыкание на землю – аварийное электрическое соединение токоведущей части непосредственно с землей или нетоковедущими проводящими конструкциями или предметами, не изолированными от земли.

Ток утечки – электрический ток, протекающий по нежелательным проводящим путям в нормальных условиях эксплуатации.

Напряжение прикосновения – напряжение между проводящими частями при одновременном прикосновении к ним человека или животного.

Ток прикосновения – электрический ток, проходящий через тело человека или животного при прикосновении к одной или более доступной прикосновению части электроустановки или оборудования.

Шаговое напряжение – напряжение между двумя точками на поверхности земли, находящимися на расстоянии 1 м одна от другой, которое рассматривается как длина шага человека.

Воздействие электрического тока на организм человека

Электрический ток в зависимости от ряда факторов может оказывать на организм человека термическое, электролитическое, биологическое или механическое воздействие, приводящее к различным видам электротравм, которые в зависимости от характера и области поражения, делятся на две группы:

1) *Общие электротравмы или электрические удары*, поражающие весь организм человека в целом и вызывающие судорожные сокращения мышц, и функциональные расстройства.

2) *Местные электротравмы*, представляющие собой ярко выраженные локальные нарушения целостности кожи, тканей, связок и в крайних случаях – костей.

Электрические удары по тяжести поражения человека подразделяются на четыре степени: удары *1-ой степени* характеризуются судорожными сокращениями мышц без потери сознания;

2-ой степени – судорожными сокращениями мышц с потерей сознания; 3-ей степени – нарушением работы сердца или легких; 4-ой степени – состоянием клинической смерти, наступающей после фибрилляции волокон сердечной мышцы и мышц грудной клетки.

К местным электротравмам относятся:

– *электрические ожоги*, которые бывают токовыми (контактными), возникающими при прохождении тока непосредственно через тело человека, и дуговыми, возникающими вследствие теплового воздействия электрической дуги на тело человека;

– *электрические знаки или метки*, представляющие собой припухлости с затвердевшей в виде мозоли кожей серого или желтовато-белого цвета и возникающие при хорошем контакте с токоведущими частями;

– *металлизация кожи*, вызванная проникновением в верхние слои кожи паров и мельчайших частиц расплавленного металла при возникновении электрической дуги;

– *электроофтальмия*, характеризующаяся воспалением наружных оболочек глаз под действием мощного потока ультрафиолетовых лучей электрической дуги;

– *механические электротравмы (разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани, вывихи суставов, переломы костей)*, возникающие в результате резких сокращений мышц непосредственно под действием протекающего по ним электрического тока.

Гигиеническое нормирование действия электрического тока

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека по пути «рука – рука» или «рука – нога» при нормальном режиме электроустановок регламентированы ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» и приведены в таблице 1 приложения 3.

Основные требования к эксплуатации электроустановок и квалификации обслуживающего персонала приведены в «Правилах по охране труда при эксплуатации электроустановок», утвержденных приказом Минтруда России от 15.12.2020 № 903н и в «Правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденных приказом Минэнерго России от 13.01.2003 № 6.

Методы и средства защиты от поражения электрическим током

Классификация всех методов и средств защиты от поражения электрическим током приведена в ГОСТ Р 12.1.019-2009 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям применяются защитные оболочки, ограждения и барьеры, предупредительная сигнализация, блокировки, знаки безопасности, защитное отключение, изоляция рабочего места, изоляция токоведущих частей и безопасное их расположение, малое напряжение, электрическое разделение.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют защитное заземление, зануление, выравнивание потенциалов, защитное экранирование, систему защитных проводов, защитное отключение, изоляцию нетоковедущих частей, электрическое разделение сети, малое напряжение, электроизоляционные средства и средства индивидуальной защиты, осуществляют своевременный контроль изоляции.

Для обеспечения защиты от поражения термическим действием электрической дуги при работах в электроустановках следует использовать специальные защитные термостойкие комплекты, включающие одежду, обувь, средства защиты головы и рук.

Ниже несколько подробнее рассмотрены основные технические средства обеспечения электробезопасности.

Основная изоляция – изоляция опасных токоведущих частей, которая обеспечивает защиту от прямого прикосновения.

Дополнительная изоляция – независимая изоляция, применяемая дополнительно к основной изоляции для защиты при повреждении.

Двойная изоляция – изоляция, включающая в себя основную и дополнительную изоляцию.

Усиленная изоляция – изоляция опасных токоведущих частей, обеспечивающая степень защиты от поражения электрическим током, эквивалентную степени защиты, обеспечиваемой двойной изоляцией.

Защитное заземление – преднамеренное или случайное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

Снижение до безопасных значений напряжений прикосновения, обусловленных замыканием на корпус, достигается уменьшением сопротивления заземлителя или выравниванием потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования (рис. 11).

Сила тока, проходящего через тело человека, прямо пропорциональна сопротивлению заземлителя:

$$I_q = I_3 \cdot \frac{R_3}{R}, \text{ А} \quad (18)$$

где I_q – сила тока, проходящего через тело человека, А; I_3 – сила тока, проходящего через заземлитель, А; R_3 – сопротивление заземлителя, Ом, R – суммарное сопротивление человека, обуви и пола, Ом.

Зануление – преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу электроустановки, оказавшимся под напряжением, достигается превращением замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание (т.е. замыкание между фазным и нулевым защитным проводниками) с целью вызвать большой ток, вызывающий срабатывание средств защитного отключения (рис. 12).

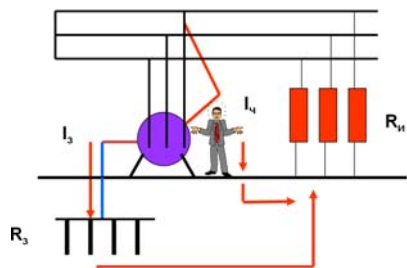


Рис. 11. Принципиальная схема защитного заземления в сети трехфазного тока с изолированной нейтралью

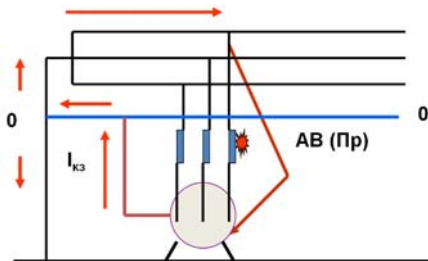


Рис. 12. Принципиальная схема зануления в сети трехфазного тока с заземленной нейтралью

Средства защиты срабатывают при выполнении условия:

$$I_{кз} \geq I_{ном} \cdot K, \text{ А} \quad (19)$$

где $I_{кз}$ – сила тока короткого замыкания, А; $I_{ном}$ – сила номинального тока срабатывания защиты, А; K – коэффициент кратности тока.

Таким образом, зануление осуществляет быстрое автоматическое отключение поврежденной установки от питающей сети (только при замыкании на корпус) и снижает напряжение зануленных металлических нетокопроводящих частей, оказавшихся под напряжением относительно земли.

Защитное отключение – быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения током, а также при аварийном режиме.

Такая опасность может возникнуть, при замыкании фазы на корпус, снижении сопротивления изоляции сети, при прикосновении человека к токоведущей части, находящейся под напряжением.

Основными элементами устройства защитного отключения (УЗО) являются прибор защитного отключения и исполнительный орган (автоматический выключатель). Прибор защитного отключения представляет собой совокупность отдельных элементов, которые воспринимают входную величину, реагируют на ее изменения и при заданном ее значении дают сигнал на отключение выключателя. Автоматический выключатель производит отключение соответствующего участка электроустановки (электрической сети) при получении сигнала от прибора защитного отключения.

При пробое фазы на корпус оборудования срабатывает реле напряжения (РН), настроенное на уставку с определенным временем срабатывания, воздействующую на контактор (К), отключающий электроустановку. УЗО должны обладать высокой чувствительностью (способностью реагировать на малые изменения входной величины), коротким временем отключения, составляющим 0,05-0,2 с., селективностью действия (способностью отключать от сети лишь поврежденный объект), самодиагностикой и контролем исправности, достаточной надежностью.

Малое напряжение – напряжение, не превышающее 50 В переменного и 120 В постоянного тока.

Выравнивание потенциалов – обеспечение электрической связи между открытой проводящей частью и находящимися в земле или проводящем полу проводящими частями (проводниками), предназначенной для обеспечения близкого по значению потенциала между открытой проводящей частью, к которой может прикасаться человек, и поверхностью земли или проводящего пола.

Защитное разделение цепей – отделение одной электрической цепи от другой с помощью: двойной изоляции; основной изоляции и защитного экранирования; усиленной изоляции.

Приборы и оборудование, используемые в работе

Лабораторный стенд, позволяющий моделировать два способа защиты: защитное заземление и зануление и представляющий собой настольную конструкцию с вертикальной передней панелью (рис. 13).

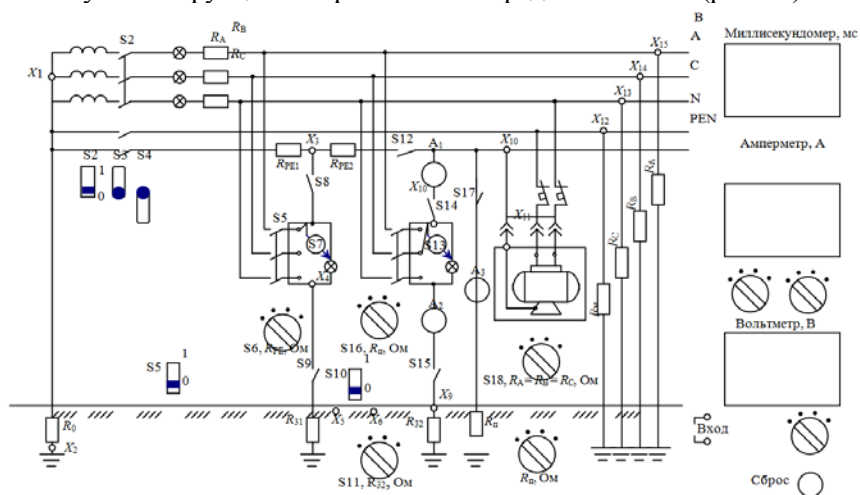


Рис. 13. Мнемосхема стенда по оценке эффективности действия защитного заземления и зануления

На лицевой панели стенда изображена мнемосхема исследуемой системы «электрическая сеть – человек», которая содержит изображение источника питания (трехфазной сети), фазных и защитных проводников, электропотребителя, УЗО и цепи, имитирующие прикосновение человека к фазным проводам.

Подключение корпусов 1 и 2 к РЕ-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 РЕ-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 РЕ-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 РЕ-проводнику с помощью переключателя S17. Значение сопротивления R_{Π} изменяется трехпозиционным переключателем S19 и может принимать значения 0; 0,1; 0,5 Ом.

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 РЕ-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».

Порядок выполнения работы:

Часть 1. Оценить эффективность защитного заземления

Задание 1.1. Оценить эффективность защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных трехпроводных сетей с изолированной нейтралью напряжением до 1 кВ

1. Проверить, чтобы стенд был выключен (переключатель S2 должен находиться в положении «0»). Лампы не горят.

2. Проверить, чтобы переключатели S8, S14, S17, S9 и S15 находились в левом положении, а переключатель S12 – в нижнем.

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

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

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

6. Включить стенд, переведя переключатель S2 в положение «1». При этом должны загореться лампы.

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

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

9. 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). *Важно! При измерении напряжения необходимо отключить амперметр (переключатель амперметра – в положение «Откл»).*

15. Измерить силу тока 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 1.2. Оценить эффективность защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных трехпроводных сетей с изолированной нейтралью напряжением до 1 кВ при двойном замыкании на заземленные корпуса электроустановок

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). *Важно! 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»).

7. Результаты измерений внести в таблицу 5.

Задание 1.3. Оценить эффективность защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных пятипроводных сетей с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ

1. Отключить корпус 1 от сети, переведя переключатель S5 в положение «0», заземлить нейтраль источника тока (S1 – в правое положение) и подключить N- и РЕ-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. Результаты измерений внести в таблицу 4.

Часть 2. Оценить эффективность действия зануления.

Задание 2.1. Установить время срабатывания автоматов защиты и силу тока короткого замыкания при замыкании фазного провода на корпус при различном сопротивлении петли «фаза-нуль».

1. Заземлить нейтраль источника тока (S1 – в правое положение).

2. Подключить N- и РЕ-проводник к источнику тока (S3, S4, S12 – в верхнее положение).

3. Подключить корпуса 1 и 2 к РЕ-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. Переключателями S6 и S16 установить значения $R_{PE} = 0,1$ Ом и $R_{пер} = 0$ Ом соответственно.

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 $R_{PE} = 0,5$ Ом и произвести измерения времени и тока КЗ аналогично пп. 7, 8.

10. Повторить измерения пп. 6-9, устанавливая значения $R_{пер} = 0,1$ Ом и $R_{пер} = 0,5$ Ом.

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

Задание 2.2. Определить распределение потенциалов вдоль PE-проводника без и при наличии повторного заземления.

1. Переключателями S6 и S16 соответственно установить значения $R_{PE} = 0$ 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 «A1») и время срабатывания.

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

8. Подключить повторное заземление PEN-проводника (S17 – в правое положение), установить значения $R_{п} = 0$ (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 АЗ, 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 2.3. Оценить эффективность использования повторного заземления РЕ-проводника при его обрыве.

1. Отключить повторное заземление R_{Π} от РЕ-проводника – переключатель S17 в левое положение. Произвести обрыв РЕ-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 АЗ, измерить ток замыкания на землю.

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

8. Подключить повторное заземление к РЕ-проводнику (S17 – в правое положение, S10 – в положение «1»). Установить $R_{\Pi} = 4$ 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 $R_{\text{п}}$, 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. Результаты измерений внести в таблицу 5.

Таблица 4

Результаты оценки эффективности защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных сетей с напряжением до 1 кВ

№ серии опытов	Активное сопротивление изоляции, $R_{\text{и}}$, кОм	Сопротивление РЕ-проводника, R_{PE} , Ом	Сопротивление $R_{\text{з2}}$, Ом	Сила тока замыкания на землю, I_{A2} , А	Напряжение на участке, U, В															
					X8-X2	X2-X15	X2-X14	X2-X13	X8-X9	X8-X6	X8-X5	X4-X2	X1-X2							
<i>Задание 1.1</i>																				
1																				
2																				
<i>Задание 1.2</i>																				
3																				
<i>Задание 1.3</i>																				
4																				

Таблица 5

Результаты оценки эффективности зануления в электроустановках, питающихся от трехфазных сетей с напряжением до 1 кВ

№ серии опытов	Сопротивление РЕ-проводника, R_{PE} , Ом	Переходное сопротивление, $R_{свzл}$, Ом	Сила тока короткого замыкания, I_{kz} , А и время срабатывания уставки T ,	Сопротивление повторного заземлителя, $R_{\text{пз}}$, Ом	Напряжение на участке, U , В				Сила тока замыкания на землю, I_{kz} , А
					X1-X2	X4-X2	X8-X2	X11-X2	
<i>Задание 2.1</i>									
1									
2									
3									
<i>Задание 2.2</i>									
4									
<i>Задание 2.3</i>									
5									

Порядок обработки и анализа результатов измерений

1. Проанализировать результаты измерений, проведенных при различных режимах работы электроустановки.

2. Построить графики распределения напряжения PEN-проводника относительно земли по его длине при отсутствии и наличии повторного заземления.

3. Построить графики распределения напряжения PEN-проводника относительно земли по его длине при обрыве PEN-проводника и замыкании на корпус 2.

4. Сделать выводы по работе, акцентировав внимание на результатах измерений, полученных при выполнении каждого из заданий.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы определяют тяжесть поражающего действия электрического тока на человека? Что такое осязаемый пороговый, неотпускающий и фибрилляционный ток?

2. Поясните значение следующих терминов: PE-проводник, N-проводник, PEN-проводник, PEN-проводник, PEL-проводник, напряжение прикосновения, заземленная нейтраль, изолированная нейтраль, шаговое напряжение.

3. Какое действие может оказывать электрический ток на человека? На какие группы делятся электротравмы? Приведите примеры.

4. Как классифицируются методы и средства защиты от поражения электрическим током? Приведите примеры.

5. Что такое защитное заземление и зануление?

Лабораторная работа № 4.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ТРЕХФАЗНЫХ СЕТЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ И ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

Цель работы – исследование влияния активного сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли на опасность поражения человека электрическим током при нормальном и аварийном режимах работы электрических сетей напряжением до 1 кВ, оценка работоспособности устройства защитного отключения.

Теоретические сведения

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

В промышленности применяют преимущественно трехфазные и значительно реже однофазные сети.

Трехфазные сети в зависимости от того, изолирована нейтраль от земли или заземлена, и наличия нейтрального или нулевого проводника бывают трехпроводными и четырехпроводными с изолированной и с заземленной нейтралью (рис. 14).

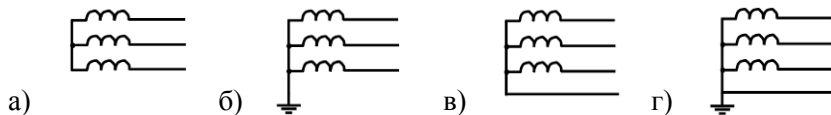


Рис. 14. Схемы трехфазных сетей:

- а) трехпроводная с изолированной нейтралью; б) трехпроводная с заземленной нейтралью; в) четырехпроводная с изолированной нейтралью; г) четырехпроводная с заземленной нейтралью

Тяжесть поражения человека электрическим током зависит от фактической величины напряжения прикосновения, определяемой схемой включения человека в электрическую цепь и значений линейного и фазного напряжений.

Линейное напряжение ($U_{л} = 380 \text{ В}$) – это напряжение между двумя фазами линии. *Фазное напряжение* ($U_{ф} = 220 \text{ В}$) – напряжение между фазой и нулевым проводником. Линейное напряжение взаимосвязано с фазным напряжением следующим соотношением:

$$U_{л} = \sqrt{3} \cdot U_{ф}, \text{ В} \quad (20)$$

Наиболее опасны случаи двухфазного прикосновения: к двум фазным проводам или к фазному и нулевому проводам (рис. 15)

В первом случае к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение – линейное, а ток, проходящий через тело человека, имеет наибольшее значение:

$$U_{пр} = I_{ч} \cdot R_{ч} = U_{л} = 380, \text{ В} \quad (21)$$

$$I_{ч} = \frac{U_{л}}{R_{ч}}, \text{ А} \quad (22)$$

Во втором случае к телу человека прикладывается меньшее напряжение – фазное, а ток, проходящий через тело человека, имеет несколько меньшее значение:

$$U_{пр} = I_{ч} \cdot R_{ч} = U_{ф} = 220, \text{ В} \quad (23)$$

$$I_{ч} = \frac{U_{ф}}{R_{ч}}, \text{ А} \quad (24)$$

где $I_{ч}$ – сила тока, проходящего через тело человека, А; $U_{пр}$ – напряжение прикосновения, В; $R_{ч}$ – сопротивление тела человека, Ом.

Однофазное прикосновение к токоведущим частям сетей с заземленной нейтралью (рис. 16) случается чаще, но менее опасно, чем двухфазное прикосновение, так как в цепь поражения включается сопротивление обуви $R_{об}$ и пола $R_{п}$.

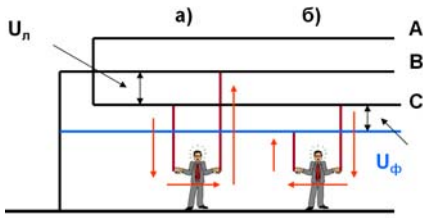


Рис. 15. Схема двухфазного прикосновения к токоведущим частям:
 а) прикосновение к двум фазным проводам; б) прикосновение к фазному и нулевому проводу

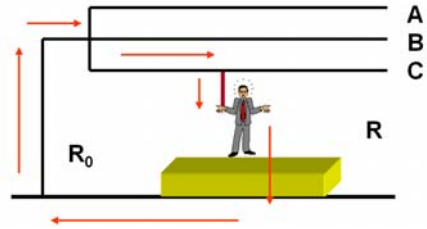


Рис. 16. Схема однофазного прикосновения к токоведущим частям сети с заземленной нейтралью

При прикосновении к одной из фаз трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью человек оказывается практически под фазным напряжением U_ϕ , а величина силы тока, проходящего через него, равна частному от деления U_ϕ на сумму R и R_0 :

$$U_{\text{пр}} = \frac{U_\phi \cdot R_{\text{ч}}}{R}, \text{ В} \quad (25)$$

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_\phi}{R + R_0}, \text{ В} \quad (26)$$

где $U_{\text{пр}}$ – напряжение прикосновения, В; $I_{\text{ч}}$ – сила тока, проходящего через тело человека, А; R – общее сопротивление, равное сумме сопротивлений: тела человека ($R_{\text{ч}}$), обуви ($R_{\text{об}}$) и пола ($R_{\text{п}}$); Ом; R_0 – сопротивление рабочего заземления, Ом.

Однофазное прикосновение к токоведущим частям сети с изолированной нейтралью менее опасно, чем прикосновение к частям сети с заземленной нейтралью при нормальном сопротивлении изоляции $R_{\text{и}}$ (Ом).

Сила тока, проходящего через тело человека в данном случае, будет определяться по формуле:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_\phi}{R + \sum R_{\text{и}}}, \text{ В} \quad (27)$$

При одинаковом сопротивлении изоляции $R_{и}$ каждой фазы суммарное сопротивление изоляции $\sum R_{и}$ равно:

$$\sum R_{и} = R_{и} / 3, \text{ В} \tag{28}$$

Тяжесть поражения человека током при однофазном прикосновении его к токоведущим частям сети с изолированной нейтралью возрастает по мере увеличения протяженности сети из-за наличия емкостного тока.

Приборы и оборудование, используемые в работе

Лабораторный стенд (рис. 17) представляет настольную конструкцию с вертикальной панелью, на которой изображена мнемосхема исследуемой системы «электрическая сеть – электропотребители». Мнемосхема содержит изображение источника питания (трехфазная сеть), фазных и защитных проводников, электропотребителей (корпуса 1, 2 и 3) и автоматических выключателей.

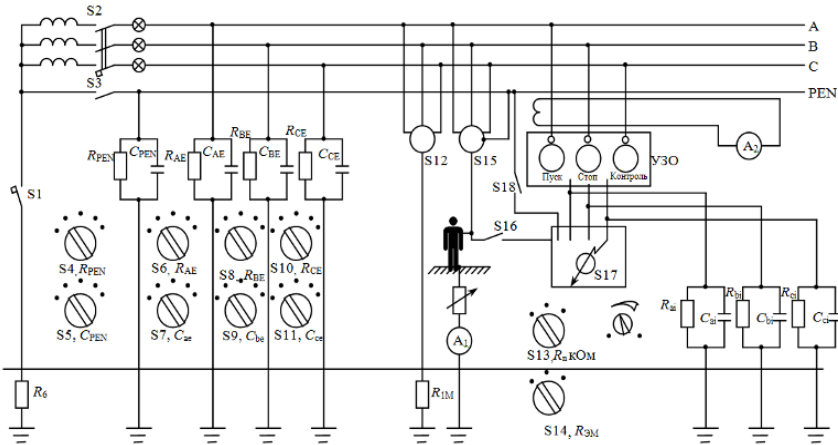


Рис. 17. Мнемосхема стенда по анализу электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1 кВ и оценке работоспособности УЗО

Стенд позволяет моделировать источник питания сети; трехфазный потребитель электроэнергии, подключенный к сети с использованием УЗО, а также два типа сети: трехфазную трехпровод-

ную с изолированной нейтралью и трехфазную четырехпроводную с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ.

Стенд включается автоматом S2 (положение переключателя – «1»). При этом загораются индикаторы (желтого, зеленого и красного цветов), расположенные рядом с фазными проводами А, В, С. Значения 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 устанавливаются с помощью переключателей S4-S10.

Переключатели S1, S3, S12, S14, S15, S16 предназначены для выполнения следующих функций: подключения PEN-провода (S3); изолирования и заземления нейтрали исследуемой сети (S1) при значении сопротивления заземления нейтрали 4 Ом; моделирования аварийных режимов работы исследуемых сетей (S12 – для установления нормального режима работы сети (положение «0») либо замыкания фазных проводов А, В, С на землю (положения «А», «В», «С») и S14 – для установления сопротивления растеканию тока в месте замыкания на землю $r_{зм}$ равным 10, 100 или 1000 Ом); моделирования прямого прикосновения человека к токоведущей части (S15 в положениях «А», «В», «С», «PEN» – прикосновение человека к фазным проводам А, В, С и PEN-проводу соответственно, S16 – положение «УЗО» моделирует касание человеком фазного провода на стороне трехфазного потребителя электроэнергии).

Тело человека имитируется в схеме резистором R_h , который может подключаться к каждому проводу сети или к проводу сети на стороне трехфазного потребителя электроэнергии, подключенного к сети через УЗО. Значение сопротивления цепи тела человека может быть задано дискретно (1, 5, 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. С помощью кнопки S17 моделируется замыкание фазного провода на корпус.

На лицевой панели УЗО кнопки «Пуск» и «Стоп» служат для подключения и отключения трехфазного потребителя к сети, а кнопка «Контроль» – для оперативного контроля УЗО. 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 в процессе выполнения работы не меняются.

В правой части лицевой панели стенда размещены индикаторы 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 и уставки УЗО. Вольтметр подключается к фазным проводам А, В, С с помощью переключателя фаз и служит для измерения напряжений фазных проводов относительно земли.

Порядок выполнения работы:

Часть 1. Оценить электробезопасность трехфазной электрической сети напряжением до 1 кВ

Задание 1.1. Проанализировать опасность поражения человека электрическим током при прямом прикосновении к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью.

1. Изолировать нейтраль, переведя переключатель S1 в левое положение, отключить PEN-провод, поставив переключатель S3 в нижнее положение, отключить замыкание фазы на землю – перевести переключатель S12 в положение «0». Включить стенд, переведя S2 в положение «1».

2. Определить значения фазных напряжений источника электроэнергии. Установить значения активных сопротивлений изоляции фазных проводов относительно земли $R_{\phi}=1$ кОм (переключатели S6, S8, S10) и емкостей фазных проводов относительно земли $C_{\phi}=2,5$ мкФ (переключатели S7, S9, S11). Установить переключатели S15 в положение «0». Измерить напряжения фазных проводов относительно земли U_{A3} , U_{B3} , U_{C3} , которые в данных условиях симметрии изоляции фаз относительно земли равны значениям соответствующих фазных напряжений источника.

3. Исследовать зависимость условий электробезопасности от состояния симметричной изоляции при нормальном режиме работы сети.

3.1 Переключателем S13 установить значения сопротивления тела человека R_h в соответствии с одним из вариантов, приведенных в таблице 1 приложения 4. Ручка регулятора резистора R_h должна находиться в положении «0».

3.2 Установить переключателем S15 режим прикосновения к фазе «А».

3.3 Установить значения емкостей фазных проводов относительно земли $C_\phi=0,02$ мкФ (переключатели S7, S9, S11) а значения активных сопротивлений изоляции фазных проводов относительно земли $R_\phi=\infty$ (переключатели S6, S8, S10).

3.4 Измерить напряжения фазных проводов относительно земли U_{A3} , U_{B3} , U_{C3} и силу тока I_h , проходящего через тело человека с помощью амперметра, переведя его переключатель в положение «A1» и выбрав необходимый предел измерения.

3.5 Повторить измерения п. 3.4, установив последовательно значения активных сопротивлений изоляции фазных проводов относительно земли $R_\phi=100, 25, 10, 2,5, 1$ кОм.

4. Исследовать зависимость условий электробезопасности от состояния несимметричной изоляции при нормальном режиме работы сети.

4.1 Переключателем S13 установить значения сопротивления тела человека R_h в соответствии с вариантом задания. Ручка регулятора резистора R_h должна находиться в положении «0».

4.2 Установить значения емкостей фазных проводов относительно земли C_A, C_B, C_C (переключатели S7, S9, S11) и значения активных сопротивлений изоляции фазных проводов относительно земли R_A, R_B, R_C (переключатели S6, S8, S10) в соответствии с ранее принятым вариантом задания.

4.3 Установить переключателем S15 режим прикосновения к фазе «А».

4.4 Измерить напряжения фазных проводов относительно земли U_{A3} , U_{B3} , U_{C3} и силу тока I_h , проходящего через тело человека с помощью амперметра, переведя его переключатель в положение «A1» и выбрав необходимый предел измерения.

4.5 Повторить измерения п. 4.4, установив последовательно режимы прикосновения человека к фазам «В» и «С», а также режим отсутствия прикосновения, пользуясь переключателем S15.

5. Исследовать зависимость условий электробезопасности от состояния несимметричной изоляции при аварийном режиме работы сети.

5.1 Установить режим замыкания одного из фазных проводов на землю в соответствии с заданием, переведя переключатель S12 в соответствующее положение («А», «В» или «С»).

5.2 Переключателем S14 установить значение $R_{зм}$ в соответствии с заданием. Повторить действия, описанные в пп. 4.2-4.5.

5.3 Выключить стенд, переведя S2 в положение «0».

5.4 Результаты измерений внести в таблицу 7.

Задание 1.2. Проанализировать опасность поражения человека электрическим током при прямом прикосновении к проводу трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью.

1. Исследовать зависимость условий электробезопасности от состояния изоляции при нормальном режиме работы сети.

1.1 Заземлить нейтраль, переведя переключатель S1 в правое положение, подключить PEN-провод, поставив переключатель S3 в нижнее положение, переключатель S12 оставить в положении «0».

1.2 Установить значения активных сопротивлений изоляции (переключатели S4, S6, S8, S10) и емкостей (переключатели S5, S7, S9, S11) фазных проводов и PEN-провода относительно земли в соответствии с вариантом задания.

1.3 Установить значение сопротивления R_h в соответствии с вариантом задания переключателем S13. Ручка регулятора резистора R_h должна находиться в положении «0».

1.4 Поставить переключатель S15 в положение «А».

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

1.6 Произвести измерение тока I_{hA} в цепи тела человека с помощью амперметра, выбрав необходимый предел измерения. Переключатель амперметра в положении «А1».

1.7 Повторить измерения тока в цепи тела человека I_{hB} , I_{hC} для положений «В» и «С» переключателя S15.

2. Исследовать зависимость условий электробезопасности от состояния изоляции при аварийном режиме работы сети (когда один из фазных проводов замкнулся на землю).

2.1 Перевести переключатель S12 в любое из трех положений. Переключателем S14 установить значение $R_{зм}$ по заданию.

2.2 Повторить действия п. 1 задания 1.2. Выключить стенд.

2.3 Результаты измерений внести в таблицу 7.

Часть 2. Провести оценку работоспособности устройства защитного отключения, реагирующего на дифференциальный ток в сети с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ.

Задание 2.1. Определить уставку и время срабатывания УЗО.

1. Переключатель S1 перевести в правое положение, установив режим глухозаземленной нейтрали, S3 в верхнее – подключив нулевой провод, S12 в положение «0».

2. Установить переключатель S15 в положение УЗО, S13 в положение «1 кОм», а ручку резистора R_h в положение «100 кОм», переключатель S18 – в левое положение.

3. Включить стенд. Включить УЗО нажатием кнопки «Пуск» (при этом загорается красный индикатор на лицевой панели УЗО).

4. Нажать кнопку S16, имитируя этим прикосновение человека к фазному проводу в зоне защиты УЗО. Значение тока уставки измеряется по амперметру (положение переключателя «A2»). Ток уставки измеряется на пределе амперметра «200 мА». 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 силы тока, при которой произойдет срабатывание УЗО, соответствует току уставки. При срабатывании УЗО красный индикатор на панели погаснет.

6. Не меняя положения ручки резистора R_h измерить значение времени срабатывания УЗО при дифференциальном токе, равном уставке срабатывания. Для этого нужно включить УЗО нажатием кнопки «Пуск», обнулить показания миллисекундомера, нажав на кнопку «Сброс», нажать кнопку S16 и зарегистрировать показания.

7. Повторить еще 2 раза измерения п. 6 при других значениях дифференциального тока, каждый раз предварительно поворачивая

ручку резистора против часовой стрелки на некоторый угол по направлению к положению «0». Выключить стенд. внести в таблицу 7.

Задание 2.2. Оценить работоспособность УЗО совместно с занулением в четырехпроводной сети с заземленной нейтралью.

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

2. Включить стенд. Включить УЗО, нажав кнопку «Пуск».

3. Замкнуть фазный провод на корпус потребителя электроэнергии, нажав кнопку S17. УЗО должно сработать, отключив потребитель электроэнергии от сети за определенное время.

4. Зарегистрировать время срабатывания УЗО по миллисекундомеру, предварительно обнулив его нажатием на кнопку «Сброс», и значение силы тока срабатывания УЗО по амперметру (положение переключателя – «A2», предел измерений – «200 мА»).

5. Отключить стенд. Результаты измерений внести в таблицу 7.

Задание 2.3. Оценить работоспособность УЗО в трехфазной сети с изолированной нейтралью.

1. Изолировать нейтраль, переведя переключатель S1 в левое положение, отключить нулевой провод, поставив переключатель S3 в нижнее положение, отключить замыкание фазы на землю – перевести переключатель S12 в положение «0». Переключатель S18 перевести в левое положение – зануление корпуса отсутствует.

2. Установить значение сопротивления R_h в соответствии с вариантом задания переключателем S13. Ручка регулятора резистора R_h должна находиться в положении «0».

3. Установить режим прикосновения к фазе в защищаемой зоне сети, переведя переключатель S15 в положение «УЗО».

4. Установить режим несимметрии значений активных сопротивлений изоляции (переключатели S4, S6, S8, S10) и емкостей (переключатели S5, S7, S9, S11) фазных проводов относительно земли в соответствии с вариантом задания.

5. Включить стенд. Включить УЗО нажатием кнопки «Пуск». Нажать кнопку S16, зарегистрировать время срабатывания УЗО по миллисекундомеру, предварительно обнулив его нажатием на кнопку «Сброс».

6. Отключить стенд. Результаты измерений внести в таблицу 7.

Таблица 7

Результаты оценки электробезопасности трехфазных сетей с напряжением до 1 кВ и оценки работоспособности УЗО

№ оп-ы-тов	Емкости проводов относительно земли, C , мкФ				Активные сопротивления изоляции относительно земли, R , кОм				Сопротивление замыкания фазы на землю, $R_{зм}$, Ом	Сопротивление цепи тела человека, R_h , кОм	Напряжение между фазным проводом и заземлителем, U , В			Сила тока, I_h , mA	Время срабатывания t_h , мс
	C_{AE}	C_{BE}	C_{CE}	C_{PEN}	R_{AE}	R_{BE}	R_{CE}	R_{PEN}			Фаза	$R_{зм}$	U_{A3}		
<i>Задание 1.1</i>															
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
<i>Задание 1.2</i>															
16															
17															
18															
<i>Задание 2.1</i>															
19															
20															
21															
<i>Задание 2.2</i>															
22															
<i>Задание 2.3</i>															
23															

Порядок обработки и анализа результатов измерений

1. Проанализировать результаты измерений, проведенных при различных режимах работы электроустановки.

2. Построить графики зависимости $U_{\text{пр}} = f(R_{\text{ф}})$ при фиксированных значениях $C_{\text{ф}}$ по результатам выполнения задания 1.1 п. 3.

3. На основе данных, полученных в результате выполнения остальных заданий в работе, построить гистограммы или графики. По результатам измерений при выполнении задания 2.2 построить график зависимости быстродействия срабатывания УЗО от величины дифференциального тока.

4. Сделать выводы по работе, проанализировав полученные зависимости.

Контрольные вопросы

1. Какие Вы знаете сети переменного тока и схемы трехфазных сетей?

2. Что такое нулевая точка, изолированная и глухозаземленная нейтраль?

3. Какие схемы включения человека в цепь тока Вы знаете и какая из них наиболее опасна?

4. В чем состоит принципиальное отличие защитного заземления от защитного зануления?

5. Что такое УЗО и какие требования к ним предъявляются?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. «Шум. Общие требования безопасности». Введ. 2015-11-01. М.: Стандартиформ. 2015. 24 с.
2. ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997). «Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования». Введ. 2008-07-01. М.: Стандартиформ. 2010. 28 с.
3. ГОСТ 31192.1-2004 (ИСО 5349-1:2001). «Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования». Введ. 2008-07-01. М.: Стандартиформ. 2008. 28 с.
4. ГОСТ ISO 9612-2016 «Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах». Введ. 2017-09-01. М.: Стандартиформ. 2019. 46 с.
5. ГОСТ 12.1.029-80 Система стандартов безопасности труда. «Средства и методы защиты от шума. Классификация». Введ. 1981-07-01. М.: ИПК Издательство стандартов. 2001. 4 с.
6. Приказ Минтруда России от 24.01.2014 № 33н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению (с изменениями на 27.04.2020)».
7. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах». Введ. 2017-01-01. 2017. 104 с.
8. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы. Введ. 1996-10-31. М.: Госкомсанэпиднадзор России. 2018. 11 с.
9. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий». Ввод. 1996-10-31. М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России. 1994. 22 с.
10. Управление Роспотребнадзора по Волгоградской области [Электронный ресурс]: Воздействие производственных вибраций на организм рабочих URL: <http://34.rosпотреbnadzor.ru/content/187/5749/> (дата обращения: 25.01.2021).

Приложение 1

Таблица 1

Предельно допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука на рабочих местах при выполнении всех видов работ

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука и эквивалентный уровень звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Таблица 2

Определение класса условий труда при воздействии акустического фактора

Класс (подкласс) условий труда при воздействии шума (по значению эквивалентного уровня звука, дБА)					
допустимый	вредный				опасный
2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
≤ 80	> 80-85	> 85-95	> 95-105	> 105-115	> 115

Продолжение приложения 1

Таблица 3

Предельно допустимые уровни звука на рабочих местах для некоторых видов деятельности согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы»

№	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука L_A и эквивалентные уровни звука $L_{Aэкв.}$ (дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Продолжение приложения 1

Окончание табл. 3

№	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука L_A и эквивалентные уровни звука $L_{A_{экв}}$ (дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории; рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в лабораториях	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60
3	Рабочие места в кабинах машинистов тепловозов, электровозов, поездов метрополитена, дизель-поездов	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
4	Рабочие места водителей и обслуживающего персонала (пассажиров) легковых автомобилей и автобусов	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
5	Рабочие места в кабинах и салонах самолетов и вертолетов:										
	допустимые	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
	оптимальные	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Продолжение приложения 1

Таблица 4

Допустимые, эквивалентные и максимальные уровни звука для помещений жилых и общественных зданий и территорий жилой застройки согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы»

№	Назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука L_A и эквивалентные уровни звука $L_{Aэкв.}$ дБА	Максимальные уровни звука $L_{Amax.}$ дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории учебных заведений, конференц-залы, читальные залы библиотек		79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
2	Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях	с 7 до 23 ч	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
		с 23 до 7 ч	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45

Продолжение приложения 1

Окончание табл. 4

№	Назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука L_A и эквивалентные уровни звука $L_{A_{экв.}}$ дБА	Максимальные уровни звука $L_{A_{макс.}}$ дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3	Номера гостиниц и жилые комнаты общежитий	с 7 до 23 ч	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
		с 23 до 7 ч	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
4	Территории, прилегающие к жилым домам, поликлиникам, пансионатам, учебным заведениям	с 7 до 23 ч	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
		с 23 до 7 ч	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
5	Территории, прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий	с 7 до 23 ч	93	79	70	63	59	55	53	51	49	60	75
		с 23 до 7 ч	86	71	61	54	49	45	42	40	39	50	65
6	Площадки отдыха на территории жилых домов, домов отдыха, учебных заведений		83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60

Приложение 2

Таблица 1

Значения весовых коэффициентов K_i , L_{ki} (дБ) для локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Значения весовых коэффициентов			
	для виброускорения		для виброскорости	
	K_i	L_{ki}	K_i	L_{ki}
8	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

Таблица 2

Значения весовых коэффициентов K_i , L_{ki} (дБ) для общей вибрации

Среднегеометрические частоты	для виброускорения							
	в 1/3 октаве				в 1/1 октаве			
	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}
0,8	0,45	-7	1,0	0				
1,0	0,5	-6	1,0	0	0,5	-6	1,0	0
1,25	0,56	-5	1,0	0				
1,6	0,63	-4	1,0	0				
2,0	0,71	-3	1,0	0	0,71	-3	1,0	0
2,5	0,8	-2	0,8	-2				
3,15	0,9	-1	0,63	-4				
4,0	1,0	0	0,5	-6	1,0	0	0,5	-6
5,0	1,0	0	0,4	-8				
6,3	1,0	0	0,315	-10				
8,0	1,0	0	0,25	-12	1,0	0	0,25	-12
10,0	0,8	-2	0,2	-14				
12,5	0,63	-4	0,16	-16				
16,0	0,50	-6	0,125	-18	0,5	-6	0,125	-18
20,0	0,4	-8	0,1	-20				
25,0	0,315	-10	0,08	-22				
31,5	0,25	-12	0,063	-24	0,25	-12	0,063	-24
40,0	0,2	-14	0,05	-26				
50,0	0,16	-16	0,04	-28				
63,0	0,125	-18	0,031	-30	0,125	-18	0,031	-30
			5				5	
80,0	0,1	-20	0,025	-32				

Продолжение приложения 2

Таблица 3

Значения весовых коэффициентов K_i , L_{ki} (дБ) для общей вибрации

Среднегеометрические частоты	для виброскорости							
	в 1/3 октаве				в 1/1 октаве			
	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}
0,8	0,045	-27	0,4	-8				
1,0	0,063	-24	0,5	-6	0,045	-25	0,5	-6
1,25	0,09	-21	0,63	-4				
1,6	0,125	-18	0,8	-2				
2,0	0,188	-15	1,0	0	0,16	-16	0,9	-1
2,5	0,25	-12	1,0	0				
3,15	0,35	-9	1,0	0				
4,0	0,5	-6	1,0	0	0,45	-7	1,0	0
5,0	0,63	-4	1,0	0				
6,3	0,8	-2	1,0	0				
8,0	1,0	0	1,0	0	0,9	-1	1,0	0
10,0	1,0	0	1,0	0				
12,5	1,0	0	1,0	0				
16,0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0
20,0	1,0	0	1,0	0				
25,0	1,0	0	1,0	0				
31,5	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0
40,0	1,0	0	1,0	0				
50,0	1,0	0	1,0	0				
63,0	1,0	0	1,0	0	1,0	0	1,0	0
80,0	1,0	0	1,0	0				

Продолжение приложения 2

Таблица 4

Значения добавок, ΔL , в зависимости от разности слагаемых уровней

Разность слагаемых уровней L_1-L_2 , дБ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Добавка, ΔL , дБ	3	2,5	2,2	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4

Таблица 5

Значения поправок к корректированному уровню на время действия вибрации для расчета эквивалентного уровня

Время действия,	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	15 мин.	5 мин.
Время в % от 8-часовой	100	88	75	62	60	38	25	12	6	3	1
Поправка, дБ	0	-0,6	-1,2	-2	-3	-4,2	-6	-9	-12	-15	-20

Таблица 6

ПДУ виброускорения локальной вибрации на рабочих местах

Наименование показателя	Предельно допустимые уровни виброускорения, дБ, по осям Хл, Ул, Зл в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни
	8	16	31,5	63	125	250	500	1000	
Вибрация локальная	123	123	129	135	141	147	153	159	126

Продолжение приложения 2

Таблица 7

ПДУ виброускорения общей вибрации на рабочих местах

Среднегеометрические частоты, Гц	Предельно допустимые уровни виброускорения, дБ, по осям X_0, Y_0, Z_0 в октавных или 1/3 октавных полосах частот			
	В 1/3 октаве		В 1/1 октаве	
	Z_0	X_0, Y_0	Z_0	X_0, Y_0
0,8	117	107		
1,0	116	107	121	112
1,25	115	107		
1,6	114	107		
2,0	113	107	118	113
2,5	112	109		
3,15	111	111		
4,0	110	113	115	118
5,0	110	115		
6,3	110	117		
8,0	110	119	116	124
10,0	112	121		
12,5	114	123		
16,0	116	125	121	130
20,0	118	127		
25,0	120	129		
31,5	122	131	127	136
40,0	124	133		
50,0	126	135		
63,0	128	137	133	142
80,0	130	139		
Корректированные и эквивалентные корректированные уровни виброускорения			115	112

Продолжение приложения 2

Таблица 8

Определение класса условий труда при воздействии вибрации

Наименование показателя, единица измерения	Класс (подкласс) условий труда					
	допустимый	вредный				опасный
	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Вибрация локальная, эквивалентный корректированный уровень виброускорения, дБ	≤ 126	$>126-129$	$>129-132$	$>132-135$	$>135-138$	>138
Вибрация общая, эквивалентный корректированный уровень виброускорения, дБ, Z	≤ 115	$>115-121$	$>121-127$	$>127-133$	$>133-139$	>139
Вибрация общая, эквивалентный корректированный уровень виброускорения, дБ, X, Y	≤ 112	$>112-118$	$>118-124$	$>124-130$	$>130-136$	>136

Таблица 9

Предельно допустимые значения и уровни производственной вибрации

Вид вибрации	Категория вибрации	Направление действия	Коррекция	Нормативные эквивалентные корректированные значения и уровни виброускорения	
				м/с ²	дБ
Локальная		X_l, Y_l, Z_l	Wh	2,0	126
Общая	1	Z_o	Wk	0,56	115
		X_o, Y_o	Wd	0,40	112
	2	Z_o	Wk	0,28	109
		X_o, Y_o	Wd	0,2	106
	3а	Z_o	Wk	0,1	100
		X_o, Y_o	Wd	0,071	97
	3б	Z_o	Wk	0,04	92
		X_o, Y_o	Wd	0,028	89
	3в	Z_o	Wk	0,014	83
		X_o, Y_o	Wd	0,0099	80

Приложение 3

Таблица 1

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при времени действия не более 10 минут в сутки

Род тока	Напряжение, U , В	Сила тока, I , мА
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Переменный, 400 Гц	3	0,4
Постоянный	8	1,0

Примечание: напряжения прикосновения и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25 °С) и влажности (относительная влажность более 75 %), должны быть уменьшены в три раза.

Приложение 4

Таблица 1

Варианты заданий исходных параметров для проведения лабораторной работы №4

№ варианта	Емкости проводов относительно земли, C , мкФ				Активные сопротивления изоляции относительно земли, R_{ϕ} , кОм				Сопротивление замыкания фазы на землю, $R_{\text{зм}}$, Ом		Сопротивление цепи тела человека, R_{h} , кОм
	C_{AE}	C_{BE}	C_{CE}	C_{PEN}	R_{AE}	R_{BE}	R_{CE}	R_{PEN}	Фаза	$R_{\text{зм}}$	
1	0,2	0,5	0,2	0,2	100	100	25	100	А	100	1
2	0,5	0,5	0,2	0,2	25	100	100	100	В	100	1
3	0,5	0,5	1,0	0,5	100	100	25	100	С	100	1
4	1,0	1,0	0,5	0,5	100	100	25	100	А	10	1
5	2,5	2,5	1,0	1,0	100	100	25	100	С	10	1
6	0,5	0,5	0,2	0,2	25	100	100	100	В	1000	5
7	1,0	1,0	0,5	0,5	100	100	25	100	А	100	5
8	1,0	1,0	2,5	1,0	100	100	25	100	В	100	5
9	2,5	2,5	1,0	1,0	100	100	25	100	С	100	5
10	0,2	0,5	0,2	0,2	100	100	25	100	А	10	10
11	0,5	0,5	0,2	0,2	25	100	100	100	В	10	10
12	0,5	0,5	1,0	0,5	100	100	25	100	С	10	10
13	1,0	1,0	0,5	0,5	100	100	25	100	А	100	10
14	1,0	1,0	2,5	1,0	100	100	25	100	В	1000	10
15	2,5	2,5	1,0	1,0	100	100	25	100	С	100	10

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Требования к порядку выполнения лабораторных работ и оформлению отчетов.....	4
Лабораторная работа № 1	6
Измерение уровня шума и определение эффективности средств звукоизоляции и звукопоглощения.....	6
Лабораторная работа № 2	21
Измерение параметров вибрации и оценка эффективности средств виброзащиты	21
Лабораторная работа № 3	39
Оценка эффективности действия защитного заземления и зануления.....	39
Лабораторная работа № 4	57
Анализ электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1 кВ и оценка работоспособности устройств защитного отключения	57
Библиографический список.....	69
Приложение 1	70
Приложение 2	75
Приложение 3	80
Приложение 4	80

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
(ЧАСТЬ 3)**

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

Сост.: *А.В. Корнев, А.В. Пасынков*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
безопасности производств

Ответственный за выпуск *А.В. Корнев*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 03.12.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 4,7. Усл.кр.-отт. 4,7. Уч.-изд.л. 4,3. Тираж 50 экз. Заказ 1096.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2