

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Белгород
2017

УДК 614 (07)
ББК 68.9я7
Б 40

Рецензенты:

Доктор геолого-минералогических наук, заведующий отделом геологии и геоинформатики ОАО ВИОГЕМ» В.А. Дунаев

Доктор технических наук, профессор Белгородского технологического университета им. В.Г. Шухова Г.И. Тарасова

Б40 Безопасность жизнедеятельности: лабораторный практикум / А.Н. Лопанов, Е.А. Фанина, В.В. Калатоzi, Е.А. Носатова, И.В. Прушковский. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 146 с.

В лабораторный практикум включены основные теоретические сведения и лабораторные работы с указанием темы, цели и порядка проведения измерений по разделам дисциплины «Безопасность жизнедеятельности»: «Обеспечение комфортных условий труда» – Исследование параметров микроклимата рабочей зоны производственных помещений, Определение концентрации пыли в воздухе производственных помещений, Исследование эффективности работы вентиляционной установки, Исследование естественного освещения в производственных помещениях, Исследование искусственного освещения в производственных помещениях; «Опасности технических систем и защита от них» – Исследование производственного шума. Спектр шума. Методы измерения, Исследование звукоизоляционных характеристик строительных материалов, Исследование сопротивления заземляющих устройств.

Лабораторный практикум подготовлен на кафедре «Безопасность жизнедеятельности». Данное издание публикуется в авторской редакции.

УДК 614 (07)
ББК 68.9я7

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2017

Содержание

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1. Оценка содержания радионуклидов урана в природных минералах.....	5
Лабораторная работа № 2. Определение параметров воздуха рабочей зоны и защита от тепловых воздействий.....	13
Лабораторная работа № 3. Исследование параметров микроклимата рабочей зоны производственных помещений.....	21
Лабораторная работа № 4. Исследование искусственного освещения производственных помещений.....	40
Лабораторная работа № 5. Исследование средств звукоизоляции....	53
Лабораторная работа № 6. Исследование звукоизолирующего кожуха.....	68
Лабораторная работа № 7. Исследование средств звукопоглощения....	76
Лабораторная работа № 8. Исследование эффективности виброизоляции.....	84
Лабораторная работа № 9. Исследование воздействия электромагнитного излучения.....	101
Лабораторная работа № 10. Анализ поражения током в трехфазных электрических сетях с напряжением до 1 кВ.....	113
Лабораторная работа № 11. Исследование характеристик устройств защитного отключения на соответствие требованиям Электробезопасности.....	120
Лабораторная работа № 12. Исследование защитного заземления в электроустановках напряжением до 1 кВ.....	133
Лабораторная работа № 13. Исследование защитного зануления.....	140
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	144

Введение

Лабораторный практикум посвящен ключевым вопросам безопасности жизнедеятельности в бытовой и производственной среде, написан в соответствии с утвержденной программой курса «Безопасность жизнедеятельности» и предназначен для самостоятельной подготовки студентов и выполнения лабораторных работ.

В лабораторный практикум включены основные теоретические сведения и лабораторные работы с указанием темы, цели и порядка проведения измерений по разделам дисциплины «Безопасность жизнедеятельности»: «Обеспечение комфортных условий труда» – Исследование параметров микроклимата рабочей зоны производственных помещений, Определение концентрации пыли в воздухе производственных помещений, Исследование эффективности работы вентиляционной установки, Исследование естественного освещения в производственных помещениях, Исследование искусственного освещения в производственных помещениях; «Опасности технических систем и защита от них» – Исследование производственного шума. Спектр шума. Методы измерения, Исследование звукоизоляционных характеристик строительных материалов, Исследование сопротивления заземляющих устройств.

Практикум содержит приложения, составленные на основе справочных и нормативных данных, которые необходимы для выполнения лабораторных работ и решения поставленных задач.

Лабораторный практикум по «Безопасности жизнедеятельности» позволит студентам познакомиться и научиться пользоваться приборами, применяемыми при анализе условий труда в производственных помещениях, а полученные знания помогут не только идентифицировать вредные и опасные производственные факторы, но и контролировать их, находить способы и методы защиты от них.

Лабораторная работа № 1

Оценка содержания радионуклидов урана в природных минералах

Цель работы: Ознакомление с работой дозиметра-радиометра, определение и расчет активности радионуклидов урана в природных минералах (гранит).

Приборы и оборудование: дозиметр-радиометр ДРГБ-01-«ЭКО-1» (возможно применение дозиметров-радиометров «РАДЭКС» РД 1503; МКС-01СА1М; ДКГ-03Д «Грач»; РКСБ-104), образцы гранита.

Общие сведения

Радиоактивный распад веществ происходит в соответствии с формальной кинетикой необратимой реакции первого порядка:

$$\nu = -\frac{dm}{dt} = km \cdot \quad (1.1)$$

где m – масса радионуклида, кг; t – время, с; k – константа скорости необратимой реакции первого порядка, с^{-1} ; ν – скорость распада.

Константа скорости распада не зависит от количества взятого вещества и связана с периодом полураспада $T_{1/2}$ следующим соотношением:

$$k = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad (1.2)$$

Скорость радиоактивного распада называют активностью радионуклида (A), которую рассчитывают по формуле:

$$A = \frac{m \cdot N_A}{M} \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \quad (1.3)$$

Здесь N_A – число Авогадро - $6,022 \cdot 10^{26}$ кг/моль; M – атомная масса изотопа.

Активность измеряют в распадах за 1 с (Беккерель, Бк).

Действие излучения на вещество оценивают по дозе излучения D . Дозой излучения называют величину, равную отношению энергии излучения Q к массе облучаемого вещества m :

$$D = Q/m \quad (1.4)$$

где D – доза излучения, Дж/кг; m – масса облучаемого вещества, кг; Q – энергия поглощенного излучения, Дж.

Единицей дозы облучения называют грей (Гр). Мощностью дозы излучения – ватт на килограмм, Вт/кг, или Гр/с:

$$N = Q/m \cdot t \quad (1.5)$$

Дозу излучения оценивают по биологическому воздействию на систему. Для этой цели вводят биологический эквивалент рентгена (бэр),

$$\text{Бэр} = \frac{\text{(Доза рентгеновского излучения, вызывающая данный эффект)}}{\text{(Поглощенная доза любого другого вида излучения, вызывающая данный эффект)}}$$

Один бэр равен 0,01 Грей.

Энергетической характеристикой излучения является экспозиционная доза излучения:

$$D_{\pm} = q_{\pm} / m^{\text{в}} \quad (1.6)$$

q_{\pm} – количество зарядов одного знака, созданных при облучении воздуха, Кл; $m^{\text{в}}$ – масса воздуха, кг.

Внесистемной единицей экспозиционной дозы служит рентген (Р), 1 Р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг.

При экспозиционной дозе, равной 1 Р в 10^{-6} м^3 сухого воздуха и давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па, возникает заряд ионов одного знака $3,3 \cdot 10^{-8}$ Кл.

Мощность экспозиционной дозы N_{\pm} выражается в амперах на килограмм (А/кг). Это мощность такой дозы электромагнитного излучения, при которой за одну секунду экспозиционная доза возрастает на 1 Кл/кг. Внесистемные единицы мощности экспозиционной дозы:

$$1 \text{ Р/с} = 2,59 \cdot 10^{-4} \text{ А/кг}; \quad 1 \text{ Р/мин} = 4,3 \cdot 10^{-6} \text{ А/кг}; \quad 1 \text{ Р/ч} = 7,17 \cdot 10^{-8} \text{ А/кг}.$$

В области радиационной безопасности для оценки возможного ущерба здоровью человека при хроническом облучении введено понятие эквивалентной дозы, равной произведению поглощенной дозы на средний коэффициент, учитывающий воздействие облучения на биологическую ткань:

$$\text{ЭД} = D \cdot k^0, \quad (1.7)$$

где ЭД – эквивалентная доза облучения, Дж/кг; k^0 – коэффициент воздействия излучения.

Единицу эквивалентной дозы, равной одному джоулю энергии на килограмм массы биологической ткани, называют Зивертом (Зв).

За единицу активности радионуклидов в системе Си принята величина 1 Беккерель – один распад в секунду (Бк). Внесистемная единица активности 1 Кюри (Ки); 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.

При определении эквивалентной дозы ионизирующего излучения используют следующие значения взвешивающих коэффициентов излучения, табл. 1.1.

Таблица 1.1

Взвешивающие коэффициенты воздействия излучения на биологическую ткань

Вид излучения	k^0
Рентгеновское и гамма-излучение	1
Электроны, позитроны, гамма-излучение	1
Протоны с энергией < 10 Мэв	10
Нейтроны с энергией < 20 Мэв	3
Нейтроны с энергией 0.1...10 Мэв	10
Альфа-излучение с энергией < 10 Мэв	20
Тяжелые ядра излучения	20
Альфа-излучение с энергией 10...100 Мэв	100

Для оценки воздействия излучения на население используют коллективную эквивалентную дозу, равную произведению эквивалентной дозы на число человек, подвергшихся радиации:

$$КЭД = ЭД \cdot n \quad (1.8)$$

КЭД – коллективная эквивалентная доза, чел·Зв; ЭД – эквивалентная доза, Зв; n – число человек, подвергшихся радиации.

Развитие биосферы происходит на фоне ионизирующей радиации – естественного радиационного фона. Радиационный фон состоит из космического излучения и радиации от природных радионуклидов. Основной вклад в естественный радиационный фон вносят следующие радиоактивные изотопы ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , а также продукты распада урана и тория. Суммарная доза фонового излучения составляет около 1мЗв/год. В районах с высоким содержанием радионуклидов средняя доза излучения может достигать 10 мЗв/год. Считают, что радиационный фон влияет на информационные потоки в биосфере, обуславливая часть наследственных изменений и мутаций живых организмов.

Животный и растительный мир биосферы обладает различной восприимчивостью к радиации. Наиболее чувствительны к излучению высшие биологические организмы – человек, млекопитающие животные. Одноклеточные растения, животные, бактерии могут выдерживать сравнительно большие дозы радиоактивного излучения.

Поражение высших живых организмов, прежде всего, человека зависит от величины дозы облучения, ее пространственного распределения по организму, времени излучения и временного интервала от момента получения дозы, табл. 1.2.

Таблица 1.2

Вероятность возникновения заболевания от воздействия радиоактивного излучения на организм человека при эквивалентной дозе 1 Зв (пороговая доза)

Заболевание	Вероятность возникновения заболевания, %
Лейкемия	0,2...0,4
Рак щитовидной железы	0,05...0,08
Рак молочных желез	0,3...0,5
Опухоли легких	0,2...0,3
Наследственные дефекты	0,5...0,6
ИТОГО	1,25...1,88

Для сравнения отметим, что наследственные заболевания в естественных условиях, характерные для 1980...1990 годов, составляют 6...10%, а заболевание раком колеблется от 0,2 до 0,25% от всего населения. Воздействие острого излучения, полученного за короткий промежуток времени от нескольких минут до нескольких часов, на организм человека охарактеризовано в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Воздействие на организм человека облучения при кратковременном воздействии

Эквивалентная доза облучения, Зв	Воздействия на организм человека
0,1...0,25	Нет заметных изменений в начальный период времени, 1-2 года
0,25...0,5	Снижается сопротивляемость организма к заболеваниям.
0,5...1,0	Нарушается иммунная система, обмен веществ, снижается число лейкоцитов, тромбоцитов
1...2	Лучевая болезнь легкой степени
2...4	Лучевая болезнь средней степени
4...10	Лучевая болезнь тяжелой степени.
10...100	Кишечная форма острой лучевой болезни
>100	Токсичная форма острой лучевой болезни

Широкое использование расщепляющихся ядерных материалов привело к глобальному облучению населения. Основные источники облучения: урановые рудники, радиохимические заводы по переработке ядерного топлива, хранилища и места утилизации радиоактивных материалов.

Наибольшую опасность представляют долгоживущие радионуклиды цезия и стронция (^{137}Cs , ^{90}Sr). Хроническое облучение вызывает снижение сопротивляемости организма в дозе 0,1 Зв/год, а доза порядка 0,5 Зв приводит к развитию хронической лучевой болезни.

Интенсивное развитие ядерной энергетики привело к повышению радиационного фона биосферы. Так, вентиляционные выбросы из урановых

шахт содержат радиоактивный радон (^{222}Rn), а радионуклиды водорода, углерода, йода (^3H , ^{14}C , ^{129}I) вступают в естественные циклы обмена веществ, вызывая необратимые изменения в жизнедеятельности живых организмов.

Все радионуклиды подразделяют на четыре группы:

- группа А – особо токсичные (активность $3,7 \cdot 10^6$ Бк);
- группа Б – высоко токсичные (активность $3,7 \cdot 10^5$ Бк);
- группа В – средне токсичные (активность $3,7 \cdot 10^4$ Бк);
- группа Г – малотоксичные (активность $3,7 \cdot 10^3$ Бк).

Для каждого радионуклида установлены предельно допустимые газовые поступления (ПДП) через органы дыхания и предел годового поступления в организм (ПГП), табл. 1.4.

Таблица 1.4

**Пределы поступления радионуклидов в организм человека
для некоторых веществ**

Вещество	Группа опасности	ПГП, Бк/год
Водород	Г	$5,6 \cdot 10^{12}$
Калий	В	$1,9 \cdot 10^6$
Цезий	Г	$9,6 \cdot 10^7$
Йод	Г	$3,5 \cdot 10^7$
Уран	А	$5,2 \cdot 10^2$
Уран	Б	$5,2 \cdot 10^3$
Радон	Г	$3,6 \cdot 10^8$

Поражение организма под воздействием радионуклидов носит разнообразный характер. Радионуклиды первой группы равномерно распределяются по всему организму и вызывают повреждения органов, сходных с действием γ – излучения.

Радионуклиды второй группы (Ca, Sr, Ba) накапливаются в костной ткани, вызывая облучение костного мозга. Склонность элементов третьей группы к образованию комплексов приводит к концентрации их в крови с последующим перемещением в печень.

Факторы кинетики, обмена различного распределения в органах приводят к тому, что токсичность радионуклидов проявляется неодинаково при равных концентрациях. Следовательно, радионуклиды с одинаковой активностью, но с различными физико-химическими свойствами имеют различные пределы поступления в биосферу и отдельные организмы.

Основные методы защиты биосферы от радионуклидов:

- разработка безопасных ядерных технологий с минимальными выбросами и сбросами радиоактивных веществ;
- внедрение современных методов защиты, очистки воздуха, воды, почвы от радиоактивных отходов;

– длительные комплексные санитарно-гигиенические мероприятия по наблюдению за радиационным фоном, выявлением очагов радиоактивного заражения, ограничение облучения населения, животных, растений.

– разработка научно обоснованных уровней поступления радионуклидов в организм человека, уровней облучения и заражения местности для принятия экстренных мер по защите людей, животных, растений.

Как правило, радиационный фон составляет 0,05-0,20 мкЗв/час. Проводя измерения радиационного фона минералов, можно определить содержание изотопов радионуклидов в исследуемом веществе. Природный уран состоит из трех изотопов, табл. 1.5.

Таблица 1.5

Содержание изотопов в природном уране

Изотоп урана	Содержание, %	Период полураспада, лет
^{234}U	0,00600	$4,445 \cdot 10^5$
^{235}U	0,964	$7,038 \cdot 10^8$
^{238}U	99,3	$4,464 \cdot 10^9$

Для правильного расчета содержания урана в природном минерале оценивают активность изотопов в 1000 см^3 чистого вещества, учитывая, что его плотность равна $19,04 \text{ г/см}^3$:

$$A(^{234}\text{U}) = \frac{19040 \cdot 0,006 \cdot 0,693}{100 \cdot 234 \cdot 2,445 \cdot 10^5 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} = 2,642 \cdot 10^8 \text{ распадов/с (Бк)};$$

$$A(^{235}\text{U}) = \frac{19040 \cdot 0,694 \cdot 0,693}{100 \cdot 234 \cdot 7,038 \cdot 10^8 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} = 1,057 \cdot 10^7 \text{ распадов/с (Бк)}$$

$$A(^{238}\text{U}) = \frac{19040 \cdot 99,3 \cdot 0,693}{100 \cdot 234 \cdot 4,468 \cdot 10^9 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} = 2,35 \cdot 10^8 \text{ распадов/с (Бк)}.$$

Анализируя расчеты, делаем вывод, что необходимо учитывать распад всех изотопов урана.

Содержание работы

Определяют удельную активность полученного образца гранита (Бк/кг). Включают дозиметр-радиометр ДРГБ-01-«ЭКО-1» и в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора делают 5-6 отсчетов экспозиции фонового излучения и активности образца гранита. По уравнениям 9, 10 проводят расчет содержания урана в граните, учитывая, что плотность гранита

равна $2,7 \text{ г/см}^3$, а размерность активности N выражена в Бк. Содержание изотопов урана (X) выражается в г.

Если применяют прибор, не позволяющий определять удельную активность радионуклида, то проводят измерения мощности эквивалентной дозы фона – делают 10-15 измерений и проводят расчет среднего значения. Переводят значения мощности эквивалентной дозы в систему СИ, считая коэффициент k^0 равным единице. Размерность мощности эквивалентной дозы $D_3^\phi = \text{Гр/с}$

Измеряют мощность эквивалентной дозы излучения в присутствии гранита – помещают прибор на гранитную плиту и делают 10-15 измерений. Проводят расчет среднего значения D_3^ϕ . Определяют изменение мощности эквивалентной дозы радионуклида:

$$\Delta D_3^\phi = D_3 - D_\phi$$

Определяют количество атомов урана, распавшихся за 1 секунду, учитывая, что при распаде 1 атома урана выделяется 200 МэВ энергии:

$$N = \frac{\Delta D_3^\phi}{2 \cdot 10^6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}, \text{ ат/с.}$$

Проводят расчет количества урана, содержащегося в 1000 см^3 гранита по уравнениям 1.9, 1.10, в которых учтен распад всех изотопов урана:

$$N = N_A \cdot \ln 2 \left(\frac{X \cdot 0,00600}{234 \cdot 100 \cdot T^{U(234)}_{1/2}} + \frac{X \cdot 0,694}{235 \cdot 100 \cdot T^{U(235)}_{1/2}} + \frac{X \cdot 99,3}{238 \cdot 100 \cdot T^{U(238)}_{1/2}} \right) \quad (1.9)$$

$$N = \frac{\ln 2 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \cdot X}{100 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} \left(\frac{0,00600}{234 \cdot 2,445 \cdot 10^5} + \frac{0,694}{235 \cdot 7,038 \cdot 10^8} + \frac{99,3}{238 \cdot 4,468 \cdot 10^9} \right) \quad (1.10)$$

Определяют общее содержание урана в граните, содержание каждого изотопа, %.

Проводят математическую обработку результатов измерения:

- расчет средних значений;
- расчет дисперсии;
- относительную погрешность измерения;
- расчет доверительных интервалов.

Контрольные вопросы

1. Понятие о дозе, эквивалентной дозе излучения. Единицы измерения дозы излучения.

2. Воздействие радиационного излучения на биологическую ткань. Источники загрязнения биосферы радионуклидами.

3. Понятие о предельно-допустимых концентрациях радионуклидов. Виды предельно-допустимых концентраций радионуклидов.

4. Формальная кинетика радиационного распада. Содержание изотопов урана в природе.

5. Основные расчетные формулы и определение активности радионуклидов.

Лабораторная работа № 2

Определение параметров воздуха рабочей зоны и защита от тепловых воздействий

Цель работы – ознакомить студентов с теорией теплового излучения физической сущностью и инженерным расчетом теплоизоляции, с приборами для измерения тепловых потоков, температуры, влажности и скорости движения воздуха, нормативными требованиями к параметрам воздуха рабочей зоны, провести измерения интенсивности тепловых излучений в зависимости от расстояния до источника и оценить эффективность защиты от теплового излучения с помощью экранов.

Общие сведения

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

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

Интенсивность теплового излучения может быть определена по формуле:

$$Q = 0,78F \frac{\left(\frac{T^0}{100}\right)^4 - 110}{l^2}, \quad (2.1)$$

где Q – интенсивность теплового излучения, Вт/м²; F – площадь излучающей поверхности, м²; T^0 – температура излучающей поверхности, К; l – расстояние от излучающей поверхности, м.

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

Тепловой обмен организма человека с окружающей средой заключается во взаимосвязи между образованием тепла (термогенезом) в результате жизнедеятельности организма и отдачей им этого тепла во внешнюю среду.

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

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

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

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

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

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

При облучении коротковолновыми ИК-лучами наблюдается повышение температуры легких, почек, мышц и других органов. В крови, лимфе, спинномозговой жидкости появляются специфические биологически активные вещества, наблюдаются нарушения обменных процессов, изменяются функциональное состояние центральной нервной системы,

Интенсивность теплового облучения человека регламентируется, исходя из субъективного ощущения человеком энергии облучения. Согласно ГОСТ 12.1.005–88 интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов не

должна превышать: 35 Вт/м^2 при облучении более 50 % поверхности тела; 70 Вт/м^2 при облучении от 25 до 50 % поверхности тела; 100 Вт/м^2 – при облучении не более 25 % поверхности тела. От открытых источников (нагретые металл и стекло, открытое пламя) интенсивность теплового облучения не должна превышать 140 Вт/м^2 при облучении не более 25 % поверхности тела к обязательному использованию средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Нормы ограничивают также температуру нагретых поверхностей оборудования в рабочей зоне, которая не должна превышать $45 \text{ }^\circ\text{C}$, а для оборудования, внутри которого температура близка к $100 \text{ }^\circ\text{C}$, температура на его поверхности должна быть не выше $35 \text{ }^\circ\text{C}$.

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

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

В непрозрачных экранах поглощаемая энергия электромагнитных колебаний, взаимодействуя с веществом экрана, превращается в тепловую энергию. При этом экран нагревается и, как всякое нагретое тело, становится источником теплового излучения. При этом излучение поверхностью экрана, противоположащей экранируемому источнику, условно рассматривается как пропущенное излучение источника. К непрозрачным экранам относятся например, металлические (в т.ч. алюминиевые), альфолевые (алюминиевая фольга), футерованные (пенобетон, пеностекло, керамзит, пемза), асбестовые и др.

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

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

По принципу действия экраны подразделяются на теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие. Однако это деление достаточно условно, так как каждый экран обладает одновременно способностью отражать, поглощать и отводить тепло. Отнесение экрана к той или иной группе производится в зависимости от того, какая его способность выражена сильнее.

Теплоотражающие экраны имеют низкую степень черноты поверхностей, вследствие чего они значительную часть падающей на них лучистой энергии отражают в обратном, направлении. В качестве теплоотражающих материалов в конструкции экранов широко используют фольгу, листовый алюминий, оцинкованную сталь, алюминиевую краску.

Теплопоглощающими называют экраны, выполненные из материалов с высоким термическим сопротивлением (малым коэффициентом теплопроводности). В качестве теплопоглощающих материалов применяют огнеупорный и теплоизоляционный кирпич, асбест, шлаковату.

В качестве теплоотводящих экранов наиболее широко используются водяные завесы, свободно падающие в виде пленки, орошающие другую экранную поверхность (например, металлическую), либо заключенные в специальный кожух из шести (акварильные экраны), металла (змеевика) и др.

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

$$\eta = \frac{Q - Q_3}{Q} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

где Q – интенсивность теплового излучения без применения защиты, Вт/м²; Q_3 – интенсивность теплового излучения с применением защиты, Вт/м².

При устройстве общеобменной вентиляции, предназначенной для удаления избытков явного тепла, объем приточного воздуха $L_{пр}$ (м³/ч) определяют по формуле:

$$L_{пр} = \frac{Q_{изб}}{(T_{уд} - T_{пр}) \cdot \rho_{пр} c}, \quad (2.3)$$

где $Q_{изб}$ – избыток явного тепла, кДж/ч; $T_{уд}$ – температура удаляемого воздуха, °С; $T_{пр}$ – температура приточного воздуха, °С; $\rho_{пр}$ – плотность приточного воздуха, кг/м³; c – удельная теплоемкость воздуха, кДж/кг·град.

Температуру воздуха, удаляемого из помещения, определяют по формуле:

$$T_{уд} = T_{р.з.} + \Delta T(H - 2), \quad (2.4)$$

где $T_{р.з.}$ – температура в рабочей зоне, которая не должна превышать установленную санитарными нормами, °С; ΔT – температурный градиент по

высоте помещения, °С/м; (обычно 0,5–1,5 °С/м); H – расстояние от пола до центра вытяжных проемов, м; 2 – высота рабочей зоны, м.

Если количество образующихся тепловыделений незначительно или не может быть точно определено, то общеобменную вентиляцию рассчитывают по кратности воздухообмена, которая показывает, сколько раз в течение часа происходит смена воздуха в помещении (обычно n находится пределах от 1 до 10, причем для помещений небольшого объема используются более высокие значения n). Для удаления воздуха из помещения здание обычно оборудуется так называемыми фонарями.

Местную приточную вентиляцию широко используют для создания требуемых параметров микроклимата в ограниченном объеме, в частности, непосредственно на рабочем месте. Это достигается созданием воздушных оазисов, воздушных завес и воздушных душей.

Воздушный оазис создают в отдельных зонах рабочих помещений с высокой температурой. Для этого небольшую рабочую площадь закрывают легкими переносными перегородками высотой 2 м и в огороженное пространство подают прохладный воздух со скоростью 0,2–0,4 м/с.

Воздушные завесы создают для предупреждения проникновения в помещение наружного холодного воздуха путем подачи более теплого воздуха с большой скоростью (10–15 м/с под некоторым углом навстречу холодному потоку).

Воздушные души применяют в горячих цехах на рабочих местах, находящихся под воздействием лучистого потока теплоты большой интенсивности (более 350 Вт/м²).

Поток воздуха, направленный непосредственно на рабочего, позволяет увеличить отвод тепла от его тела в окружающую среду. Выбор скорости потока воздуха зависит от тяжести выполняемой работы, а также от интенсивности облучения, но она не должна, как правило, превышать 5 м/с, так как в этом случае у рабочего возникают неприятные ощущения (например, шум в ушах). Эффективность воздушных душей возрастает при охлаждении направляемого на рабочее место воздуха или же при подмешивании к нему мелко распыленной воды (водо-воздушный душ).

Содержание работы

Описание стенда.

Внешний вид стенда представлен на рис. 2.1.

Стенд состоит из бытового электрокамина 1, модели производственного помещения 2 с вентиляционным зонтом 3, боковой стенки 4, четырех исследуемых экранов 5, стойки 6 гигрометра, термоанемометра, измерителя плотности тепловых потоков 7, и удлинителя.

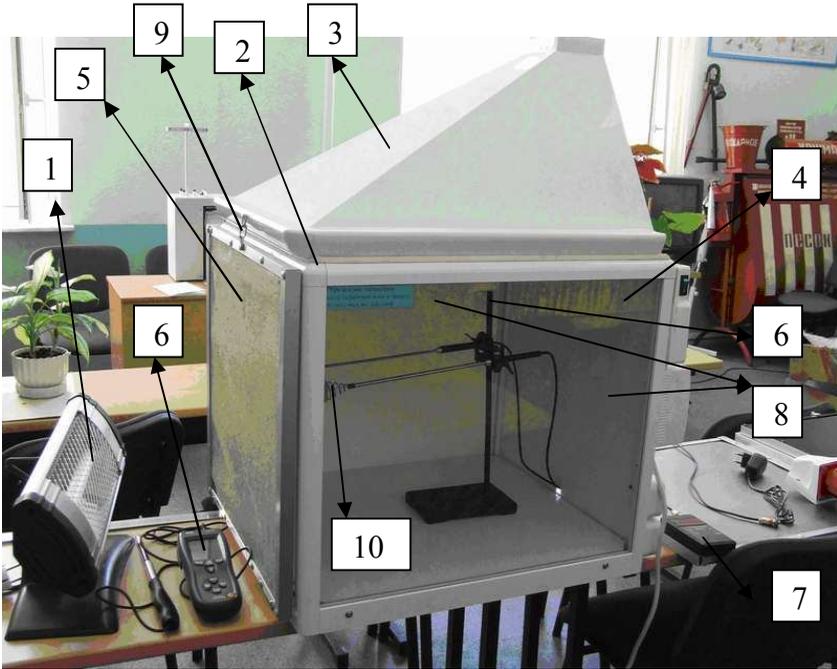


Рис. 2.1. Внешний вид станда

Боковая стенка 4 модели съемная, а передняя и задняя стенки 8 – глухие. На боковой поверхности модели помещения закреплены крючки 9, на которые устанавливаются сменные экраны 5.

В стойке 6 могут быть закреплены либо измерительная головка 10 измерителя тепловых потоков 7, либо термоанемометр.

Бытовой электрокамин 1 используется в качестве источника теплового излучения.

Вентиляционный зонт 3 используется для создания вытяжной вентиляции и устанавливается сверху на модель производственного помещения 2. Внутри вентиляционного зонта установлена лампа накаливания, которая служит для освещения модели производственного помещения, а также в качестве дополнительного источника тепла для изменения теплового режима внутри модели.

Измерительная головка 10 с помощью винтов крепится к вертикальной стойке 6. Вся эта конструкция может вручную перемещаться по столешнице для изменения расстояния между источником теплового излучения и измерительной головкой.

Для измерения расстояния от источника теплового излучения (электрокамина 1) до измерительной головки 10 используется стандартная металлическая линейка.

Сменные экраны 5 имеют один типоразмер и выполнены из металла с темной и светлой окраской, брезента и набора параллельных цепей.

На задней стенке модели помещения установлен гигрометр для измерения влажности воздуха внутри модели. Для измерения скорости движения воздуха используется малогабаритный термоанемометр, закрепляемый в стойке 6.

На столешнице размещен удлинитель для подключения к сети переменного тока электрокамина 1 и вентиляционного зонта 3.

Требования безопасности при выполнении лабораторной работы

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

Не рекомендуется включать электрокамин на полную мощность 1 кВт (задействован один нагревательный элемент, второй – отключен).

Запрещается прикасаться к электронагревательному элементу электрокамина.

Не допускается работа с любым экраном более 7 минут.

Расстояние от электрокамина до экрана 150–200 мм.

После проведения лабораторной работы отключить электропитание стенда.

Порядок выполнения лабораторной работы

Задание 1. Исследовать изменение интенсивности излучения в зависимости от расстояния до источника.

Подключить удлинитель к сети.

Подключить вентиляционный зонт и источник теплового излучения к розетке удлинителя.

Снять боковую стенку модели производственного помещения.

Установить головку измерителя теплового потока в штативе таким образом, чтобы он была смещена относительно стойки на 100 мм.

Включить источник теплового излучения и дать ему прогреться в течение 2–3 мин. Включить измеритель теплового потока ИПП-2м.

Вручную перемещать штатив вдоль линейки, устанавливая головку измерителя на различном расстоянии от источника теплового излучения, и определять интенсивность теплового излучения в этих точках (интенсивность определять как среднее значение не менее 5 замеров). Данные замеров

занести в таблицу. Построить график зависимости среднего значения интенсивности теплового излучения от расстояния.

Задание 2. Исследовать эффективность защитного действия различных экранов.

Устанавливая различные защитные экраны, определить интенсивность теплового излучения на заданных расстояниях (п. 2.3.6). До проведения измерений экран необходимо прогреть в течение 2–3 мин. Оценить эффективность защитного действия экранов по формуле (2). Построить график зависимости среднего значения интенсивности теплового излучения от расстояния.

Выключить стенд и измерительные приборы.

Отчет о лабораторной работе

В отчете приводят: общие сведения; схему стенда. Данные измерений сводят в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Вид тепловой защиты	l , см	Q , Вт/м ²
Без защитного экрана		
Экран из металла с темной окраской		
Экран из металла со светлой окраской		
Экран из брезента		
Экран из набора параллельных цепей		

Строят графики зависимости интенсивности теплового излучения от расстояния. Рассчитывают эффективность защитного действия экранов и эффективность вытяжной вентиляции.

Контрольные вопросы

1. Как определить интенсивность теплового излучения? Расчетная формула, единицы измерения?
2. Характеристика ИК-излучения, его специфическое влияние на организм человека.
3. Экранирование излучающих поверхностей, типы экранов. Оценить эффективность защиты от теплового излучения с помощью экранов
4. Дать определение воздушного оазиса, воздушного душа, воздушной завесы.

Лабораторная работа № 3

Исследование параметров микроклимата рабочей зоны производственных помещений

Цель работы: изучение приборов и методов измерения параметров микроклимата производственных помещений, приобретение практических навыков в оценке микроклимата рабочей зоны.

Общие сведения

Необходимым условием эффективной производственной деятельности человека является обеспечение нормальных метеорологических условий (микроклимата) в помещениях.

Микроклимат представляет собой комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека с окружающей средой, его тепловое состояние и определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. На формирование производственного микроклимата влияют технологический процесс, климат местности, сезон года, условия отопления и вентиляции.

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, определяемый действующими на организм человека факторами:

- температура воздуха, °С;
- температура поверхностей ограждающих конструкций (стены, пол, потолок, технологическое оборудование и т.д.) °С;
- относительная влажность воздуха, %;
- скорость движения воздуха, м/с;
- интенсивность теплового облучения, Вт/м².

Если работа выполняется на открытом воздухе, то метеорологические условия определяются климатическим поясом и сезоном года. Однако и в этом случае в рабочей зоне создается определенный микроклимат.

Физиологическое действие метеорологических условий на организм человека

Все жизненные процессы в организме человека сопровождаются непрерывным выделением теплоты в окружающую среду, количество которой меняется от 85 Вт (в состоянии покоя) до 500 Вт (при тяжелой работе). Необходимым условием жизнедеятельности человека является сохранение постоянства температуры тела. Выделяемая организмом человека теплота полностью должна отводиться в окружающую среду. Нарушение теплового

баланса может привести к перегреву или к переохлаждению и, как следствие, к потере трудоспособности, несчастным случаям и профессиональным заболеваниям.

Теплообмен между человеком и окружающей средой осуществляется *конвекцией*, за счет *отдачи тепла с поверхности тела* человека менее нагретым притекающим к нему слоям воздуха, теплопроводностью *через одежду*, *излучением* на окружающие поверхности и *в процессе испарения влаги (пота) с поверхности кожи и при дыхании*, а также за счет нагрева вдыхаемого воздуха.

Преобладание того или иного процесса теплоотдачи зависит от температуры среды, скорости движения воздуха, относительной влажности, атмосферного давления, температуры окружающих предметов и интенсивности физической нагрузки организма.

Способность человеческого организма поддерживать постоянную температуру тела (*в подмышечной впадине – 36,5...36,9 °С с колебаниями в течение суток в пределах 0,5...0,7 °С*) при изменении параметров микроклимата и при выполнении различной по тяжести работы называется **терморегуляцией**. В течение всей своей жизни человек существует в пределах очень ограниченного диапазона внутренних температур тела. Однако в короткие промежутки времени человек может переносить температуру тела ниже 35 °С или выше 41 °С.

С тепловой точки зрения тело человека состоит из двух зон: «оболочки» и «ядра». «Оболочку» составляют ткани поверхностного слоя тела толщиной в 2,5 см. Температура «Оболочки» в значительной мере изменяется согласно внешней среде. «Ядро» состоит из более глубоких тканей (например, мозга, сердца и легких, а также верхнего отдела брюшной полости), и тело стремится поддерживать внутреннюю температуру в пределах 37 ± 2 °С. Функциональное состояние человека, обусловленное его теплообменом с окружающей средой, характеризующееся содержанием и распределением тепла в глубоких («ядро») и поверхностных («оболочка») тканях организма, а также степенью напряжения механизмов терморегуляции, принято обозначать как **тепловое состояние**.

Терморегуляция обеспечивается изменением двух составляющих теплообмен процессов – теплопродукции и теплоотдачи. Из двух способов поддержания теплового равновесия основное значение имеет регуляция теплоотдачи, так как этот путь регуляции более изменчив и управляем в организме.

Процессы терморегуляции осуществляются, в основном, тремя способами: биохимическим путем (т.е. изменение интенсивности происходящих в организме окислительных процессов), путем изменения интенсивности кровообращения (способность организма регулировать подачу крови от внутренних органов к поверхности тела путем сужения или расширения крове-

носных сосудов) и интенсивности потовыделения (изменение процесса теплоотдачи за счет испарения). Терморегуляция организма человека осуществляется, как правило, одновременно всеми способами.

Оптимальное тепловое состояние человека характеризуется отсутствием общих и/или локальных дискомфортных теплоощущений и минимальным напряжением механизмов терморегуляции.

Допустимое тепловое состояние человека характеризуется незначительными общими и/или локальными дискомфортными теплоощущениями, сохранением термостабильности организма в течение всей рабочей смены при умеренном напряжении механизмов терморегуляции.

Микроклиматические условия должны обеспечивать тепловое состояние работающих на оптимальном или допустимом уровне.

Микроклимат по степени его влияния на тепловой баланс человека подразделяется на нейтральный, нагревающий, охлаждающий.

Нейтральный микроклимат – такое сочетание параметров микроклимата, которое при воздействии на человека в течение рабочей смены обеспечивает тепловой баланс организма, при котором разность между величиной теплопродукции и суммарной теплоотдачей находится в пределах ± 2 Вт, а доля теплоотдачи испарением влаги не превышает 30 %.

Охлаждающий микроклимат – сочетание параметров микроклимата, при котором имеет место превышение суммарной теплоотдачи в окружающую среду над величиной теплопродукции организма, приводящее к образованию общего или локального дефицита тепла в теле человека (> 2 Вт).

Нагревающий микроклимат – сочетание параметров микроклимата, при котором имеет место изменение теплообмена человека с окружающей средой, проявляющееся в накоплении тепла в организме (> 2 Вт) или в увеличении доли потерь тепла испарением влаги (≥ 30 %).

Рассмотрим различные варианты воздействия неблагоприятных параметров микроклимата на человека.

Температура тела постоянно колеблется вокруг некоторых заранее установленных значений. Внутренняя температура ниже пороговых значений терморегуляции организма приводит к увеличению тепловых потоков (поеживание, дрожь, сужение сосудов на коже тела). Внутренняя температура выше пороговых значений терморегуляции приводит к подключению систем, ответственных за тепловые потери (потовыделение и др.). В каждом отдельном случае результирующая теплопередача уменьшает отклонение нагрузки и помогает восстанавливать температуру тела до обычного устойчивого состояния.

Поэтому при действии высоких и низких температур имеет место взаимодействие системы терморегуляции с другими функциональными системами: сердечно-сосудистой, нервной, дыхательной, эндокринной и др. Сте-

пень их участия и порядок включения определяются величиной термической нагрузки на человека.

Местное и общее **охлаждение** организма является причиной многих заболеваний: сердечно-сосудистой патологии, обострения язвенной болезни, радикулитов, невритов, простудных заболеваний. Любая степень охлаждения характеризуется снижением частоты сердечных сокращений и развитием процессов торможения в коре головного мозга, что приводит к уменьшению работоспособности, изменению двигательной реакции, нарушению координации и точности выполнения рабочих операций. Производственные процессы, выполняемые при пониженной температуре, большой подвижности и влажности воздуха, могут быть причиной охлаждения, и даже переохлаждения организма – *гипотермии*. Появление мышечной дрожи, при которой внешняя работа не совершается, а вся энергия превращается в теплоту, может в течение некоторого времени задерживать снижение температуры внутренних органов. В тяжелых случаях действие низких температур может привести к обморожениям, и даже смерти.

Гипотермия означает понижение температуры тела ниже нормальной. Когда терморегуляция нарушается и внутренняя температура начинает снижаться, человек начинает испытывать переохлаждение. Но только в том случае, когда внутренняя температура тела упадет до 35 °С, можно констатировать гипотермическое состояние. В интервале между 35 и 32 °С гипотермия классифицируется как легкая; между 32 и 28 °С – как умеренная и ниже 28 °С – как тяжелая.

Неоднократные переохлаждения организма приводят к целому ряду новых физиологических последствий.

ПЕРЕГРЕВ. Повышение температур воздуха более 30° С приводит к нарушению состояния здоровья, снижению работоспособности и производительности труда.

Предельная температура вдыхаемого воздуха, при которой человек в состоянии дышать в течение нескольких минут без специальных средств защиты, около 116 °С. Длительное воздействие высокой температуры, особенно в сочетании с повышенной влажностью, может привести к значительному накоплению теплоты в организме и развитию перегревания организма выше допустимого уровня – *гипертермии*. Появляются нарастающая слабость, головная боль, шум в ушах, искажение цветового восприятия (окраска всего в красный или зеленый цвет), тошнота, рвота, температура тела повышается до 38...39 °С. Кожа сначала краснеет, потом бледнеет и покрывается «холодным» потом. Частота сердечных сокращений увеличивается. В тяжелых случаях гипертермия протекает в форме теплового удара (или солнечного при работах на открытом воздухе), который сопровождается потерей сознания. Даже при раннем выявлении каждый пятый случай является смертельным.

Особенно подвержены тепловым ударам люди, имеющие массу тела выше нормы. Существует линейная зависимость между превышением массы тела и относительной вероятностью смерти от теплового удара.

Влажность воздуха определяется содержанием в нем водяных паров и измеряется в абсолютных и относительных единицах. Различают максимальную, абсолютную и относительную влажность. *Абсолютная влажность* – содержание водяных паров в воздухе, выраженное в миллиметрах ртутного столба или в граммах на 1 м^3 воздуха, *максимальная* – максимально возможное содержание водяных паров в воздухе при данной температуре (состояние насыщения). Чем выше температура воздуха, тем больше требуется водяных паров для полного его насыщения.

Влажность воздуха в рабочей зоне выражают в величинах относительной влажности, поскольку она показывает степень насыщения воздуха парами влаги. *Относительная влажность* – отношение абсолютной влажности к максимальной, выраженное в процентах.

Физиологически оптимальной является относительная влажность в пределах 40...60 %. Повышенная влажность воздуха (более 75...80 %) в сочетании с низкими температурами оказывает значительное охлаждающее действие. А в сочетании с высокими (более 30 °С) способствует перегреванию организма, так как при этом почти вся выделяемая организмом человека теплота отдается в окружающую среду при испарении пота. При повышении влажности пот не испаряется, а стекает каплями с поверхности кожного покрова, не обеспечивая необходимой теплоотдачи.

Недостаточная влажность воздуха (менее 25 %) также неблагоприятна для человека, так как приводит к интенсивному испарению влаги со слизистых оболочек, их пересыханию и растрескиванию.

Подвижность воздуха. Человек начинает ощущать движение воздуха при его скорости примерно 0,1 м/с. Легкое движение воздуха при обычных температурах способствует хорошему самочувствию, сдувая обволакивающий человека насыщенный водяными парами и перегретый слой воздуха. В то же время большая скорость движения воздуха, особенно в условиях низких температур, вызывает увеличение теплопотерь конвекцией и испарением и ведет к сильному охлаждению организма. Особенно неблагоприятно действует сильное движение воздуха при работах на открытом воздухе в зимних условиях.

Тепловое излучение (инфракрасное излучение) свойственно любым телам, температура которых выше абсолютного нуля.

Даже небольшое увеличение температуры тела приводит к значительному росту отдачи тепла излучением. У большинства производственных источников максимум энергии приходится на инфракрасные лучи с длиной волны 0,78 ... 1,4 мкм. Инфракрасные лучи оказывают на организм человека в основном тепловое воздействие. Они плохо задерживаются кожей, глубоко-

ко проникают в биологические ткани, вызывая повышение их температуры. Под влиянием теплового облучения в организме происходят биохимические сдвиги, уменьшается кислородная насыщенность крови, понижается венозное давление, замедляется кровоток и как следствие наступает нарушение деятельности сердечно-сосудистой и нервной системы.

Кроме непосредственного воздействия на человека лучистая теплота нагревает окружающие конструкции. Эти вторичные источники отдают теплоту окружающей среде излучением и конвекцией, в результате чего температура воздуха в помещении повышается. Для характеристики теплового излучения принята величина, названная интенсивностью теплового облучения (мощность лучистого потока, приходящаяся на единицу облучаемой поверхности ($\text{Вт}/\text{м}^2$)). Тепловое облучение интенсивностью до $350 \text{ Вт}/\text{м}^2$ не вызывает неприятного ощущения, при $1050 \text{ Вт}/\text{м}^2$ уже через 3...5 минут на поверхности кожи появляется неприятное жжение (температура кожи повышается на 8...10 °С), а при $3500 \text{ Вт}/\text{м}^2$ через несколько секунд возможны ожоги. Время пребывания в зоне теплового облучения лимитируется, в первую очередь, температурой кожи, болевые ощущения появляются при температуре кожи 40...45 °С (в зависимости от участка).

Гигиеническое нормирование производственного микроклимата

Нормы производственного микроклимата установлены ГОСТ 12.1.005–88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

В соответствии с этими документами нормируются оптимальные и допустимые параметры микроклимата: температура воздуха, °С, температура поверхностей, °С, относительная влажность воздуха, %, скорость движения воздуха, м/с, обеспечивающие оптимальные и допустимые микроклиматические условия в производственных помещениях.

Допустимыми считаются такие параметры микроклимата, которые при длительном воздействии могут вызывать напряжения реакции терморегуляции человека, но к нарушению состояния здоровья не приводят.

Оптимальными являются такие микроклиматические параметры, которые не вызывают напряжения реакций терморегуляции и обеспечивают высокую работоспособность человека.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового состояния организма человека, табл. 3.1. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают

предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением (в кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.).

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового состояния человека на период 8-часовой рабочей смены, табл. 3.2). Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности. Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим, техническим или экономическим причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Таблица 3.1

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до139)	22-24	21-25	60-40	0,1
	Iб (140-1 74)	21-23	20-24	60-40	0,1
	IIa (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	IIб (233-290)	17-19	16-20	60-40	0,2
	III (более 290)	16-18	15-19	60-40	0,3
Теплый	Ia (до139)	23-25	22-26	60-40	0,1
	Iб (140-1 74)	22-24	21-25	60-40	0,1
	IIa (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2
	IIб (233-290)	19-21	18-22	60-40	0,2
	III (более 290)	18-20	17-21	60-40	0,3

Таблица 3.2

**Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах
производственных помещений**

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia (до139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75	0,1	0,1
	Iб (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
	IIa (175-232)	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3
	IIб (233-290)	15,0-16,9	19,1-22,0	14,0-23,0	15-75	0,2	0,4
	III (более 290)	13,0-15,9	18,1-21,0	12,0-22,0	15-75	0,2	0,4
Теплый	Ia (до139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75	0,1	0,2
	Iб (140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75	0,1	0,3
	IIa (175-232)	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75	0,1	0,4
	IIб (233-290)	16,0-18,9	21,1-27,0	15,0-28,0	15-75	0,2	0,5
	III (более 290)	15,0-17,9	20,1-26,0	14,0-27,0	15-75	0,2	0,5

Кроме оптимальных и допустимых параметров микроклимата в ГОСТ 12.1.005–88 и СанПиН 2.2.4.548–96 приведены различные дополнения и уточнения.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, изделий и материалов должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 3.3.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от открытых источников (нагретый металл, стекло, открытое пламя и др.) не должны превышать 140 Вт/м². При этом облучению не должно подвергаться более 25 % поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Для оценки сочетанного действия параметров микроклимата (температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового облучения) в целях осуществления мероприятий по защите работающих от возможного перегревания рекомендуется использовать интегральный показатель тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс).

ТНС-индекс рассчитывается по уравнению:

$$\text{ТНС} = 0,7t_{\text{вл}} + 0,3t_{\text{ш}}$$

где $t_{\text{вл}}$ – температура смоченного термометра аспирационного психрометра; $t_{\text{ш}}$ – температура внутри зачерненного шара, имеющего диаметр 90мм, минимально возможную толщину и коэффициент поглощения 0,95; $t_{\text{ш}}$ отражает влияние температуры воздуха, температуры поверхностей и скорости движения воздуха.

Таблица 3.3

**Допустимые величины интенсивности теплового облучения
поверхности тела работающих от производственных источников**

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25... 50	70
Не более 25	100

ТНС-индекс рекомендуется использовать для интегральной оценки тепловой нагрузки среды на рабочих местах, на которых скорость движения воздуха не превышает 0,6 м/с, а интенсивность теплового облучения – 1200 Вт/м².

Значения ТНС-индекса не должны выходить за пределы величин, представленных в табл. 3.4

Таблица 3.4

**Рекомендуемые величины интегрального показателя тепловой
нагрузки среды (ТНС-индекса) для профилактики
перегревания организма**

Категория работ по уровню энергозатрат	Величины интегрального показателя, °С
Ia	22,2... 26,4
Iб	21, 5... 25,8
IIa	20,5... 25,1
IIб	19,5... 23,9
III	18,0... 21,8

Параметры микроклимата как оптимальные, так и допустимые зависят от периода года и категории работ по уровню энергозатрат, табл. 3.1 и 3.2.

Период года учитывает теплоизоляционные характеристики одежды и акклиматизацию организма в разное время года. Различают теплый и холодный периоды года. Холодный период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха, равной $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже, теплый – выше $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энергозатрат организма: легкие физические работы (категория I – Ia и Ib), средней тяжести физические работы (категория II-IIa и IIб), тяжелые физические работы (категория III).

К категории Ia относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 139 Вт, выполняемые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях точного приборо- и машиностроения, на часовом, швейном производствах, в сфере управления и др.).

К категории Ib относятся работы с интенсивностью энергозатрат 140...174 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (ряд профессий в полиграфической промышленности, на предприятиях связи, контролеры, мастера и др.).

К категории IIa относятся работы с интенсивностью энергозатрат 175...232 Вт, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения (ряд профессий в механосборочных цехах машиностроительных предприятий, в прядильно-ткацком производстве и др.).

К категории IIб относятся работы с интенсивностью энергозатрат 233...290 Вт, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий в механизированных литейных, прокатных, кузнечных, термических, сварочных цехах машиностроительных и металлургических предприятий и др.).

К категории III относятся работы с интенсивностью энергозатрат более 290 Вт, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий (ряд профессий в кузнечных, литейных цехах с ручными процессами и др.).

Из приведенных в табл. 3.1 и 3.2 данных видно, что для одного и того же периода года при переходе от I к III категории температуры воздуха и поверхностей снижаются, а скорость движения воздуха увеличиваете. Это связано с необходимостью поглощения большего количества тепла выделяемого организмом человека при тяжелой физической работе.

Приборы для измерения параметров микроклимата

Для контроля параметров микроклимата на рабочих местах рекомендуется использовать следующие приборы.

Температуру и влажность воздуха определяют аспирационными психрометрами. Психрометры состоят из двух одинаковых ртутных термометров – сухого и влажного. Резервуар влажного термометра обернут гигроскопической тканью, конец которой опущен в стаканчик с дистиллированной водой. Поскольку на испарение влаги расходуется тепло, этот термометр показывает более низкую температуру, чем сухой. Чем ниже влажность, тем меньше показания температуры влажного термометра, поскольку с уменьшением влаги в воздухе возрастает испарение воды с увлажненной ткани и поверхность ртутного резервуара охлаждается в большей степени. Сухой термометр показывает температуру воздуха. По разности показаний термометров с помощью специальных психрометрических таблиц определяют относительную влажность воздуха. Аспирационный психрометр снабжен вентилятором, который протягивает через прибор исследуемый воздух с равномерной скоростью, что повышает точность показаний прибора. (Аспирация – движение воздуха.) В табл. 3.5 приведены некоторые типы приборов с указанием пределов измерения по температуре и относительной влажности.

Таблица 3.5

Психрометры аспирационные

Тип прибора	Пределы измерений температуры, °С	Пределы измерений относительной влажности, %
МВ-4М	-30... + 50	10...100
М-34	-30... + 50	10...100
ПБУ-1М	0 ... + 45	40... 80

Для измерения больших скоростей движения воздуха в производственной практике применяют крыльчатые и чашечные анемометры. Эти анемометры чаще всего применяют для оценки работы вентиляционных систем. Принцип действия прибора механический: под давлением движущегося воздуха ось прибора с закрепленными на ней крыльшками или чашечками начинает вращаться и тем быстрее, чем больше скорость движения воздуха.

Для оценки малых скоростей воздуха на рабочих местах применяют термоанемометры и кататермометры. Термоанемометр – батарейный прибор на полупроводниках. Принцип действия основан на изменении сопротивления в датчике прибора, которое происходит при изменении темпера-

туры и скорости движения воздуха. Принцип работы кататермометра, представляющего собой спиртовой термометр с резервуаром до 20 мл, основан на измерении скорости падения температуры при охлаждении от 38 до 35 °С, что позволяет судить о подвижности окружающего воздуха.

В табл. 3.6 приведены основные типы приборов для измерения скорости движения воздуха.

Интенсивность теплового излучения измеряют актинометрами, действие которых основано на поглощении лучистой энергии и превращении ее в тепловую, количество которой регистрируется.

Некоторые типы актинометров приведены в табл. 3.7.

Температура поверхностей измеряется контактными приборами (типа электротермометров) или дистанционными (пирометры). Например, микро-термометр МТ-57М служит для измерения температуры поверхностей в интервале 10... 40 °С.

Таблица 3.6

Приборы для измерения скорости движения воздуха

Тип прибора	Пределы измерений скорости, м/с
Анемометр крыльчатый АСО-3	0,3... 0,5
Анемометр крыльчатый АП-1 м	0,5... 40
Анемометр чашечный МС-13	1,0... 30
Кататермометр шаровой	0,05... 2,0
Термоанемометр ТАМ-1	0,1... 2,0

Таблица 3.7

Типы и характеристика актинометров

Тип прибора	Пределы измерения интенсивности теплового облучения, Вт/м ²
Средство измерений интенсивности теплового облучения ИМО-5	10... 7000
Неселективный радиометр "Аргус 3"	1...2000
Инспекторский	350... 14000

Тепловая нагрузка среды – ТНС-индекс измеряется с помощью шарового термометра, тип 90. Диапазон измеряемых значений 0...50 °С и 30... 100 °С. Кроме того, для интегральной оценки тепловой нагрузки среды можно использовать монитор тепловой нагрузки, модель 1219, фирмы «Брюль и Кьер» (Дания). Диапазон измеряемых значений 20... 120 °С.

Методы и средства нормализации производственного микроклимата

Поскольку микроклиматические условия играют исключительно важную роль в тепловом самочувствии человека, используется комплекс методов и средств для нормализации микроклимата.

Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха наиболее широко применяются для создания благоприятных метеорологических условий на производстве. Для создания нормального микроклимата на рабочих местах с интенсивностью теплового облучения $0,35 \text{ кВт/м}^2$ и более, а также $0,175 \dots 0,35 \text{ кВт/м}^2$ при площади излучающих поверхностей в пределах рабочего места более $0,2 \text{ м}^2$ примет воздушное душирование. Воздушное душирование представляет собой поток воздуха, направляемый непосредственно на рабочее место. Охлаждающий эффект воздушного душирования зависит от разности температур тела работающего и потока воздуха, а также от скорости обтекания воздухом тела человека. Ось воздушного потока при этом направляют на грудь человека горизонтально или сверху под углом 45° . Внедрение технологических процессов и оборудования, снижающих выделение тепла. Например, замена горячего способа обработки металла холодным, применение индукционного нагрева металлов токами высокой частоты вместо пламенного нагрева, замена кольцевых печей для сушки форм и стержней в литейном производстве туннельными, повышение герметичности оборудования и т.д.

Механизация и автоматизация производственных процессов, дистанционное управление позволяют во многих случаях вывести человека из неблагоприятных метеорологических условий. Например, дистанционное управление процессом транспорта природного газа операторной позволяет существенно снизить время пребывания человека в машинном зале компрессорной станции, где температура воздуха превышает допустимую.

Тепловая изоляция оборудования (печей, сосудов и трубопроводов с горячими газами и жидкостями) снижает температуру излучающей поверхности и уменьшает как общее тепловыделение, так и инфракрасное излучение от нагретых поверхностей, предотвращая ожоги при прикосновении к этим поверхностям. Теплозащитные средства должны обеспечивать облученность на рабочих местах не более 350 Вт/м^2 . Температура нагретых поверхностей оборудования не должна превышать 35°C при температуре внутри источника до 100°C и 45°C при температуре внутри источника выше 100°C . Иногда применяют внутреннюю теплоизоляцию для снижения рабочих температур наружных поверхностей оборудования. Кроме того, тепловая изоляция уменьшает тепловые потери оборудования, снижая расход топлива – электроэнергии или пара.

В настоящее время известно много различных видов теплоизоляционных материалов. К неорганическим материалам относятся: асбест, асбоцемент,

вермикулит, минеральная вата и войлок, стекловата и стеклоткань, ячеистый бетон, керамзит и др. Органическими изоляционными материалами являются пробковые, торфоизоляционные и древесноволокнистые плиты, древесные опилки, пенопласт и др. При выборе материала для изоляции необходимо учитывать механические свойства материалов, а также их способность выдерживать высокую температуру. При температуре теплоизлучающей поверхности 500... 600 °С применяют асбест, минеральную вату; при температуре 800... 900 °С – асбозурит, диатомитовый кирпич; при температуре более 1000 °С – вермикулит, специальные керамические плитки и т.д.

Объемно-планировочные и конструктивные решения принимаются на стадии проектирования производственных зданий. Горячие цеха размещают, как правило, в одноэтажных одно- и двухпролетных зданиях. Внутренние дворы располагают так, чтобы обеспечивалось их хорошее проветривание. Основные источники теплоты располагают у наружных стен здания в один ряд на таком расстоянии друг от друга, чтобы тепловые потоки от них не перекрывались на рабочих местах. Наилучшим решением является размещение теплоизлучающего оборудования в изолированных помещениях или на открытых площадках.

Для защиты от поступления в производственные помещения холодного воздуха входы оборудуют шлюзами, дверные проемы – воздушными завесами.

Используют двойное остекление окон, утепление ограждений, полов (установка настилов) и т.д.

Теплозащитные экраны применяют для экранирования источников теплового излучения и для экранирования рабочих мест. Ослабление теплового потока за экраном обусловлено его погложительной и отражательной способностью. В зависимости от того, какая способность экрана более выражена, экраны подразделяют на теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие. Это деление по принципу действия достаточно условно, так как любой экран обладает способностью отражать, поглощать и отводить тепло. По степени прозрачности экран делят на три класса: непрозрачные, полупрозрачные и прозрачные, первому классу относят металлические водоохлаждаемые и футерованные асбестовые, альфалиевые (из алюминиевой фольги), алюминиевые экраны. Ко второму – экраны из металлической сетки с размером ячейки 3... 3,5 мм, цепные завесы, армированное стальной сеткой стекло, целью повышения эффективности все эти экраны могут орошаться водяной пленкой. Для прозрачных экранов (3 класс) используют силикатное, кварцевое или органическое стекло, пленочные водяные завесы, свободные и стекающие по стеклу, вододисперсные завесы. Водяные завесы поглощают поток тепла до 80 % без существенного ухудшения видимости. Высокой эффективностью обладают аквариальные экраны, представляющие

собой коробку из двух стекол, заполненную проточной чистой водой с толщиной слоя 15...20 мм. Вододисперсная завеса представляет собой плоскую воздушную струю со взвешенными в ней капельками воды.

Рациональный режим труда и отдыха разрабатывается применительно к конкретным условиям работы и предусматривает сокращение продолжительности рабочей смены, введение дополнительных перерывов, например, защита временем в условиях нагревающего микроклимата, создание условий для эффективного отдыха в помещениях с нормальными метеорологическими условиями. Если организовать отдельные помещения трудно, то в горячих цехах создают зоны отдыха – «оазисы», где с помощью вентиляции обеспечивается нормальная температура и скорость движения воздуха. Для работающих на открытом воздухе в холодных климатических условиях организуют специальные помещения для обогрева.

Использование средств индивидуальной защиты: спецодежды, спецобуви, средств защиты рук и головы. Для защиты от воздействия высокой и низкой температур, облучения в зависимости от условий труда применяется термозащитная одежда различных видов. При небольшой интенсивности теплового облучения используются хлопчатобумажные ткани с огнестойкой пропиткой, в более жестких условиях (при большом теплооблучении) применяют сукно, асбестовые или металлизированные ткани. Для кратковременной работы в условиях очень высоких температур (300... 500 °С) разработаны специальные теплозащитные комбинезоны и скафандры с принудительной подачей воздуха через шланг от источника питания.

Спецодежда для защиты от низких температур, ветра и атмосферных осадков изготавливается из хлопчатобумажных и смешанных тканей с водоотталкивающими и другими пропитками, из шерсти, меха и синтетических утеплителей. Покрой одежды должен предотвращать выдувание тепла ветром из пододежного пространства и вместе с тем должна быть обеспечена воздухопроницаемость для удаления избыточной влаги. Комплект спецодежды должен обязательно дополняться эффективными средствами для защиты от холода ног, рук и головы. Особенно большое значение имеет качество спецодежды для работы на открытом воздухе в условиях Крайнего Севера. Кроме традиционных комплектов утепленной спецодежды разработаны специальные электрообогревающие комплекты.

Содержание работы

1. Описание стенда. Внешний вид стенда представлен на рис. 2.1.

Стенд состоит из бытового электрокамина 1, модели производственного помещения 2 с вентиляционным зонтом 3, боковой стенки 4, четырех исследуемых экранов 5, стойки 6 гигрометра, термоанемометра, измерителя плотности тепловых потоков 7, и удлинителя.

Боковая стенка 4 модели съемная, а передняя и задняя стенки 8 – глухие. На боковой поверхности модели помещения закреплены крючки 9, на которые устанавливаются сменные экраны 5.

В стойке 6 могут быть закреплены либо измерительная головка 10 измерителя тепловых потоков 7, либо термоанемометр.

Бытовой электрокамин 1 используется в качестве источника теплового излучения.

Вентиляционный зонт 3 используется для создания вытяжной вентиляции и устанавливается сверху на модель производственного помещения 2. Внутри вентиляционного зонта установлена лампа накаливания, которая служит для освещения модели производственного помещения, а также в качестве дополнительного источника тепла для изменения теплового режима внутри модели.

Измерительная головка 10 с помощью винтов крепится к вертикальной стойке 6. Вся эта конструкция может вручную перемещаться по столешнице для изменения расстояния между источником теплового излучения и измерительной головкой.

Для измерения расстояния от источника теплового излучения (электрокамина 1) до измерительной головки 10 используется стандартная металлическая линейка.

Сменные экраны 5 имеют один типоразмер и выполнены из металла с темной и светлой окраской, брезента и набора параллельных цепей.

На задней стенке модели помещения установлен гигрометр для измерения влажности воздуха внутри модели. Для измерения скорости движения воздуха используется малогабаритный термоанемометр, закрепляемый в стойке 6.

На столешнице размещен удлинитель для подключения к сети переменного тока электрокамина 1 и вентиляционного зонта 3.

2. Требования безопасности при выполнении лабораторной работы.

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

Не рекомендуется включать электрокамин на полную мощность 1 кВт (задействован один нагревательный элемент, второй – отключен).

Запрещается прикасаться к электронагревательному элементу электрокамина.

Не допускается работа с любым экраном более 7 минут.

Расстояние от электрокамина до экрана 150–200 мм.

После проведения лабораторной работы отключить электропитание стенда.

Порядок проведения лабораторной работы

Задание. Исследовать эффективность «вытяжной вентиляции» (количество уносимого вентилятором тепла).

Установить любой металлический экран и съемную боковую стенку. Закрепить термоанемометр так, чтобы измерительная головка находилась на расстоянии 250 мм от стойки. Стойку с термоанемометром расположить за моделью производственного помещения, а измерительную головку – внутри (через отверстие в боковой стенке). Стойку максимально приблизить к модели. Включить осветительную лампу внутри зонта, которая в данном случае будет использоваться в качестве источника тепла. В течение 10 мин замерять изменения температуры. Включить вентилятор зонта и в течение 10 мин снова повторить измерения. По результатам измерений определить эффективность вытяжной вентиляции (количество уносимого вентилятором тепла). Параллельно с этим с помощью гигрометра замерять влажность внутри модели помещения.

Замерить скорость движения воздуха при включенном вентиляторе зонта при двух значениях скорости вращения двигателя вентилятора.

Выключить стенд и измерительные приборы.

Составить отчет о работе.

Содержание отчета

Краткое описание параметров воздушной среды, определяющих микроклимат рабочей зоны производственных помещений, и приборов для их определения.

Выполнить необходимые замеры температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха.

Результаты измерений занести в табл. 3.8.

Определить количество уносимого вентилятором тепла.

$$n = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100, \%$$

Сравнить полученные результаты с оптимальными значениями параметров по ГОСТ 12.1.005–88.

Сделать выводы.

Таблица 3.8

Результаты измерений

№ замера	Температура воздуха при выключенном вентиляторе T_1 , °С	Температура воздуха при включенном вентиляторе T_2 , °С	Относительная влажность при выключенном вентиляторе, %	Относительная влажность при включенном вентиляторе, %	Эффективность вытяжной вентиляции, %
1					
2					
...					
n					

Контрольные вопросы

1. Какие основные параметры воздушной среды определяют микроклимат рабочей зоны производственных помещений?
2. Какая существует взаимосвязь между самочувствием человека и состоянием микроклимата производственной среды?
3. Какие факторы учитываются при нормировании микроклимата рабочей зоны помещений?
4. Какими нормативными документами регламентированы метеорологические условия производственной среды?
5. Дайте определение оптимальных и допустимых параметров микроклимата.
6. Назовите приборы для измерения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха.
7. Какой период года считается теплым, холодным и переходным?
8. Какие санитарно-гигиенические мероприятия позволяют создавать и поддерживать микроклимат рабочей зоны в соответствии с требованиями ГОСТов и санитарных норм?

Лабораторная работа № 4

Исследование искусственного освещения производственных помещений

Цель работы: ознакомление с нормированием и расчетом искусственного освещения, методами определения качества искусственного освещения на рабочих местах.

Основные сведения

Искусственное освещение в помещениях принимается тогда, когда естественный свет недостаточен или отсутствует. Искусственное освещение подразделяют на рабочее, аварийное, охранное и дежурное, табл. 4.1. Оно проектируется двух видов: общее (равномерное или локализованное) и комбинированное, табл. 4.2.

Таблица 4.1

Виды искусственного освещения и его нормирование

Вид освещения	Характеристика	Нормирование
Рабочее	Освещение для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта	Нормы освещенности приведены в прил. 3
Аварийное: а) освещение безопасности	Предусматривается в случаях, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать: взрыв; пожар; отравление людей; длительное нарушение технологического процесса и т.д.	Должно создавать наименьшую освещенность на рабочих поверхностях в размере 5% освещенности, нормируемой для рабочего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территорий предприятий
б) эвакуационное	Предусматривается в местах, опасных для прохода людей, в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей и т.д.	Должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу основных проходов (или на земле) и на ступенях лестниц: в помещениях – 0,5 лк, а на открытых территориях – 0,2 лк
Охранное	Должно предусматриваться вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время	Освещенность должна быть не менее 0,5 лк на уровне земли в горизонтальной плоскости
Дежурное	Включается только во вне рабочее время	Не нормируется

Таблица 4.2

Системы искусственного освещения

Система освещения	Характеристика
Общее освещение:	Предназначено для освещения всего помещения
а) равномерное	Светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно
б) локализованное	Светильники размещаются применительно к расположению оборудования
Комбинированное	Освещение, при котором к общему освещению добавляется местное, создаваемое светильниками, концентрирующими световой поток непосредственно на рабочих местах

Искусственное освещение в производственных помещениях осуществляется с помощью светильной аппаратуры – светильников. *Светильник* состоит из лампы, являющейся источником света, и осветительной арматуры, с помощью которой световой поток перераспределяется в нужном направлении. Для производственных и общественных помещений в качестве источников света применяются лампы накаливания и газоразрядные лампы, а при производстве строительных и монтажных работ внутри зданий – только лампы накаливания.

Возможности источников света определяются такими основными характеристиками, как: электрическая мощность лампы P (Вт); номинальное напряжение питания U (В); световой поток, излучаемый лампой Φ (лм), или максимальная сила света J (кд); световая отдача $\psi = \Phi/P$ (лм/Вт), т.е. отношение светового потока лампы к ее электрической мощности; срок службы лампы и спектральный состав света.

Лампы накаливания представляют собой источник света видимого излучения, возникающего при нагреве нити накала до температуры свечения. Широкое применение в промышленности получили лампы таких типов, как вакуумные (НВ), газонаполненные биспиральные (НБ), биспиральные с криптоксеноновым наполнением (НБК), зеркальные с диффузно отражающим слоем и др. Весьма перспективными являются галоидные лампы – лампы накаливания с йодным циклом, имеющие лучший спектральный состав света и более высокие экономические характеристики по сравнению с другими лампами накаливания.

К достоинствам ламп накаливания относятся удобство в эксплуатации, простота в изготовлении, отсутствие дополнительных пусковых устройств для включения в сеть, надежность работы при колебании напряжения в сети и различных состояниях окружающей среды. Они компактны, световой поток их к концу срока службы снижается незначительно (приблизительно на 15 %).

Недостатками ламп накаливания являются низкая световая отдача (не более 20 лм/Вт), ограниченный срок службы (до 2,5 тыс. ч), преобладание

излучения в желто-красной части спектра, что сильно отличает их спектральный состав от солнечного света, низкий КПД, равный 10–13 %.

Газоразрядные лампы представляют собой источники света видимого излучения, вызываемого электрическим разрядом в атмосфере некоторых инертных газов и паров металлов и их смесей при различных давлениях с использованием в отдельных типах ламп люминофоров – специальных составов, которые преобразуют невидимое ультрафиолетовое излучение в видимый свет. Различают газоразрядные лампы низкого (люминесцентные) и высокого давления.

Наибольшее распространение среди газоразрядных ламп получили люминесцентные низкого давления мощностью 8–150 Вт, имеющие цилиндрическую форму и разные по цветности излучения в зависимости от состава люминофора.

По спектральному составу видимого света люминесцентные лампы делятся на несколько типов: дневного света (ЛД), дневного света с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ), белого цвета (ЛБ), холодного белого (ЛХБ) и теплого белого цвета (ЛТБ). Находят применение для освещения производственных помещений и газоразрядные лампы высокого давления: дуговые ртутные (ДРЛ), галогенные (ДРИ), дуговые ксеноновые трубчатые (ДКсТ), натриевые (ДНаТ) и др.

Основными преимуществами газоразрядных ламп перед лампами накаливания являются:

- высокая световая отдача (до 110 лм/Вт);
- большой срок службы (10000–14000 ч);
- световой поток ламп по спектральному составу близок к естественному освещению.

К недостаткам газоразрядных ламп относятся:

- пульсация светового потока с частотой вдвое большей частоты питающего лампы переменного тока, что может привести к появлению стробоскопического эффекта, заключающегося в искажении зрительного восприятия;
- длительный период разгорания;
- наличие специальных пускорегулирующих аппаратов, облегчающих зажигание ламп и стабилизацию их работы;
- зависимость работоспособности от температуры окружающей среды (рабочий диапазон температур – 10...30 °С);
- повышенная чувствительность к снижению напряжения питающей сети;
- снижение светового потока к концу срока службы на 50 % и более;
- создание радиопомех, исключение которых требует специальных устройств.

Нормирование освещенности производится в зависимости от системы освещения и характеристики зрительной работы, которая определяется следующими параметрами: наименьшим размером объекта при проведении работы, фоном, контрастностью объекта по отношению к фону.

К искусственному освещению предъявляют следующие требования:

- освещенность рабочего места должна соответствовать отраслевым нормам искусственного освещения;
- освещенность должна быть равномерной во времени и по площади;
- на рабочем месте необходимо обеспечить равномерное распределение яркости;
- в поле зрения должны отсутствовать прямая и отраженная блескость, а также резкие тени;
- при организации освещения необходимо учитывать спектральный состав света;
- осветительная установка не должна быть источником опасности и вредности.

Для расчета общего равномерного освещения производственных помещений применяют метод коэффициента использования светового потока. При расчете этим методом учитывается прямой свет от светильника и свет, отраженный от стен и потолка.

Световой поток одной лампы Φ_L (лм) определяется по формуле

$$\Phi_L = \frac{ESK_3 Z}{N\eta} \quad (4.1)$$

где E – нормируемая освещенность, лк; S – площадь помещения, м²; K_3 – коэффициент запаса, учитывающего старение лампы, запыление и загрязнение светильника; Z – коэффициент неравномерности освещения, $Z = \frac{E_{\text{ср}}}{E_{\text{min}}}$

(его значения не должны превышать для работ I–III разряда при люминесцентных лампах – 1,3, при других источниках света – 1,5; для работ IV–VII разрядов – 1,5 и 2,0 соответственно); N – число светильников; η – коэффициент использования светового потока. Он зависит от индекса помещения i , высоты подвеса светильников $H_{\text{св}}$ и коэффициентов отражения стен $\rho_{\text{с}}$, потолка $\rho_{\text{п}}$ и пола $\rho_{\text{р}}$. Коэффициенты отражения оцениваются субъективно.

Индекс помещений i определяется по формуле

$$i = AB/H_{\text{св}}(A+B), \quad (4.2)$$

где A и B – соответственно длина и ширина помещения, м; $H_{\text{св}}$ – высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, определяется из выражения $H_{\text{св}} = H - h_{\text{с}} - h$, где H – общая высота помещения, м; $h_{\text{с}}$ – высота от светильника до потолка, м; h – высота от пола до освещаемой рабочей поверхности, м. Высота рабочей поверхности принимается 0,8 м.

При расчете определяют значение наименьшей освещенности E по ГОСТ 2239–79 и ГОСТ 6825–91, задаются типом и числом светильников N , по справочным таблицам находят значения коэффициентов K_3 и η , по формуле (1) подсчитывают световой поток Φ и по таблицам подбирают ближайшую стандартную лампу, обеспечивающую этот поток.

Выбор расположения и способов установки светильников

От расположения светильников зависят экономичность, качество освещения и удобство эксплуатации осветительных установок. Основные схемы размещения осветительных установок для общего равномерного освещения показаны на рис. 4.3.

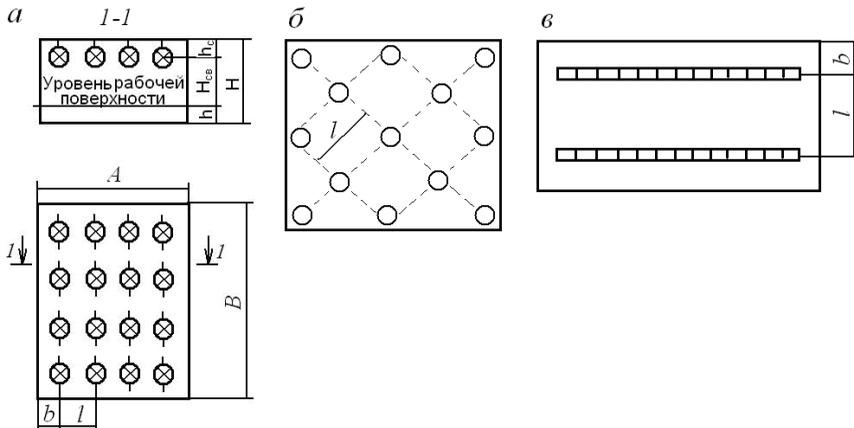


Рис. 4.3. Схемы размещения осветительных приборов для общего равномерного освещения:

а – лампы накаливания размещены по вершинам квадратных полей; *б* – то же, в шахматном порядке по вершинам квадратных, но диагонально расположенных полей; *в* – люминесцентные лампы, расположены параллельно стене с окнами (длинной стене узкого помещения)

Для различных типов светильников, выбор которых производится с учетом взрыво- и пожароопасности и загрязненности воздушной среды, светотехнический расчет должен определить их расположение, обеспечивающее требуемую освещенность рабочей поверхности при минимуме светового потока источников света и годовых эксплуатационных затрат. Эти характеристики зависят от отношения расстояния l между светильниками к расчетной высоте подвески h_c над рабочей поверхностью.

В зависимости от типа светильника отношение l/h_c принимают равным 1,4 – для светоподказателя $\lambda = l/h$ (отношения расстояния между светильниками или рядами светильников к высоте подвески светильника над рабо-

чей поверхностью). В соответствии с ГОСТ 17677–82 рекомендуется принимать для различных типовых кривых силы света светильников следующие значения λ , табл. 4.3.

Таблица 4.3

Зависимость λ от различных кривых силы света светильников

Типовая кривая силы света	Энергетически выгодное λ_e	Экономически выгодное λ_o	Коэффициент m
Концентрированная	0,6	0,6	10
Глубокая	0,9	1,0	4
Косинусная	1,4	1,6	1
Полуширокая	1,6	1,8	1,6

Значения наивыгоднейшей высоты подвески светильника определяются по формуле

$$h = d \sqrt{\frac{m+1}{2}},$$

где d – размер освещаемой поверхности от источника света.

Расстояние от крайних светильников до стены рекомендуется выбирать равным $b = (0,3 \div 0,5)l$, при этом 0,5 принимается при наличии у стены проходов.

Устройство и принцип работы установки

Лабораторная установка состоит из макета производственного помещения, оборудованного различными источниками искусственного освещения, и пульсметра-люксметра для измерения значений освещенности и коэффициента её пульсаций. Макет и пульсметр-люксметр устанавливаются на стол лабораторный.

Внешний вид макета представлен на рис. 4.4. Макет имеет каркас 1 из алюминиевого профиля, пол 2, потолок 3, боковые стенки 4, заднюю стенку и переднюю стенку 5. На заднюю и боковые стенки внутри макета помещения могут устанавливаться накладки темного цвета, которые фиксируются с помощью магнитных защелок.

Передняя стенка 5 выполнена из прозрачного тонированного стекла.

В передней нижней части каркаса 1 предусмотрен проем для установки накладок и измерительной головки 6 пульсметра-люксметра 7 внутрь каркаса.

На полу 2 размещен вентилятор 8 для наблюдения стробоскопического эффекта и охлаждения ламп в процессе работы.

На потолке 3 размещены 7 патронов, в которых установлены две лампы накаливания 9, три люминесцентные лампы 10 типа КЛ9, галогенная лампа 11 и люминесцентная лампа 12 типа СКЛЭН с высокочастотным преобразо-

вателем. Вертикальная проекция ламп отмечена на полу 2 цифрами, соответствующими номерам ламп на лицевой панели макета. Лампы защищены от повреждений двумя шнурами, натянутыми между передней и задней стенками.

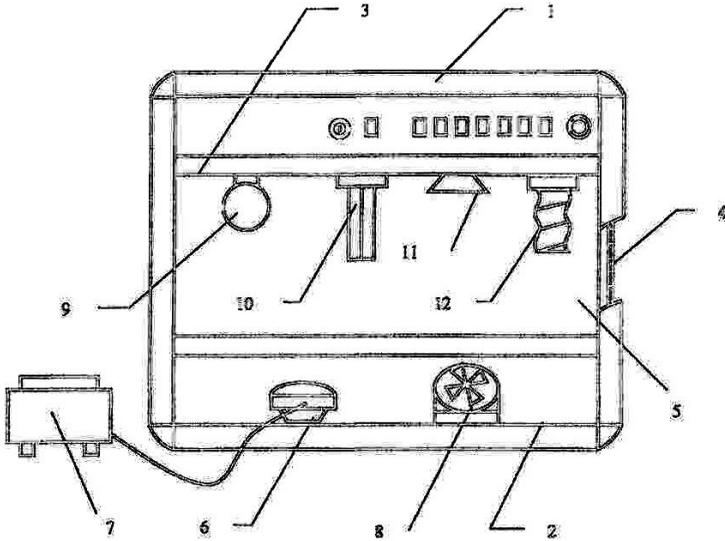


Рис. 1

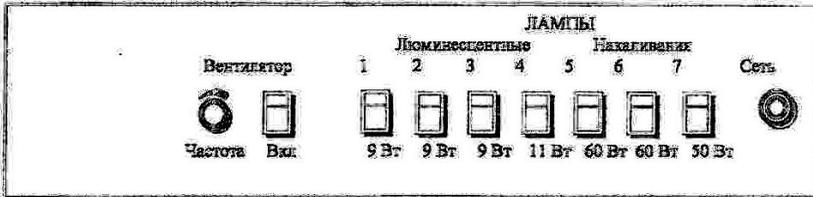


Рис. 4.4. Лабораторная установка
«Эффективность и качество освещения БЖИМ»

На передней панели каркаса расположены органы управления и контроля, в том числе:

- лампа индикации включения напряжения сети;
- переключатель для включения вентилятора;
- ручка регулирования частоты вращения вентилятора;
- переключатели (1-7) для включения ламп.

Электропитание ламп накаливания и люминесцентных ламп осуществляется от разных фаз. Схема позволяет включать отдельно каждую лампу с помощью соответствующих переключателей, расположенных на передней панели каркаса.

На задней панели каркаса расположен автомат защиты сети и сдвоенная розетка с напряжением 220 В для подключения измерительных приборов.

Включение электропитания установки производится автоматом защиты, находящимся на задней панели каркаса, и регистрируется сигнальной лампой, расположенной на передней панели каркаса.

Включение вентилятора и регулировка частоты его вращения – соответствующим переключателем и ручкой, расположенными на передней панели каркаса.

Электропитание ламп накаливания и люминесцентных ламп осуществляется от разных фаз. Схема позволяет включать отдельно каждую лампу с помощью соответствующих переключателей, С помощью сдвига фаз достигается уменьшение коэффициента пульсации освещенности.

Принцип работы установки состоит в создании внутри модели производственного помещения различных уровней освещенностей в зависимости от отражательной способности стен и от типов применяемых ламп, а также в получении стробоскопического эффекта и его изучении.

Устройство и принцип работы пульсметра-люксметра “ТКА-ПКМ”

Прибор предназначен для измерения: коэффициента пульсации источников излучения и освещенности в видимой области спектра (380... 760 нм), создаваемой источниками, расположенными произвольно относительно приемника.

Область применения прибора: санитарный и технический надзор в жилых и производственных помещениях, музеях, библиотеках, архивах; аттестация рабочих мест и другие сферы деятельности.

Приборы комбинированные выпускаются в компактном портативном исполнении. Конструктивно прибор состоит из двух функциональных блоков: фотометрической головки и блока обработки сигнала, связанных между собой гибким многожильным кабелем, рис. 4.5.

На лицевой стороне блока обработки сигнала расположены следующие органы управления и индикации:

- жидкокристаллический индикатор;
- кнопки питания «ВКЛ / ВЫКЛ»;
- кнопка управления «HOLD»;
- кнопка подсветки индикатора «Подсветка»;
- разъем типа DB-9M.

Разъем в стандартном исполнении используется только для технологических операций на предприятии-изготовителе.

Фотоприёмный элемент с корректирующими фильтрами, формирующими спектральные характеристики, располагаются в фотометрической головке.

На задней стенке блока обработки сигналов расположена крышка батарейного отсека. Рядом над крышкой указывается заводской порядковый номер прибора.

Принцип работы прибора заключается в преобразование фотоприемным устройством излучения в электрический сигнал с последующей обработкой его микроконвертором и цифровой индикацией числовых значений коэффициента пульсаций в % и освещенности в лк.

Для измерения желаемой характеристики излучения достаточно расположить фотометрическую головку прибора в плоскости измеряемого объекта.

Порядок работы с прибором

1. До начала работы с прибором потребитель должен внимательно ознакомиться с назначением прибора, его техническими данными и характеристиками, устройством и принципом действия, а также с методикой проведения измерений.

2. Включите прибор кнопкой «ВКЛ/ВЫКЛ».

3. Эксплуатация прибора допускается только в рабочих условиях, указанных в руководстве по эксплуатации прибора.

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

5. В ходе измерения в правом поле первой строки загорается символ - «батарейка», информирующий о ёмкости батареи питания:

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

7. Для правильного обнуления прибора произвести затемнение датчика прибора и нажать кнопку «HOLD». Процесс обнуления сопровождается надписью на индикаторе: «ПОДОЖДИТЕ, ИДЕТ ИЗМЕРЕНИЕ».

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

8. После пропадания предупреждающей надписи прибор переходит в основной режим измерений. Первая строка «E=» выводит текущую освещённость в лк, во второй строке «Кп = » — коэффициент пульсаций светового потока в %.



Рис. 4.5. Внешний вид прибора: 1 - блок обработки сигналов, 2 -фотометрическая головка.

9. В случае измерения освещённости, расположите фотометрическую головку параллельно плоскости измеряемого объекта. Проследите за тем, чтобы на окно фотоприемника не падала тень от оператора, производящего измерения, а также тень от временно находящихся посторонних предметов.

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

10. При увеличении сигнала, создаваемого источником светового потока, в строке Е происходит автоматический переход численного значения освещенности в кЛк. При выходе за пределы измерений освещенности появиться надпись: «ОСВЕЩЕНИЕ ИЗБЫТОЧНО».

11. Для запоминания измеренного показания на индикаторе прибора необходимо кратковременно нажать кнопку «HOLD». В правом поле инди-

катора появится надпись «HOLD». Для продолжения измерений еще раз нажать кнопку «HOLD».

12. Если во время работы прибора появится надпись: «ЗАМЕНИТЕ БАТАРЕЙКУ», то необходимо произвести замену элемента питания.

13. Прибор выключается кнопкой «ВКЛ / ВЫКЛ».

Указания мер безопасности

К работе с установкой допускаются лица, ознакомленные с ее устройством, принципом действия и мерами безопасности, приведенными в настоящем разделе,

Перед началом работы с установкой необходимо подключить заземляющий болт на задней панели каркаса, обозначенный знаком "⊥", к контуру заземления лаборатории.

Присоединение к шине заземления должно быть выполнено медным проводом сечением не менее 1 мм².

При необходимости, для предотвращения перегрева установки в процессе работы допускается включать вентилятор.

После проведения работы с установкой необходимо отключить ее от сети.

Подготовка установки к работе

1. Подключить установку к сети,
2. По методике проведения лабораторной работы установить темные накладки на боковые и заднюю стенки.

ВНИМАНИЕ! При установке и снятии накладок соблюдать осторожность, чтобы не повредить баллоны ламп на потолке модели помещения.

3. Для измерения освещенности и коэффициента пульсации ламп установить головку пульсметра-люксметра внутрь корпуса установки, подключив вилку прибора к розетке на задней панели каркаса.

Порядок проведения лабораторной работы

1. Изучение зависимости освещенности помещения от вида используемых ламп и цвета окружающих панелей. Поочередно измерить величину освещенности и коэффициента пульсации внутренней поверхности лабораторной установки при включении 3-х люминесцентных ламп по 9 Вт, одной люминесцентной лампы на 11 Вт, ламп накаливания по 60 Вт и одной на 50 Вт. Произвести замеры без накладных панелей черного цвета и с накладными панелями. Результаты занести в табл. 4.2, 4.3.

2. Изучение стробоскопического эффекта от вида и сочетания используемых ламп. Включить внутри установки люминесцентную лампу на 11 Вт и, меняя частоту вращения вентилятора, добиться наиболее выраженный стробоскопический эффект.

Дополнительно с люминесцентной лампой на 11 Вт поочередно включая другие люминесцентные лампы установить возможность наилучшего снижения стробоскопического эффекта с помощью эффекта сдвига фаз.

Аналогичным образом установить, существует ли возможность снижения стробоскопического эффекта сочетанием одновременного включения люминесцентной лампы на 11 В и ламп накаливания.

Содержание отчета

Таблица 4.2

Освещенность внутри установки

	Люминесцентные		Лампы накаливания		
	3x9 Вт	11 Вт	60 Вт	60 Вт (матовая)	50 Вт (галогенная)
Без панелей					
Накладные панели					

Таблица 4.3

Коэффициент пульсации света

Люминесцентные				Лампы накаливания		
1x9 Вт	2x9 Вт	3x9 Вт	11 Вт	60 Вт	60 Вт (матовая)	50 Вт (галогенная)

По полученным опытным и эмпирическим результатам сделать соответствующие выводы:

- как влияет тип используемых ламп и окраски внутренних поверхностей помещения на величину освещенности и коэффициента пульсации;
- сделать анализ от эффективности и экономичности тех или иных видов используемых ламп;
- как влияет частота вращения вентилятора и сочетание разных видов ламп на стробоскопический эффект;
- как влияет сочетание разных видов ламп на величину коэффициента пульсации света внутри установки.

Контрольные вопросы

1. Какие виды искусственного освещения применяются в производственных и общественных зданиях?

2. Какие источники света применяются в зданиях, и что они собой представляют?
3. Назовите основные характеристики источников света.
4. Что такое коэффициент пульсации?
5. Назовите типы ламп искусственного освещения.
6. Основные преимущества и недостатки ламп накаливания и газоразрядных ламп.
7. Как производится нормирование освещенности?
8. Какие требования предъявляются к искусственному освещению?

Лабораторная работа № 5

Исследование средств звукоизоляции

Цель работы: ознакомить студентов с теорией производственных шумов, физической сущностью и инженерным расчетом звукоизоляции, с приборами для измерения шума, нормативными требованиями к производственным шумам, провести измерения шума объекта, оценить эффективность мероприятий по снижению шума средствами звукоизоляции.

Основные сведения

Основными источниками шума внутри зданий и сооружений различного назначения и на площадках промышленных предприятий являются машины, механизмы, средства транспорта и другое оборудование.

Причинами возникновения шумов могут быть механические, аэродинамические и электромагнитные явления. *Механические шумы* вызваны ударными процессами, трением в деталях машин и др. *Аэродинамические шумы* возникают при течении жидкостей или газов. *Электромагнитные шумы* возникают при работе электрических машин.

Люди неодинаково реагируют на шум. Одна и та же доза шумового воздействия у одних людей вызывает повреждение слуха, у других – нет, у одних эти повреждения могут быть тяжелее, чем у других. *Шум* – это разного рода звуки, мешающие восприятию полезных сигналов, нарушающие тишину или оказывающие вредное воздействие на организм человека.

Звук представляет собой колебания среды (твердой, жидкой или газообразной), в которой он распространяется. Звук, распространяющийся в воздухе, называется *воздушным звуком*, а распространяющийся в материале (конструкциях) – *структурным*.

К доступным для измерения характеристикам звука относятся интенсивность I , звуковое давление P и скорость c .

Интенсивность звука характеризуется потоком энергии, которую несет звук, приходящийся на единицу площади (Вт/м^2). Соотношение между интенсивностью звука I и звуковым давлением P следующее:

$$I = \frac{P^2}{\rho c}, \quad (5.1)$$

где P – *звуковое давление* (разность между мгновенным значением полного давления и средним значением давления, которое наблюдается в среде при отсутствии звукового поля); ρ – плотность среды, кг/м^3 ; c – скорость звука в среде, м/с .

Для измерения интенсивности звука и таких параметров, как давление и мощность звука, вводится относительная логарифмическая единица, называемая *уровнем звукового давления*, или *уровнем интенсивности* L_i ,

$$L_i = 10 \lg \left(\frac{I}{I_0} \right), \quad (5.2)$$

где I_0 – интенсивность звука, соответствующая пороговому уровню, $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м².

Человеческое ухо и многие акустические приборы реагируют не на интенсивность звука, а на звуковое давление P :

$$L_p = 10 \lg \left(\frac{P^2}{P_0^2} \right) = 20 \lg \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (5.3)$$

где P_0 – пороговое звуковое давление, $P_0 = 2 \cdot 10^{-12}$ Па.

Связь между уровнем интенсивности и уровнем звукового давления следует из формулы

$$L_i = \lg \left(\frac{I}{I_0} \right) = 10 \lg \left(\frac{P^2 \rho_0 c_0}{P_0^2 \rho c} \right) = 10 \lg \left(\frac{P^2}{P_0^2} \right) + 10 \lg \left(\frac{\rho_0 c_0}{\rho c} \right) = L_p + 10 \lg \left(\frac{\rho_0 c_0}{\rho c} \right) \quad (5.4)$$

где ρ_0 , c_0 – соответственно плотность среды и скорость звука при нормальных атмосферных условиях ($t = 20$ °С, $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па).

Уровень звука измеряется в децибелах (дБ), 1 дБ = 0,1 Б.

При наличии в помещении нескольких источников звука суммарный уровень звукового давления:

$$L_{\text{сум}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \quad (5.5)$$

где n – количество источников шума; L_i – слагаемые уровни шума.

Если же имеется n одинаковых источников шума с уровнем L_i , то общий уровень звукового давления

$$L = L_i + 10 \lg n, \quad (5.6)$$

Суммирование уровней звукового давления производится согласно СНиП 23-03-2003.

Спектр шума

Важной характеристикой звука является зависимость его уровня от частоты (f). Нижняя граница восприятия человеком звука составляет около 20 Гц, а верхняя – около 20000 Гц. Зависимость уровня звука от частоты называется *спектром шума*.

Определение интенсивности звука для каждой частоты потребовало бы бесконечного числа измерений, поэтому весь возможный диапазон частот разделяют на октавы. *Октавная полоса частот* – полоса частот, в которой

верхняя граничная частота (f_v) в 2 раза больше нижней (f_n). Для каждой октавы подсчитывают среднегеометрическое значение частоты:

$$f_{cp} = \sqrt{f_n f_v}.$$

Граничные и среднегеометрические (в этих границах) частоты приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Граничные и среднегеометрические частоты октавных полос

Граничные частоты октавных полос, Гц	45-90	90-180	180-335	335-710	710-1400	1400-2800	2800-5600	5600-11200
Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000

В зависимости от того, на какой частоте находится максимум звукового давления, характер спектра может быть:

- а) низкочастотным (максимум – ниже 300 Гц);
- б) среднечастотным (максимум – в области 300...800 Гц);
- в) высокочастотным (максимум – выше 800 Гц).

По характеру спектра шумы можно подразделить также:

- на *широкополосные*, с непрерывным спектром шириной более одной октавы; это означает, что каждой частоте октавы соответствует некоторый уровень шума (например, работа вентилятора);

- на *тональные*, в спектре которых имеются слышимые дискретные тона (составляющие, например, шум при работе дисковой пилы).

По временным характеристикам шумы подразделяются:

- на *постоянные*, уровень звука которых за 8-часовой рабочий день изменяется во времени не более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике «медленно» шумомера;

- на *непостоянные*, уровень звука которых за 8-часовой рабочий день изменяется во времени более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике «медленно» шумомера.

Непостоянные шумы подразделяются:

- на *колеблющиеся по времени*, уровень звука которых непрерывно изменяется во времени;

- на *прерывистые*, уровень звука которых резко падает до уровня фонового шума; причем длительность интервалов, в течение которых уровень остается постоянным и превышающим уровень фонового шума, составляет 1 с и более;

- на *импульсные*, состоящие из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый длительностью менее 1 с, при этом уровни звука в дБ, измеренные при включении характеристик «медленно» и «импульс» шумомера,

отличаются не менее чем на 10 дБ.

Характеристики и нормы шума на рабочих местах

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц, определяемые по формуле

$$L = 20 \lg \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (5.7)$$

где P – среднеквадратичная величина звукового давления, Па; P_0 – пороговая величина среднеквадратичного звукового давления, $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Для ориентировочной оценки постоянного шума на рабочем месте допускается принимать уровень звука (дБ), измеряемого по шкале «А» шумомера и определяемого по формуле

$$L_A = 20 \lg \left(\frac{P_A}{P_0} \right) \quad (5.8)$$

где P_A – среднеквадратичная величина звукового давления с учетом коррекции «А» шумомера, Па.

Допустимые уровни звукового давления (эквивалентные уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ, для жилых и общественных зданий и территорий следует принимать в соответствии со СНиП 23-03-2003. Санитарно-гигиеническое нормирование заключается в предотвращении возможности влияния шума на организм человека посредством ограничения как его уровней до допустимых, так и длительности пребывания человека в условиях интенсивного шума.

ГОСТ ISO 9612-2016 устанавливает метод измерения шума, действующего на работника на его рабочем месте, и расчета основной нормируемой характеристики шумового воздействия - эквивалентного уровня звука за 8-часовой рабочий день. Настоящий стандарт устанавливает три основные стратегии измерения шума на рабочем месте, однако для конкретных рабочих мест может оказаться более предпочтительным выбрать иную обоснованную стратегию, в том числе являющуюся комбинацией двух или трех основных.

Таблица 5.2

Допустимые уровни звука и уровни звукового давления для рабочих мест (СНиП 23-03-2003)

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука или эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Производственные помещения										
1. Рабочие помещения административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещения для измерительных и аналитических работ	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
2. Рабочие помещения диспетчерских служб, кабины наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону, участки точной сборки, телефонные и телеграфные станции	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
3. Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, кабины наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
4. Помещения с постоянными рабочими местами производственных предприятий, территории предприятий с постоянными рабочими местами (за исключением работ, перечисленных в поз. 1 - 3)	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Методы измерения шума

Шум на рабочих местах в производственных помещениях измеряется на уровне 1,5 м от пола или на уровне работающего при включении не менее 2/3 установленного оборудования.

Определяются следующие измеряемые и рассчитываемые величины в зависимости от временных характеристик шума:

- а) уровень звука, дБА, и октавные уровни звукового давления, дБ, – для постоянного шума;
- б) эквивалентный уровень звука и максимальный уровень звука, дБА, – для колеблющегося во времени шума;
- в) эквивалентный и максимальный уровень, дБА, – для прерывистого шума.

Продолжительность измерения T следует принимать днем непрерывно в течение 8 ч, ночью – непрерывно в течение 0,5 ч.

Продолжительность измерения шума необходимо устанавливать в зависимости от характера шума:

- 1) постоянного шума – 3 мин, в каждой точке 3 отсчета;
- 2) прерывистого шума – 30 мин и более, проводят в течение полного цикла характерного действия шума (днем или ночью);
- 3) импульсного шума – 30 мин;
- 4) непостоянного шума – период времени, который охватывает все типичные изменения шума (не менее 30 мин).

Защита от шума

Защита от шума должна достигаться разработкой шумобезопасной техники, применением средств и методов защиты от шума. Согласно ГОСТ 12.4.051-87 и ГОСТ 12.1.029-80 средства и методы защиты от шума подразделяются на:

- средства индивидуальной защиты;
- средства и методы коллективной защиты.

Средства индивидуальной защиты применяются, когда неэкономично, а иногда и практически невозможно уменьшить шум до допустимых величин на некоторых производствах (клепка, штамповка, испытание двигателей внутреннего сгорания и др.). Различают два основных типа противошумов: внутренние, вкладываемые внутрь наружного слухового прохода, и наружные, закрывающие всю ушную раковину снаружи. Наиболее простым средством являются вкладыши, изготавливаемые в виде мягких тампонов из обычной ваты, ультратонкого волокна, смоченного парафином, и жестких заглушек-втулок (в форме конуса) из резины, паралона, пластмассы, эбонита и т.д. К недостаткам вкладышей следует отнести низкую эффективность (5-20 дБ), возникновение болевых ощущений при длительном пользовании, не гигиеничность повторного использования.

Более эффективным средством защиты от шума являются наушники, противошумные каски с наушниками. При уровнях шума свыше 120 дБ,

когда шум передается через кости черепа, позвоночник, рекомендуется применять шлемы и специальную противозумную одежду.

К средствам и методам коллективной защиты относятся:

а) уменьшение шума в источнике, улучшение конструкций машин за счет точности изготовления узлов, балансировки вращающихся элементов, применение пластмассовых шестерен вместо стальных и др.;

б) архитектурно-планировочные методы:

- рациональные акустические решения планировок зданий и генпланов;
- рациональное размещение технологического оборудования;
- рациональное размещение рабочих мест;
- рациональное акустическое размещение зон и режима движения транспортных средств и транспортных потоков;

- создание шумозащитных зон;

в) акустические средства:

- звукоизоляции: звукоизолирующие ограждения, звукоизолирующие кабины, звукоизолирующие кожухи, акустические экраны, выгородки;

- звукопоглощения: звукопоглощающие облицовки, объемные (штучные) поглотители звука;

- виброизоляции: виброизолирующие опоры, упругие прокладки, конструкционные разрывы;

- демпфирования: элементы с сухим трением, элементы с вязким трением; элементы с внутренним трением, линейные, нелинейные;

- глушители шума: адсорбционные, реактивные (рефлексные), комбинированные;

г) организационно-технические методы:

- применение малозумных технологических процессов;

- оснащение шумных машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля;

- совершенствование технологии ремонта и обслуживания машин;

- применение малозумных машин, изменение конструктивных элементов машин, их сборочных единиц;

- использование рациональных режимов труда и отдыха работников на шумных предприятиях.

Расчет требуемой звукоизолирующей способности от воздушного шума

Многие практические задачи защиты от шума решаются применением строительно-акустических мер, в частности, увеличением звукоизоляции между помещениями. В зависимости от способа возбуждения колебаний в строительных конструкциях различают изоляцию воздушного и структурного звуков. К последнему случаю относится изоляция ударного звука перекрытием. Под изоляцией воздушного звука ограждающей конструкцией

понимают свойство последней передавать в соседнее помещение только часть падающей на нее мощности воздушного звука. Для оценки звукоизоляции используют формулу:

$$R = 10 \lg(P_1/P_2) \quad (5.9)$$

где P_1 – мощность звука, падающего на преграду (строительную конструкцию); P_2 – мощность звука, излучаемого обратной стороной преграды (строительной конструкцией).

Эта формула справедлива только в тех случаях, когда справа и слева от звукоизолирующей преграды (строительной конструкции) находятся два помещения одинакового размера. Как правило, рассматриваемая строительная конструкция разделяет два различных помещения.

В этом случае при условии возникновения в том и другом помещении диффузных звуковых полей из формулы (5.9) следует:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg(S/A_2) \quad (5.10)$$

где L_1 – уровень звукового давления в помещении с источником шума; L_2 – уровень звукового давления в звукоизолируемом помещении; S – площадь разделяющей помещения конструкции; A_2 – эквивалентная площадь звукопоглощения в изолируемом помещении.

Требуемая величина звукоизоляции $R_{\text{тр}}$, дБ, ограждающей конструкции в октавной полосе частот при проникновении шума из одного помещения в другое определяется по формуле:

$$R_{\text{три}} = L_1 - 10 \lg B + 10 \lg S_i - L_{\text{доп}} + 10 \lg n \quad (5.11)$$

где L_1 – октавный уровень звукового давления в помещении источником шума, дБ; B – постоянная помещения, защищаемого от шума, м^2 ; S_i – площадь ограждающей конструкции (или отдельного ее элемента) через которую проникает шум в защищаемое помещение; $L_{\text{доп}}$ – допустимый октавный уровень звукового давления, дБ, в защищаемом помещении; n – общее количество ограждающих конструкций или их элементов, через которые проникает шум.

Характеристики звукоизолирующих конструкций

Изоляция воздушного звука зависит в первую очередь от плотности применяемого в конструкции материала ρ , его модуля упругости E и коэффициента внутренних потерь η . Основными звукоизолирующими материалами являются: алюминиевые сплавы, асбокартон, базальтовый картон, бетон, гетинакс, медные сплавы, органическое стекло, ПВХ, линолеум, пробковые плиты, твердая резина, титановые сплавы, свинец, силикатное стекло, сталь, стеклопластик, фибра и др.

В конструктивном плане различают однослойные и многослойные звукоизолирующие конструкции (рис. 5.1).

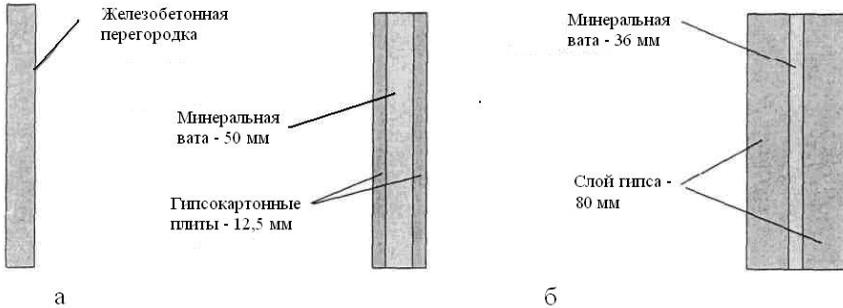


Рис. 5.1. Примеры звукоизолирующих конструкций:
а) однослойная; б) многослойная

При использовании многослойной конструкции можно добиться значительно более высокой звукоизоляции, чем у однослойной стены равной массы. Характеристика звукоизоляции R некоторых звукоизолирующих конструкций приведена в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Звукоизоляция R некоторых строительных конструкций

Конструкция	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Стены и перегородки								
- кирпичная кладка, оштукатуренная с двух сторон, 125 мм	30	36	37	40	46	54	57	59
- то же, 255 мм	34	41	45	48	56	65	69	72
- то же, 360 мм	36	44	43	49	57	66	70	72
- шлакоблок, оштукатуренный с двух сторон, 12 мм	0	27	33	40	50	57	56	59
- стеклоблок, 200 мм	25	30	35	40	49	49	43	45
Панели:								
- древесноволокнистая плита, 25 мм	0	0	2	6	6	8	8	10
- древесноволокнистая плита, 19 мм	14	17	18	25	30	26	32	38
- фанерный лист, 6 мм	6	9	13	16	21	27	29	33
Двери:								
- дверь фанерная с деревянной обрешеткой между слоями фанеры, 43 мм	9	12	13	14	16	18	24	36
- дверь из сплошного твердого дерева, 43 мм	13	17	21	26	29	31	34	32

Описание лабораторного стенда

Схема лабораторного стенда представлена на рис. 5.2, а его внешний вид – на рис. 5.3.

Стенд имеет вид макета производственных помещений, одно из которых имитирует производственный участок, а второе – для измерительных и аналитических работ.

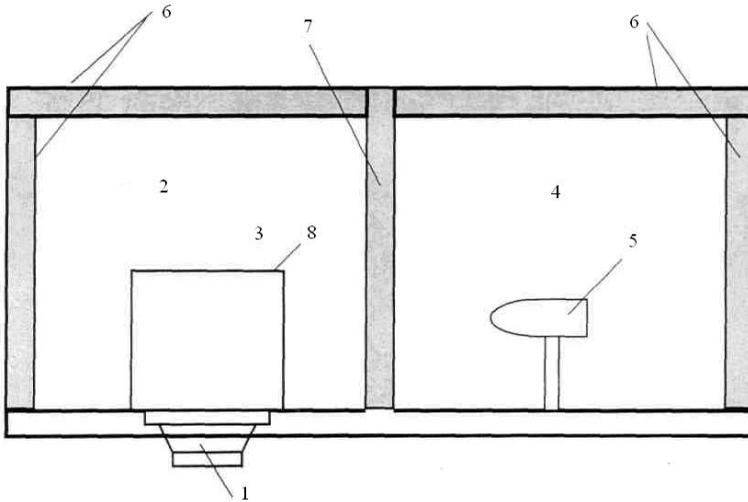


Рис. 5.2 Схема лабораторного стенда

Источник шума (громкоговоритель) 1 находится под «полом» левой камеры 2 и защищен решеткой 3. В левой камере 2 размещены макеты заводского оборудования (на рисунке не показаны). В правой камере 4 размещены макеты конструкторского бюро (на рисунке не показаны) и на подставке устанавливается микрофон 5 из комплекта ВШВ – 003. Обе камеры могут накрываться звукопоглощающим коробом 6, рис. 5.3. Кроме того, обе камеры снабжены осветительными лампами. Тумблеры для включения ламп находятся на передней стенке стенда.

Передняя стенка стенда имеет два смотровых окна. Внутри на передней и задней стенках имеются направляющие, при помощи которых устанавливается съемная звукоизолирующая перегородка 7, обеспечивающая изоляцию правой и левой камер друг от друга. Решетка громкоговорителя во время проведения лабораторной работы может быть закрыта звукоизолирующим кожухом 8. На крышке кожуха 8 закреплена ось, на которую может навинчиваться груз для исключения щелей в местах контакта кожуха с решеткой громкоговорителя.



Рис. 5.3. Внешний вид стенда

Для возбуждения громкоговорителя используется функциональный генератор типа ГФ-I, все измерения проводятся с помощью шумомера типа ВШВ 003. Стенд представляет собой макет 1 производственного помещения (далее – макет), который размещается на ровной поверхности стола. Рядом с ним размещены измеритель шума 2 и генератор 3. Макет содержит четыре стационарные стены, пол и откидную крышку-потолок 4. Корпус макета производственного помещения изготовлен из древесностружечных плит (ДСП). Передняя стенка макета имеет два смотровых окна 5. Макет состоит из двух камер, имитирующих комнаты. В левой камере помещен макет заводского оборудования – козлового крана 6, а также источник шума (динамик), который находится под «полом» и защищен решеткой. В правой камере расположены макеты оборудования конструкторского бюро: стол 7 и стул 8. Также в правой камере на подставке устанавливается микрофон 9 из комплекта измерителя шума. Обе камеры снабжены осветительными лампами 10. Переключатели для включения (выключения) ламп, а также предохранители и гнезда для подключения генератора находятся на панели управления 11, размещенной на передней стенке макета. Конструкция макета позволяет устанавливать между двумя камерами звукоизолирующую перегородку 13 (сменную). Перегородки изготовлены из следующих

материалов: фанера, картон, гофрированный, ДСП ламинированная, оргалит, пластик ПВХ.

Порядок проведения лабораторной работы

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

- Подключить стенд к электросети, с помощью тумблеров включить освещение внутри стенда.

- Снять со стенда все средства звукоизоляции и звукопоглощения (звукопоглощающий кожух, звукоизолирующие перегородки, звукоизолирующий кожух). Установить микрофон из комплекта ВШВ-003 на подставке в правой камере стенда.

- Подключить к стенду генератор сигналов ГФ-I. Установить такую амплитуду синусоидального сигнала, при которой уровень звукового давления на частоте 250 Гц, измеренный шумомером ВШВ - 003, находился бы в пределах от 90 до 100 дБ.

- С помощью шумомера ВШВ-003 измерить уровень звукового давления L_1 на частотах 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Результаты занести в табл. 4.

Порядок работы с шумомером ВШВ-003

1. Эксплуатация измерителя производится специалистом.

2. Порядок работы при измерении уровней звука и звукового давления в диапазоне частот от 2 до 18000 Гц капсулем

2.1. Калибровка измерителя

Калибровку измерителя проводить каждый раз перед началом измерений и периодически, в процессе измерений, по усмотрению оператора.

Эквивалент капсуля соединить с предусилителем ВПМ-101. Предусилитель ВПМ-101 соединить с гнездом «→О» измерителя. Гнездо «50mV» измерителя соединить с кабелем ИМ6.644.009 с эквивалентом капсуля.

Переключатель измерителя "РОД РАБОТЫ" установить в положение «∇», при этом будет светиться индикатор 90 дБ.

Резистором «∇» установить стрелку измерителя на отметку шкалы $\infty+10$ дБ в соответствии с табл. 5.4.

Таблица 5.4

Данные для калибровки измерителя

Значение уровня чувствительности капсуля, дБ	Отметка по шкале измерителя, дБ
св. минус 24 до минус 24,25	2
св. минус 24,25 до минус 24,75	2,5
св. минус 24,75 до минус 25,25	3
св. минус 25,25 до минус 25,75	3,5
св. минус 25,75 до минус 26,25	4
св. минус 26,25 до минус 26,75	4,5
св. минус 26,75 до минус 27,25	5
св. минус 27,25 до минус 27,75	5,5
св. минус 27,75 до минус 28	6

Отсоединить от предусилителя ВПМ-101 эквивалент капсуля и подсоединить капсулю.

2.2. Измерение уровней звукового давления в диапазоне частот от 2 Гц до 18 кГц с частотной характеристикой ЛИН, в октавных и третьоктавных полосах частот от 2 Гц до 16 кГц.

Установить переключатели измерителя положения:

«РОД РАБОТЫ» -F»;

«ДЛТ1», «дВ» - 80;

«ДЛТ2», «дВ» - 50;

«ФЛТ», «Hz» - «ЛИН»;

все кнопки отжаты.

При этом светится индикатор 130 дВ.

При проведении измерений уровня звукового давления предусилитель ВПМ-101 с капсулем следует зафиксировать на вытянутой руке в направлении излучателя звука (шумового объекта), не допуская произвольных перемещений предусилителя и его соединительного кабеля.

При измерениях уровня звука в помещениях необходимо, чтобы предусилитель ВПМ-101 с капсулем находился не ближе 1,5 м от пола и 1 м от источника звука и стен.

Для повышения точности измерений предусилитель ВПМ-101 с капсулем необходимо закрепить с помощью штатива в точке измерения. Применение штатива особенно необходимо при измерениях уровня звукового давления на низких частотах.

Если при измерении стрелка, измерителя находится в начале шкалы децибел, то следует ввести ее в сектор 0-10 шкалы децибел сначала переключателем «ДЛТ1», «дВ», затем «ДЛТ2», «дВ» по необходимости. Если пере-

одически загорается индикатор ПРГ, то следует переключить переключатель «ДЛТ1», «dB», затем «ДЛТ2», «dB» по необходимости на более высокий уровень вправо, пока не погаснет индикатор ПРГ.

При измерениях низкочастотных составляющих могут возникнуть флуктуации (колебания) стрелки измерителя, тогда следует перевести переключатель «РОД РАБОТЫ» из положения «F» в положение «S».

Для определения результата измерения следует сложить показание, соответствующее светящемуся индикатору, и показание по шкале децибел.

Измерение уровней звукового давления в октавных и треть-октавных полосах частот проводится при положении переключателя «ФЛТ», «Hz», «ОКТ», «1/3 ОКТ».

Необходимый октавный или третьоктавный фильтр включается переключателем «ФЛТ», «ОКТ» или «1/3 ОКТ» и множителем «x1»...«x2·10³». Измерение проводить по методике п. 2.2.

2.3. Измерение уровней звука по характеристикам A, B, C следует проводить аналогично п. 2.2, устанавливая переключатель измерителя ФЛТ, Hz в положения «A2», «B», «C».

2.4. При измерении уровней звука (звукового давления) в условиях ветра, скорость которого равна или больше 1 м·с⁻¹, следует использовать экран П 11. Одеть экран на капсюль и измерить уровень звука (звукового давления) по вышеизложенной методике (п.п. 2.2, 2.3).

2.5. При измерении уровня звука (звукового давления) в диффузном поле (малые производственные помещения с большим количеством отражающих поверхностей) кнопку «СВ», «ДИФ» нажать.

- Установить звукоизолирующую перегородку и повторить измерения уровня звукового давления $L_{зи}$ на тех же частотах. Результаты измерений занести в табл. 5.5.

- После выполнения лабораторной работы отключить генератор и шумомер от сети. Выключить освещение помещений, отключить макет от электросети.

- Составить отчет о лабораторной работе, в котором провести сравнение результатов замеров уровней звукового давления (табл. 5.4) с допустимыми значениями $L_{доп}$ по СНиП 23-03-2003 (табл. 5.2) путем построения графика зависимости $L = f(f)$.

- Вычислить эффективность Ξ звукоизолирующей перегородки по формуле:

$$\Xi = \frac{(L_1 - L_{зи})}{L_1} \cdot 100\% \quad (5.12)$$

- Построить график зависимости эффективности звукоизолирующей перегородки от частоты $\Xi = f(f)$.

Таблица 5.5

**Уровни звука и звукового давления до и после
применения перегородки**

Рабочее место	Уровни звукового давления в октавных полосах частот, дБ								Уровень звукового давления, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Уровень звука при отсутствии перегородки									
Допустимое значение $L_{доп}$									
Требуемое снижение шума $\Delta L_{тр}$									
Уровень звука при применении перегородки									
Фактическое снижение шума (при применении перегородки)									

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое содержание производственного шума.
3. Схема лабораторной установки.
4. Таблица, заполненная по указанной форме.
5. Графическое изображение спектра шума и эффективности установки звукоизолирующей перегородки.
6. Анализ результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие параметры характеризуют шум?
2. Классификация шума в зависимости от частоты. Спектр шума.
3. Что такое октава?
4. Чему соответствует чувствительность характеристики «А» шумомера?
5. Классификация шума по временным характеристикам.
6. Характеристика и нормы шума на рабочих местах.
7. Методы измерения шума.
8. Средства и методы коллективной защиты от шума.
9. Средства индивидуальной защиты от шума.
10. Характеристика звукоизолирующих конструкций.

Лабораторная работа № 6

Исследование звукоизолирующего кожуха

Цель лабораторной работы - ознакомить студентов с теорией производственных шумов, физической сущностью и инженерным расчетом звукоизоляции, с приборами для измерения шума, нормативными требованиями к производственным шумам, провести измерения шума объекта, оценить эффективность мероприятий по снижению шума звукоизолирующим кожухом.

Общие сведения

Физические основы снижения шума кожухами

Способы снижения шума работающего оборудования или защита обслуживающего персонала от возникающего шума без каких-либо существенных конструктивных изменений машины относится к числу пассивных строительно-акустических способов борьбы с шумом. Наиболее распространено применение звукоизолирующих кожухов, полностью или частично закрывающих машину.

Этот способ защиты от шума является более действенным, чем другие строительно-акустические способы (применение звукопоглощающих облицовок, экранов, выгородок и т.п.), поскольку он предполагает достижение эффекта снижения шума на любую требуемую величину даже в непосредственной близости от источника шума.

В низкочастотном диапазоне, когда длина волны в воздухе велика, звук легко огибает препятствие, а звукопоглощение может быть реализовано при помощи поглотителей резонансного или мембранного типа, имеющих достаточно большие размеры; кожухи – практически единственные средства снижения шума. Для повышения эффективности применения кожухов их внутренние поверхности должны быть облицованы звукопоглощающими материалами.

Пути проникновения шума через кожухи

Звукоизолирующий кожух машины представляет собой всесторонне замкнутую оболочку, внутри которой размещается источник шума. Идеальным конструктивным решением кожуха считается решение, при котором обеспечивается полная герметичность. В этом случае величина требуемой звукоизоляции стенок $R_{тр}$ может быть определена по эмпирической формуле:

$$R_{\text{тр}} = DL_{1\text{эфтр}} + 10 \lg(S_{\text{к}} / S_{\text{доп}}) \quad (6.1)$$

где $DL_{1\text{эфтр}}$ – требуемая величина снижения уровня звукового давления кожухом в расчетной точке с источником шума, дБ; $S_{\text{к}}$ – площадь поверхности кожуха, м^2 ; $S_{\text{доп}}$ – площадь воображаемой поверхности, вплотную окружающей источник шума.

Реальные конструкции кожухов весьма далеки от идеала, так как в условиях их эксплуатации герметичность замкнутого пространства нарушается из-за необходимости подводки внутрь кожуха трубопроводов, устройства каналов для прохода воздуха и отвода избыточного тепла, смотровых окон и открывающихся дверей. Кроме того, наличие обязательных стыковых соединений, неизбежно сопровождающихся щелевыми отверстиями и неплотностями, также ведет к усложнению конструктивных решений и значительным трудностям при попытках обеспечить выполнение требований формулы (6.1).

Рассмотрим на примере кожуха машины наиболее характерные из путей проникновения шума в защищаемое помещение, рис. 6.1.

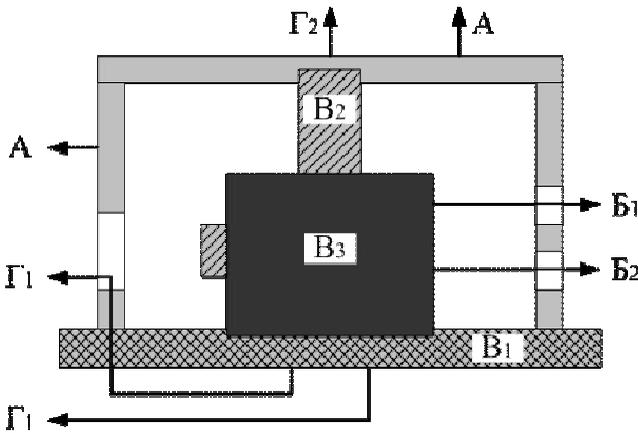


Рис. 6.1. Возможные пути передачи звука через кожух машины

Основным путем передачи звука в защищаемое помещение является путь, обозначенный на рис. 6.1 символом А – передача через ограждающую конструкцию. Величины снижения проникающих уровней определяются потерями на звукоизоляцию и могут достигать в зависимости от спроектированной конструкции ограждения значений:

$$DL_{\text{кож}} = R - 10 \lg(S_{\text{кож}} / A_{\text{кож}}) \quad (6.2)$$

где R – звукоизолирующая способность ограждающей конструкции кожуха, дБ, определяется по формуле (1); $S_{\text{кож}}$ – площадь поверхности кожуха, м²; $A_{\text{кож}} = a_{\text{кож}} S_{\text{п}}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения в пространстве под кожухом; $a_{\text{кож}}$ – средний коэффициент звукопоглощения в пространстве под кожухом; $S_{\text{п}}$ – суммарная площадь поверхностей, находящихся под кожухом, включая поверхность кожуха.

Наличие технологически необходимых отверстий или неплотностей в кожухе или отдельных его деталях приводит к интенсивной передаче воздушного звука по путям, обозначенным на рис. 6.1 символами Б1, Б2, Б3. Еще одним путем передачи звука из-под кожуха машины в помещение является передача структурного звука в местах соприкосновения изолируемой машины с фундаментом или полом помещения (Г1) либо звука, непосредственно излучаемого выступающими деталями машины (Г2), излучение кожухом звука, проникающего в его стенки при жестком опирании на корпус (В3), пол или фундамент машины (В1) или соприкосновении с выступающими деталями машины (В2). Если первый из рассматриваемых путей передачи звука (А) зависит только от конструктивного решения стенок кожуха, то два других требуют выполнения ряда дополнительных операций по устранению возможностей проникновения шума в помещение этими путями, например, установки в местах выхода отверстий специальных глушителей шума или опирание кожуха на ограждающие конструкции через упругие прокладки.

Расчет снижения шума кожухом

Эффективность применения кожуха в каждом конкретном случае зависит от многих факторов и в первую очередь от правильного акустического расчета, который обычно выполняется для всех восьми октавных полос нормируемого диапазона частот от 63 до 8000 Гц и включает следующие этапы:

- определение шумовой характеристики, т.е. уровней звуковой мощности в октавных полосах частот, излучаемых машиной;
- выбор расчетных точек;
- определение допустимых в соответствии с санитарными нормами уровней звукового давления в расчетных точках;
- определение требуемого снижения уровней звукового давления в каждой октавной полосе частот;
- определение требуемой звукоизоляции стенок кожуха и отдельных его элементов (смотровые окна, дверки, люки, вентиляционные отверстия);

– конструктивное решение кожуха с учетом возможного снижения его эффективности из-за неизбежного присутствия открытых проемов.

Рассмотрим более подробно каждый из этапов.

Шумовые характеристики машины

Для проведения акустического расчета кожуха на первом этапе требуется определить шумовые характеристики изолируемой машины: уровень звуковой мощности L_p и уровень звукового давления L в расчетной точке. Уровень звуковой мощности может быть установлен по паспорту на данную машину или по каталогу шумовых характеристик, а уровень звукового давления в расчетной точке с учетом особенностей и акустических характеристик помещения, где установлена машина, вычислен по формулам:

– для соразмерных помещений (отношение наибольшего размера D к наименьшему G не превосходит 5; H – высота помещения)

$$L = L_p + 10 \lg(\Pi + 4/B) \quad (6.3)$$

где Π – вклад прямого звука для дальнего поля (при $r \geq 2l_{\max}$), $\Pi_{\text{дал}} = \Phi/\Omega r^2$; Φ – фактор направленности источника (при грубой оценке уровня шума, создаваемого источником с неизвестным Φ , источник считают ненаправленным $\Phi = 1$); $\Omega = 4\pi$ – полный пространственный угол (в стереadianах), в который излучается звук для ближнего поля (при $r < 2l_{\max}$); $\Pi_{\text{бл}} = \Phi/S$, S – площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы (параллелепипед, полуцилиндр), окружающей источник, повторяющей (упрощенно) его форму и проходящей через точку наблюдения, м^2 ;

– для несоразмерных помещений (плоских $D/H > 5$, $G/H \geq 4$; длинных $D/H > 5$, $G/H < 4$)

$$L = L_p + 10 \lg \left[\Pi + \frac{1-\alpha}{H \cdot G} \cdot \frac{r+G}{r+H} J(\alpha, \rho) \right] \quad (6.4)$$

где α – средний коэффициент звукопоглощения; H и G – высота и ширина помещения, м; $J(\alpha, \rho)$ – функция, описывающая поле отраженного звука в несоразмерных помещениях.

Требуемое снижение уровней звукового давления

Конструктивное решение кожуха изолируемой машины во многом определяется значением величины требуемого снижения уровней звукового давления в расчетных точках. Именно эти значения величин позволяют уста-

навливать основные исходные данные для последующего проектирования кожуха: звукоизоляцию его стенок, размеры, форму, способ установки и вид звукопоглощающей облицовки внутренней поверхности кожуха.

В зависимости от выбранной расчетной точки требуемая величина снижения уровней звукового давления может быть определена двумя различными способами. Если расчетная точка выбрана на рабочем месте около изолируемой машины на расстоянии r_0 от геометрического центра источника шума, то требуемое снижение $\Delta L_{\text{тр кож}}$ может быть вычислено по формулам:

$$\Delta L_{\text{тр кож}} = L_p - 10 \lg S - L_{\text{доп}} + 5 \quad (6.5)$$

$$\Delta L_{\text{тр кож}} = L - L_{\text{доп}} + 5 \quad (6.6)$$

где L_p – октавный уровень звуковой мощности шума, излучаемого машиной до установки на нее кожуха, дБ; $L_{\text{доп}}$ – допустимый по нормам уровень звукового давления в октавных полосах, дБ; L – средний уровень звукового давления в октавных полосах частот, определенный на рабочем месте, дБ; S – площадь (м^2) воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей машину и проходящей через расчетную точку (если расстояние от геометрического центра источника шума r_0 до расчетной точки больше удвоенного максимального размера источника шума, то величина S может быть принята $\approx 2\pi r_0^2$).

При выборе расчетной точки на расстоянии $r > r_0$ значения $\Delta L_{\text{тр кож}}$ могут быть вычислены по известным шумовым характеристикам L_p и L , описываемым формулами (6.3) и (6.4) (с учетом акустических характеристик помещения).

Требуемая звукоизоляция стенок кожуха

Требуемая звукоизоляция сплошного герметичного кожуха, полностью закрывающего машину, вычисляется по формуле (6.1). Чтобы обеспечить требуемую величину звукоизоляции, конструкция стенки кожуха должна быть выбрана вполне определенно с учетом результатов предварительного расчета. Частотную характеристику изоляции воздушного шума плоской тонкой ограждающей конструкции кожуха из металла, стекла и других подобных материалов можно определить по формуле:

$$R_{\text{тр кож}} = R_1 + \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3 + \Delta R_4 \quad (6.7)$$

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

Эксплуатационные требования к звукоизолирующим кожухам

Звукоизолирующие кожухи предназначены для создания благоприятных условий труда, повышения его производительности. Высокая изоляция и успешное применение их на производстве возможны лишь при учете ряда эксплуатационных требований. Кожух не должен затруднять осуществление технологических процессов, снижать качество продукции, затруднять работу оператора, а в отдельных случаях может быть принадлежностью оборудования, выполняя ряд функций и одновременно удешевляя борьбу с шумом.

Выбор конструктивного решения и отдельных узлов кожуха определяется рядом факторов: наличием свободного места сверху или сбоку от машины, необходимостью доступа к отдельным узлам или машине в целом, возможностью снижения шума путем звукоизоляции отдельных узлов, возможностью использования модульных (унифицированных) элементов.

Конструкция кожуха должна обеспечивать возможность визуального наблюдения оператора за работой машины и показаниями контрольных приборов посредством устройства достаточно больших смотровых окон с соответствующей звукоизоляцией. Если до установки кожуха оператор контролировал рабочий процесс и техническое состояние оборудования по слуху, то теперь он может использовать для этой цели технологические или специально сделанные в удобных местах небольшие отверстия. Если указанный путь невозможен, то потребуются либо использование специальной звукоусилительной системы с микрофонами, расположенными вблизи контролируемых узлов и громкоговорителей на рабочем месте, либо применением альтернативных систем контроля с соответствующими датчиками. Для обеспечения тепловлажностного режима может потребоваться система вентиляции.

Оператор должен иметь доступ для регулирования процесса, желательно устройство системы дистанционного управления и контроля или хотя бы дистанционной аварийной установки.

Конструкция кожуха должна быть устойчива к действию выделяющихся при работе машины веществ, газов, пыли, конденсата. Жидкость и пыль могут засорить поверхность звукопоглотителя и намного ухудшить его эффективность. Следует учитывать требования пожарной безопасности, используя *негорючие* (НГ) или *слабогорючие* (Г1) материалы; внутри кожуха могут быть установлены датчики дыма и температуры.

Порядок проведения лабораторной работы

1. Подключить стенд к электросети, с помощью тумблеров включить освещение внутри стенда.

2. Снять со стенда все средства звукоизоляции и звукопоглощения (звукопоглощающий кожух, звукоизолирующие перегородки, звукоизолирующий кожух). Установить микрофон из комплекта ВШВ - 003 на подставке в правой камере стенда.

3. Подключить к стенду генератор сигналов. Установить такую амплитуду синусоидального сигнала, при которой уровень звукового давления на частоте 250 Гц, измеренный шумомером ВШВ - 003, находился бы в пределах от 90 до 100 дБ.

4. С помощью шумомера ВШВ - 003 измерить уровень звукового давления L_1 на частотах 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Результаты измерений занести в табл. 6.1.

5. Накрыть решетку громкоговорителя звукоизолирующим кожухом без груза и повторить измерения уровня звукового давления $L_{\text{кож}}$ на тех же частотах. Результаты занести в табл. 6.1.

6. Навинтить на ось звукоизолирующего кожуха груз и повторить измерения $L_{\text{кож гр}}$ на тех же частотах. Результаты измерений занести в табл. 6.1.

7. После выполнения лабораторной работы отключить генератор и шумомер от сети. Выключить освещение помещений, отключить стенд от электросети.

8. Составить отчет о лабораторной работе, в котором провести сравнение результатов замеров уровней звукового давления (табл. 6.1) с допустимыми значениями $L_{\text{доп}}$ по СНиП 23-03-2003 (табл. 5.2) путем построения графиков зависимости уровня звукового давления от частоты $L = f(f)$.

Таблица 6.1

Результаты измерений

Обозначение	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								Уровень звукового давления, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L_1									
$L_{\text{кож}}$									
$L_{\text{кож гр}}$									

9. Вычислить эффективность \mathcal{E} звукоизолирующего кожуха для двух случаев по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{(L_1 - L_{\text{кож}})}{L_1} \cdot 100 \%$$

10. Построить графики зависимости эффективности звукоизолирующего кожуха от частоты $\mathcal{E} = f(f)$ для двух случаев.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое содержание производственного шума.
3. Схема лабораторной установки.
4. Таблица, заполненная по указанной форме.
5. Графическое изображение спектра шума и эффективности установки звукоизолирующей перегородки.
6. Анализ результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1. Физические основы снижения шума кожухами.
2. Что из себя представляет звукоизолирующий кожух?
3. Этапы выполнения акустического расчета.
4. Какие используют шумовые характеристики изолируемой машины для проведения акустического расчета?
5. Эксплуатационные требования к звукоизолирующим кожухам?

Лабораторная работа № 7

Исследование средств звукопоглощения

Цель лабораторной работы – ознакомить студентов с теорией производственных шумов, физической сущностью и инженерным расчетом звукоизоляции, с приборами для измерения шума, нормативными требованиями к производственным шумам, провести измерения шума объекта, оценить эффективность мероприятий по снижению шума звукопоглощающими облицовками.

Общие сведения

Применение звукопоглощающих облицовок и штучных (объемных) конструкций для снижения шума

Акустическая облицовка помещений производится для уменьшения интенсивности падающих и отраженных звуковых волн в целях снижения уровня шума в помещении. При отражении звуковой волны от преграды часть звуковой энергии теряется: преобразуется в тепло или проходит сквозь преграду. Потери энергии характеризуются коэффициентом звукопоглощения поверхности:

$$\alpha_0 = (I_{\text{пад}} - I_{\text{отр}}) / I_{\text{пад}} \quad (7.1)$$

где $I_{\text{пад}}$, $I_{\text{отр}}$ – интенсивности падающей и отраженной звуковых волн.

Звук в помещении поглощается не только на поверхностях, но и в воздушном объеме вследствие теплопроводности воздуха, его вязкости и молекулярной диссипации. Интенсивность звукового луча в помещении после каждого отражения и последующего свободного пробега убывает за счет поглощения, умножаясь (в среднем) на множитель

$$(1 - \alpha_0) \exp(-mi) \quad (7.2)$$

где m – постоянная затухания звуковой энергии в воздухе, м^{-1} ; i – средняя длина свободного пробега звуковых лучей в помещении ($i = 4V / S_{\text{отр}}$; где V – объем помещения, $S_{\text{отр}}$ – площадь ограждающих поверхностей).

В акустике помещений этот множитель обозначают $(1 - a)$ и используют в акустических расчетах средний коэффициент звукопоглощения в помещении:

$$\alpha = 1 - (1 - \alpha_0) e^{-mi} \quad (7.3)$$

Поглощение в воздухе дает большой вклад в α в полосах частот 4000 и 8000 Гц. В практических расчетах коэффициент α нужно вычислять по пра-

вилу: для октавных полос 63 – 1000 Гц $\alpha = \alpha_0$, где α_0 определяется по таблицам; для октавных полос 2000 - 8000 Гц α_0 вычисляется по формуле (7.1).

Необходимость и целесообразность применения акустической облицовки помещений для снижения шума выявляется акустическим расчетом. Звукопоглощающие конструкции следует применять, когда требуемое снижение уровня звукового давления $\Delta L_{\text{тр}}$, дБ в отраженном поле превышает 3 дБ не менее чем в трех октавных полосах или превышает 5 дБ хотя бы в одной из октавных полос. В расчетных точках, выбранных на рабочих местах, требуемое снижение уровня звукового давления должно превышать, соответственно 1 дБ и 3 дБ.

При этом наиболее целесообразно применять акустическую облицовку помещений там, где до её применения средний коэффициент звукопоглощения α в октавной полосе частот со среднегеометрической частотой 1000 Гц не превышал величины 0,25, а расчетные точки расположены преимущественно в зоне отраженного поля.

Звукопоглощающие облицовки, как правило, размещают на потолке помещения и на верхних частях стен. Для достижения максимально возможного поглощения рекомендуется облицовывать не менее 60 % общей площади ограждающих помещение поверхностей. Размещение акустической облицовки на потолке помещения наиболее рационально при высоте помещения не более 6 – 8 м. В узких и очень высоких помещениях целесообразно размещать акустическую облицовку на стенах, оставляя только нижние части стен (2 м высоты) необлицованными.

Если стены помещения и перекрытие запроектированы светопрозрачными и площадь свободных поверхностей мала, рекомендуется дополнительно применять штучные (объемные) звукопоглотители различных конструкций. Штучные звукопоглотители могут применяться для акустической обработки помещений и в качестве самостоятельных звукопоглотителей.

Эффективность применения акустической облицовки в шумных помещениях зависит от акустических характеристик выбранных конструкций, способов и места их размещения, размеров помещения и места расположения расчетных точек. Расчет следует производить для каждой из восьми октавных полос со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

В производственных помещениях с источниками шума высокой интенсивности звукопоглощающие облицовки и штучные звукопоглотители, как правило, применяются в сочетании с другими известными мероприятиями по ограничению шума (звукоизолирующие кожухи, перегородки, экраны и т.п.), так как максимальная величина снижения шума в зоне отраженного поля (на достаточном удалении от источника шума) при акустической обработке помещений, как правило не превышает 8-10 дБ в области низких

частот и 10-12 дБ в области максимальных значений коэффициентов звукопоглощения.

Расчет акустических характеристик помещения

Акустические характеристики существующих, реконструируемых и проектируемых помещений определяются расчетом и перед началом проектирования позволяют установить целесообразность акустической обработки помещений.

Акустическими характеристиками помещения являются:

- постоянная помещения B , м²;
- эквивалентная площадь звукопоглощения A , м²;
- средний коэффициент звукопоглощения α .

Эквивалентная площадь звукопоглощения A определяется по формуле:

$$A = \frac{B \cdot S}{B + S} = \frac{B}{B / S + 1} \quad (7.4)$$

где S – общая суммарная площадь ограждающих поверхностей помещения, м².

Средний коэффициент звукопоглощения α определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{B}{B + S} \quad (7.5)$$

Если акустическая облицовка проектируется для реконструируемых или уже построенных помещений, то величину B следует определять экспериментально путем измерения времени реверберации T (с), и последующим вычислением по формуле:

$$B = \frac{A}{1 - \alpha} \quad (7.6)$$

где A – эквивалентная площадь звукопоглощения, определяемая соотношением:

$$A = 0,16 \frac{V}{T} \quad (7.7)$$

где V – объем помещения, м³; α – средний коэффициент звукопоглощения, вычисляемый по формуле $\alpha = A / S$; S – общая суммарная площадь ограждающих поверхностей, м².

Характеристики звукопоглощающих конструкций

Среди всего многообразия применяющихся в настоящее время конструкций звукопоглощающих облицовок можно выделить три основные

группы. К первой группе звукопоглощающих элементов, получивших наибольшее распространение и называемых *плоскими*, относятся элементы, выполненные из материалов полной заводской готовности (плиты типа «Акмигран», ПА/С, ПА/О, и др.), а также в виде съемных кассет из перфорированных (металлических, асбоцементных, гипсовых) покрытий со звукопоглощающими слоями из ультратонкого стеклянного и базальтового волокон или минераловатных плит различных модификаций, рис. 7.1. Конструктивные элементы этой группы характеризуются коэффициентами звукопоглощения, как правило, не превышающими 0,8 - 0,9 и с учетом ограниченности занимаемой ими площади в помещении обеспечиваемый такой облицовкой средний коэффициент звукопоглощения в большинстве случаев не превышает 0,5. Коэффициент звукопоглощения плоского элемента является функцией частоты звука, толщины слоя звукопоглощающего материала, угла падения звуковой волны, а для многослойных элементов еще и функцией акустических свойств защитных покрытий (ткань, пленка, перфорированное покрытие).

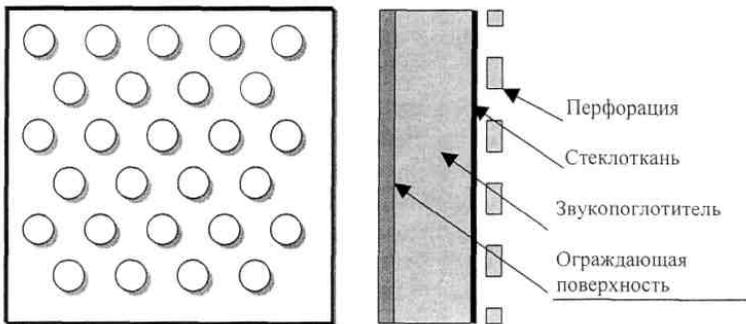


Рис. 7.1. Плоский звукопоглощающий элемент

Для достижения максимального поглощения рекомендуется облицовка не менее 60 % общей площади поверхностей помещения.

Оценку эффективности плоских звукопоглотителей принято проводить по формуле:

$$\alpha_1 = \left[\alpha_0 (S_{\text{огр}} - S_{\text{обл}}) + \Delta A \right] / S_{\text{огр}} \quad (7.8)$$

$$\Delta A = \alpha_{\text{обл}} \cdot S_{\text{обл}} \quad (7.9)$$

где α_0 – средний коэффициент звукопоглощения ограждающих поверхностей; $S_{\text{огр}}$ – общая площадь ограждающих конструкций помещения, м^2 ; $S_{\text{обл}}$ – площадь, занятая звукопоглощающей облицовкой, м^2 ; ΔA – величина звуко-

поглощения звукопоглощающей облицовки, м^2 ; $\alpha_{\text{обл}}$ – реверберационный коэффициент звукопоглощения облицовки.

Вторую группу составляют так называемые *объемные* (штучные) звукопоглощающие элементы, отличающиеся повышенным (по сравнению с плоскими элементами) на 50-70 % коэффициентом звукопоглощения за счет дополнительного поглощения вследствие явлений дифракции звуковых волн и за счет более развитой поверхности звукопоглощения. Известны два типа объемных элементов: однослойные и многослойные. Первый тип представляет собой конструкцию, изготовленную из материалов жесткой, полужесткой, зернистой, ячеистой или волокнистой структуры. Многослойный элемент состоит из легкого каркаса, имеющего форму куба, призмы, пирамиды и т. п., звукопоглощающего заполнителя из рыхлых, сыпучих волокнистых материалов и защитного покрытия из ткани или пленки и перфорированного листа, рис. 7.2.

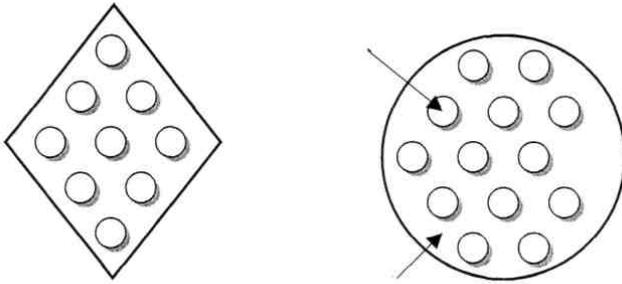


Рис. 7.2. Объемные (штучные) звукопоглотители

Коэффициент звукопоглощения α_{30} считается условным для объемных элементов, так как в отдельных октавных и третьоктавных полосах частот его значения превышают $\alpha_{30} > 1$.

Основной акустической характеристикой объемного элемента является эквивалентная площадь звукопоглощения A_{30} , м^2 , связанная с α_{30} соотношением:

$$A_{30} = \alpha_{30} \cdot S_{30} \quad (7.10)$$

где S_{30} – площадь поверхности объемного элемента.

Третья группа звукопоглощающих элементов, являющаяся по существу одной из форм объемного элемента, два размера которого значительно превосходят третий, выделена в самостоятельную из-за исключительной простоты изготовления и монтажа, экономичности, удовлетворительного внешнего вида и высоких огнестойких качеств и получила название элементов кулисного типа.

Таблица 7.1

Реверберационные коэффициенты звукопоглощения α

Конструкция	Толщина, мм	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Плита ПА/О минераловатная	20	0,02	0,03	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45	0,20
Плита ПА/С минераловатная	20	0,02	0,05	0,21	0,66	0,91	0,95	0,89	0,70
Маты из супертонкого стекловолокна	50	0,10	0,40	0,85	0,98	1,00	0,93	0,97	1,00
Минераловатная плита ПП-80	60	0,10	0,31	0,70	0,95	0,69	0,59	0,50	0,30
Супертонкое стекловолокно, гипсовая плита (с перфорацией)	100	0,90	0,66	1,00	1,00	1,00	0,96	0,70	0,55
Объемный куб, супертонкое стекловолокно	60	0,14	0,40	0,75	1,23	1,14	1,05	0,82	0,67

Объединенные определенным порядком размещения в пространстве помещения отдельные элементы образуют пространственную решетку (кулисного или кессонного вида), которую можно рассматривать как звукопоглощающую систему с распределенными параметрами, рис. 7.3. Условные коэффициенты звукопоглощения системы поглотителей кулисного типа (приведенная к 1 м^2 поверхности ограждения величина звукопоглощения) достигают значений 2 - 2,5, т.е. значительно превосходят по своей эффективности элементы первой группы.

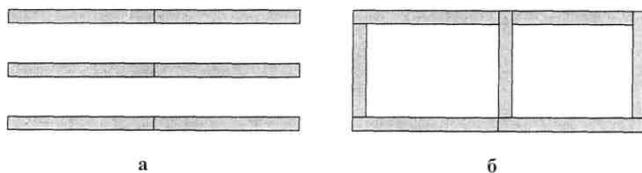


Рис. 7.3. Схемы размещения звукопоглощающих элементов: а) кулисы, б) кессоны

Почти все применяемые звукопоглощающие материалы и изготавливаемые на их основе средства звукопоглощения являются по своей структуре пористыми; их механизм поглощения заключается в превращении энергии звуковой волны в тепловую за счет вязкого трения в капиллярах пор или необратимых потерь при деформации упругого скелета. Исключение составляют специальные колебательные системы, часто выполняемые из непроницаемых гибких материалов, приводимые в движение под действием падающей волны. При таком движении часть энергии теряется за счет внутреннего трения, сопровождающего изгибные колебания.

Порядок проведения лабораторной работы

1. Подключить стенд к электросети, с помощью тумблеров включить освещение внутри макета.

2. Снять со стенда все средства звукоизоляции и звукопоглощения (звукопоглощающий кожух, звукоизолирующие перегородки, звукоизолирующий кожух). Установить микрофон из комплекта ВШВ - 003 на подставке в правой камере макета.

3. Подключить к стенду генератор сигналов. Установить такую амплитуду синусоидального сигнала, при которой уровень звукового давления на частоте 250 Гц, измеренный шумомером, находился бы в пределах от 90 до 100 дБ.

4. С помощью шумомера измерить уровень звукового давления L_1 на частотах 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Результаты занести в табл. 2.

5. Установить звукопоглощающий кожух, моделирующий нанесение звукопоглощающей облицовки на стены и потолок помещений, и повторить измерения уровня звукового давления L_2 на тех же частотах. Результаты измерений занести в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Результаты измерений

Обозначение	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								Уровень звукового давления, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L_1									
L_2									
$L_{доп.}$									

6. После выполнения лабораторной работы отключить генератор и шумомер от сети. Выключить освещение помещений, отключить стенд от электросети.

7. Составить отчет о лабораторной работе, в котором провести сравнение результатов замеров уровней звукового давления (табл. 7.2) с допустимыми значениями $L_{доп.}$ по СНиП 23-03-2003 (табл. 5.2) путем построения графика зависимости уровня звукового давления от частоты $L = f(f)$.

8. Вычислить эффективность \mathcal{E} звукоизолирующего кожуха для двух случаев по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{(L_1 - L_2)}{L_1} \cdot 100 \%$$

9. Построить графики зависимости эффективности звукоизолирующего кожуха от частоты $\alpha = f(f)$ для двух случаев.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание акустических характеристик помещения.
3. Схема лабораторной установки.
4. Таблица, заполненная по указанной форме.
5. Графическое изображение спектра шума и эффективности установки звукоизолирующей перегородки.
6. Анализ результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит эффективность применения акустической облицовки в шумных помещениях?
2. Какие элементы называются объемными (штучными) звукопоглощающими элементами?
3. Что такое звукопоглощающие элементы кулисного типа?
4. Что является основной акустической характеристикой объемного элемента?
5. Какие показатели являются акустическими характеристиками помещения?

Лабораторная работа № 8

Исследование эффективности виброизоляции

Цель работы: исследовать основные характеристики вибрации, познакомиться с принципами нормирования, методами измерения и средствами защиты от вибрации.

Основные понятия

В соответствии с ГОСТ 24346-80 «Вибрация. Термины и определения» под *вибрацией* понимается движение точки или механической системы, при котором происходит поочередное возрастание и убывание во времени значений, по крайней мере, одной координаты.

Область распространения вибрации называется *вибрационной зоной*.

Параметры, характеризующие вибрацию. Вибрация характеризуется скоростью (v , м/с) и ускорением (a , м/с²) колеблющейся твердой поверхности. Обычно эти параметры называют *виброскоростью* и *виброускорением*. Величины виброскорости и виброускорения, с которыми приходится иметь дело человеку, изменяются в очень широком диапазоне. Оперировать с цифрами большого диапазона очень неудобно. Кроме того, органы человека реагируют не на абсолютное изменение интенсивности раздражителя, а на его относительное изменение. В соответствии с *законом Вебера-Фехнера*, ощущения человека, возникающие при различного рода раздражениях, в частности вибрации, пропорциональны логарифму количества энергии раздражителя. Поэтому в практику введены логарифмические величины – *уровни виброскорости и виброускорения*.

Важной характеристикой вибрации является его *частота* (f) – количество колебаний в единицу времени. Частота измеряется в (Гц, 1/с) – количестве колебаний в секунду. Частоты производственных вибраций изменяются в широком диапазоне: от 0,5 до 8000 Гц. Время, в течение которого происходит одно колебание, называется *периодом колебания* T (с): $T = 1/f$. Максимальное расстояние, на которое перемещается любая точка вибрирующего тела, называется *амплитудой* или *амплитудой виброперемещения* A (м). Для гармонических колебаний связь между виброперемещением, виброскоростью и виброускорением выражается формулами:

$$v = 2\pi fA, \quad (8.1)$$

$$a = (2\pi f)^2 A, \quad (8.2)$$

где $\pi = 3,14$.

Вибрация может характеризоваться одной или несколькими частотами (*дискретный спектр*) или широким набором частот (*непрерывный спектр*). Спектр частот разбивается на частотные полосы (октавные диапазоны). В

октавном диапазоне верхняя граничная частота вдвое больше нижней граничной частоты f_2 , т.е. $f_1 / f_2 = 2$. Октавная полоса характеризуется ее *среднегеометрической частотой*.

Среднегеометрические частоты октавных полос частот вибрации стандартизованы

$$f_{cr} = \sqrt{f_1 f_2} \quad (8.3)$$

Из определения октавы по среднегеометрическому значению ее частоты можно определить нижнее и верхнее значения октавной полосы частот.

Классификация вибрации

По способу передачи на человека различают:

- общую вибрацию, передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека;
- локальную вибрацию, передающуюся через руки человека.

Примечание. Вибрация, передающаяся на ноги сидящего человека и на предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями рабочих столов, относится к локальной вибрации.

По источнику возникновения вибраций различают:

- локальную вибрацию, передающуюся человеку от ручного механизированного инструмента (с двигателями), органов ручного управления машинами и оборудованием;
- локальную вибрацию, передающуюся человеку от ручного немеханизированного инструмента (без двигателей), например, рихтовочных молотков разных моделей и обрабатываемых деталей;
- общую вибрацию 1 категории – транспортную вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах самоходных и прицепных машин, транспортных средств при движении по местности, агрофонам и дорогам (в том числе при их строительстве). К источникам транспортной вибрации относят: тракторы сельскохозяйственные и промышленные, самоходные сельскохозяйственные машины (в том числе комбайны); автомобили грузовые (в том числе тягачи, скреперы, грейдеры, катки и т.д.); снегоочистители, самоходный горно-шахтный рельсовый транспорт;
- общую вибрацию 2 категории – транспортно-технологическую вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок, горных выработок. К источникам транспортно-технологической вибрации относят: экскаваторы (в том числе роторные), краны промышленные и строительные, машины для загрузки (завалочные) мартеновских печей в металлургическом производстве; гор-

ные комбайны, шахтные погрузочные машины, самоходные бурильные каретки; путевые машины, бетоноукладчики, напольный производственный транспорт;

- общую вибрацию 3 категории – технологическую вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах стационарных машин или передающуюся на рабочие места, не имеющие источников вибрации. К источникам технологической вибрации относят: станки металло- и деревообрабатывающие, кузнечно-прессовое оборудование, литейные машины, электрические машины, стационарные электрические установки, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование для бурения скважин, буровые станки, машины для животноводства, очистки и сортировки зерна (в том числе сушилки), оборудование промышленности стройматериалов (кроме бетоноукладчиков), установки химической и нефтехимической промышленности и др.

Общую вибрацию категории 3 по месту действия подразделяют на следующие типы:

а) на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий;

б) на рабочих местах на складах, в столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещений, где нет машин, генерирующих вибрацию;

в) на рабочих местах в помещениях заводоуправления, конструкторских бюро, лабораторий, учебных пунктов, вычислительных центров, здравпунктов, конторских помещениях, рабочих комнатах и других помещениях для работников умственного труда;

- общую вибрацию в жилых помещениях и общественных зданиях от внешних источников: городского рельсового транспорта (мелкого залегания и открытые линии метрополитена, трамвай, железнодорожный транспорт) и автотранспорта; промышленных предприятий и передвижных промышленных установок (при эксплуатации гидравлических и механических прессов, строгальных, вырубных и других металлообрабатывающих механизмов, поршневых компрессоров, бетономешалок, дробилок, строительных машин и др.);

- общую вибрацию в жилых помещениях и общественных зданиях от внутренних источников: инженерно-технического оборудования зданий и бытовых приборов (лифты, вентиляционные системы, насосные, пылесосы, холодильники, стиральные машины и т.п.), а также встроенных предприятий торговли (холодильное оборудование), предприятий коммунально-бытового обслуживания, котельных и т.д.

По направлению действия вибрацию подразделяют в соответствии с направлением осей ортогональной системы координат:

- локальную вибрацию подразделяют на действующую вдоль осей ортогональной системы координат X_l , Y_l , Z_l , где ось X_l параллельна оси ме-

ста охвата источника вибрации (рукоятки, ложемент, рулевого колеса, рычага управления, удерживаемого в руках обрабатываемого изделия и т.п.), ось Y_l перпендикулярна ладони, а ось Z_l лежит в плоскости, образованной осью X_l и направлением подачи или приложения силы (или осью предплечья, когда сила не прикладывается);

- общую вибрацию подразделяют на действующую вдоль осей ортогональной системы координат X_o , Y_o , Z_o , где X_o (от спины к груди) и Y_o (от правого плеча к левому) - горизонтальные оси, направленные параллельно опорным поверхностям; Z_o - вертикальная ось, перпендикулярная опорным поверхностям тела в местах его контакта с сиденьем, полом и т.п.

Направления координатных осей приведены на рисунке 8.1.

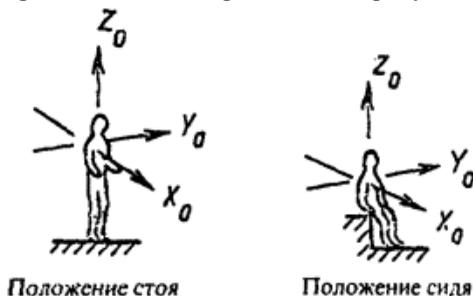


Рис.8.1. Направления координатных осей при общей вибрации

По характеру спектра вибрации выделяют:

- узкополосные вибрации, у которых контролируемые параметры в одной 1/3 октавной полосе частот более чем на 15 дБ превышают значения в соседних 1/3 октавных полосах;

- широкополосные вибрации - с непрерывным спектром шириной более одной октавы.

По частотному составу вибрации выделяют:

- низкочастотные вибрации (с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 1 - 4 Гц для общих вибраций, 8 - 16 Гц - для локальных вибраций);

- среднечастотные вибрации (8 - 16 Гц - для общих вибраций, 31,5 - 63 Гц - для локальных вибраций);

- высокочастотные вибрации (31,5 - 63 Гц - для общих вибраций, 125 - 1000 Гц - для локальных вибраций).

По временным характеристикам вибрации выделяют:

- постоянные вибрации, для которых величина нормируемых параметров изменяется не более чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения;

- непостоянные вибрации, для которых величина нормируемых параметров изменяется не менее чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения не менее 10 мин при измерении с постоянной времени 1 с, в том числе:

а) колеблющиеся во времени вибрации, для которых величина нормируемых параметров непрерывно изменяется во времени;

б) прерывистые вибрации, когда контакт человека с вибрацией прерывается, причем длительность интервалов, в течение которых имеет место контакт, составляет более 1 с;

в) импульсные вибрации, состоящие из одного или нескольких вибрационных воздействий (например, ударов), каждый длительностью менее 1 с.

Воздействие вибрации на организм человека

Вибрация относится к факторам, обладающим высокой биологической активностью. Выраженность ответных реакций обуславливается главным образом силой энергетического воздействия и биомеханическими свойствами человеческого тела как сложной колебательной системы. Мощность колебательного процесса в зоне контакта и время этого контакта являются главными параметрами, определяющими развитие вибрационных патологий, структура которых зависит от частоты и амплитуды колебаний, продолжительности воздействия, места приложения и направления оси вибрационного воздействия, демпфирующих свойств тканей, явлений резонанса и других условий. В табл. 8.1 представлены виды вибрационной патологии.

Вибрационная патология среди профессиональных заболеваний стоит на втором месте (после пылевых). Рассматривая нарушения состояния здоровья при вибрационном воздействии, следует отметить, что частота заболеваний определяется величиной дозы, а особенности клинических проявлений формируются под влиянием спектра вибраций. Выделяют три вида вибрационной патологии от воздействия общей, локальной и толчкообразной вибраций.

При действии на организм общей вибрации страдает, в первую очередь, нервная система и анализаторы: вестибулярный, зрительный, тактильный. Вибрация является специфическим раздражителем для вестибулярного анализатора, причем линейные ускорения – для отолитового аппарата, расположенного в мешочках преддверия, а угловые ускорения – для полукружных каналов внутреннего уха.

У рабочих вибрационных профессий отмечены головокружения, расстройство координации движений, симптомы укачивания, вестибуловегетативная неустойчивость. Нарушение зрительной функции проявляется сужением и выпадением отдельных участков полей зрения, снижением остроты зрения, иногда до 40 %, субъективно – потемнением в глазах. Под влиянием общих вибраций отмечается снижение болевой, тактильной и вибрационной

чувствительности. Особенно опасна толчкообразная вибрация, вызывающая микротравмы различных тканей с последующими реактивными изменениями. Общая низкочастотная вибрация оказывает влияние на обменные процессы, проявляющиеся изменением углеводного, белкового, ферментного, витаминного и холестерина обмена, биохимических показателей крови.

Таблица 8.1

Виды вибрационной патологии

Стадии виброболезни	Форма виброболезни	Симптомы
I-начальная	Церебральная общая	Нарушение сна, эмоциональная неустойчивость, легкие нарушения чувствительности, пониженная температура ног. Болезненность в икрах, утомляемость ног. Незначительные изменения периферических нервных окончаний и сосудов ног
	Периферическая локальная	Периодически резко выраженные боли в руках, легкие расстройства болевой и вибрационной чувствительности пальцев, незначительные изменения мышц плечевого пояса
II-умеренно-выраженная	Церебральная общая	Головокружение, непереносимость тряски, частые головные боли, изменения в вестибулярном аппарате, нарушения в центральной нервной системе (невротические реакции)
	Периферическая локальная	Выраженные сосудистые кризы, приступы спазм и побеление пальцев («мертвые пальцы»), сменяющиеся синюшностью, резкие снижения кожной температуры на кистях (руки холодные и мокрые), пальцы отечные, сильные боли в мышцах рук, функциональные изменения в центральной нервной системе
III-выраженная	Церебральная общая	Выраженные изменения центральной нервной системы, вестибулярные расстройства с приступами головокружения, непереносимость вибрации, постоянные головные боли, невротические реакции, изменения имеют необратимый характер
	Периферическая локальная	Поражение высших отделов центральной нервной системы, сосудистые нарушения верхних и нижних конечностей, кризы, распространяющиеся на область коронарных сосудов, приступы головокружения, полубморочные состояния

К факторам производственной среды, усугубляющим вредное воздействие вибраций на организм, относятся чрезмерные мышечные нагрузки, неблагоприятные микроклиматические условия, особенно пониженная температура, шум высокой интенсивности, психоэмоциональный стресс. Охлаждение и смачивание рук значительно повышают риск развития вибрационной болезни за счет усиления сосудистых реакций. При совместном действии шума и вибрации наблюдается взаимное усиление эффекта в результате его суммации, а возможно, и потенцирования.

Нормирование вибрации

Нормирование вибрации осуществляется по ГОСТ 12.1.012-2004 и СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Гигиеническая оценка постоянной и непостоянной вибрации, воздействующей на человека, производится следующими методами:

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

Допустимые значения устанавливаются отдельно для общей и локальной вибрации. Общая вибрация нормируется в диапазонах октавных полос со среднегеометрическими значениями частот 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. Локальная вибрация нормируется в диапазонах частот с $f_{cr} = 8,16, 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000$ Гц.

Рассмотрим метод (а). При частотном (спектральном) анализе нормируемыми параметрами являются средние квадратические значения виброскорости (v) и виброускорения (a) или их логарифмические уровни (L_v, L_a), измеряемые в 1/1 и 1/3 октавных полосах частот.

Логарифмические уровни виброскорости (L_v) и виброускорения (L_a), в дБ, определяют по формуле:

$$L_{\omega} = 20 \lg \frac{\omega}{\omega_0}, \quad (8.4)$$

где ω – измеряемый кинематический параметр вибрации (виброскорость, виброускорение); ω_0 – опорное значение соответствующего параметра ($v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с, $a_0 = 1 \cdot 10^{-6}$ м/с²). Соотношение между логарифмическими уровнями виброскорости в дБ и ее значениями в м/с, а также логарифмическими уровнями виброускорения в дБ и его значениями в м/с² приведены в приложении 2 СН 2.2.4/2.1.8.566-96.

Допустимые значения уровня виброскорости представлены в. Предельно допустимые величины нормируемых параметров вибрации рабочих мест при длительности вибрационного воздействия 480 мин (8 ч) приведены в таблицах СН 2.2.4/2.1.8.566-96:

вибрации категории 1 - транспортной вибрации - в табл. 4;

вибрации категории 2 - транспортно-технологической вибрации - в табл.

5;

вибрации категории 3 - технологической вибрации типа «а» - в табл. 6;

вибрации категории 3 - технологической вибрации типа «б» - в табл. 7;

вибрации категории 3 - технологической вибрации типа «в» - в табл. 8.

Защита от вибрации

Амплитуда скорости вибрации (виброскорости) v_m может быть определена по формуле

$$v_m = \frac{F_m}{\sqrt{\mu^2 (2\pi f m - c / 2\pi f)^2}}, \quad (8.5)$$

где F_m – амплитуда возмущающей вибросилы, Н; μ – коэффициент сопротивления, Н·с/м; f – частота вибрации, Гц; m – масса системы, кг; c – коэффициент жесткости системы, Н/м.

На основе анализа формулы (8.6) можно сделать следующие выводы: для уменьшения виброскорости v_m необходимо снижать силу f (снижать виброактивность машины) и увеличивать знаменатель, а именно – повышать сопротивление системы μ и не допускать, чтобы. При равенстве этих членов наступает явление резонанса и уровень вибрации резко возрастает.

Таким образом, для защиты от вибрации необходимо применять следующие методы:

- снижение виброактивности машин (уменьшение силы F_m);
- отстройка от резонансных частот ($2\pi f m \neq c / 2\pi f$);
- вибродемпфирование (увеличение μ);
- виброгашение (увеличение m) – для высоких и средних частот;
- повышение жесткости системы (увеличение c) – для низких и средних частот;
- виброизоляция;
- применение индивидуальных средств защиты.

Виброизоляция заключается в уменьшении передачи колебаний от источника возбуждения защищаемому объекту при помощи устройств, помещаемых между ними. Для виброизоляции чаще всего применяют виброизолирующие опоры типа упругих прокладок, пружин или их сочетания. Эффективность виброизоляторов оценивают коэффициентом передачи, равным отношению амплитуды виброперемещения, виброскорости, виброускорения защищаемого объекта или действующей на него силы к соответствующему параметру источника вибрации:

$$\text{КП} = F_{\text{осн}} / F_{\text{ист}}.$$

Виброизоляция только в том случае снижает вибрацию, когда КП < 1. Чем меньше КП, тем эффективнее виброизоляция. Для виброизолированных систем, в которых можно пренебречь трением:

$$\text{КП} = 1 / \sqrt{\left[(f / f_0)^2 - 1 \right]}, \quad (8.6)$$

где f – частота вынужденных колебаний; f_0 – собственная частота виброизолированной системы. Как видно из приведенной формулы, только при

$f/f_0 > \sqrt{2}$, КП < 1, т. е., снижает передачу вибрации на защищаемый объект. По конструктивным и экономическим соображениям существует оптимальное значение $f/f_0 = 3 \dots 4$, что соответствует КП = 1/8...1/15.

Собственная частота виброизолированной системы $f_0 = 1/2\pi\sqrt{c/m}$. Умножив числитель и знаменатель подкоренного выражения на g – ускорение свободного падения, получим $f_0 = 1/2\pi\sqrt{cg/mg}$. Так как mg – сила тяжести машины, а $mg/c = x_{ст}$ – статическая осадка виброизоляторов под действием силы тяжести машины, то

$$f_0 = 1/2\pi\sqrt{g/x_{ст}} \quad (8.7)$$

Т. е. чем больше статическая осадка виброизоляторов под действием веса машины, тем меньше f_0 , а значит меньше КП и лучше виброизоляция.

Эффективность виброизоляции в дБ можно определить по формуле

$$\Delta L = 20 \lg \frac{1}{\text{КП}} = 20 \lg \left[\left(\frac{f}{f_0} \right)^2 - 1 \right]. \quad (8.8)$$

Устройство и принцип работы установки

Установка для измерения уровня вибрации представлена на рис. 8.2.

Вибростенд имеет электромагнитную систему возбуждения вибраций и смонтирован в магнитопроводящем корпусе 1. Постоянный магнит тороидального типа (на рисунке не показан) прикрепляется с помощью клея на основании 2 из магнитопроводящей стали. На противоположном полюсе постоянного магнита с помощью клея закрепляется сердечник 3, который входит в цилиндрическое отверстие магнитопроводящего корпуса. Вибростол 4 установлен на катушке возбуждения 5, которая закрепляется с помощью четырех плоских пружин 6 на магнитопроводящем корпусе. Направление воздействия вибрации осуществляется только в вертикальном направлении.

Объект виброизоляции представляет собой устройство, которое обеспечивает установку пластины с вибродатчиком. Также можно изменять массу объекта виброизоляции за счет установки на нем дополнительных металлических пластин, входящих в его состав.

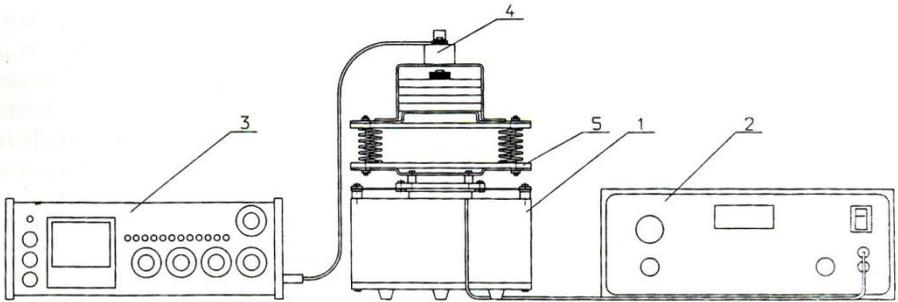


Рис. 8.2. Установка для измерения уровня вибрации:

1 - вибростенд; 2 - генератор сигналов; 3 - измеритель шума и вибрации; 4 - объект вибро-
 изоляции с вибродатчиком; 5 - набор сменных виброзащитных модулей для изучения влияния
 общей и локальной вибрации

Устройство вибростенда представлено на рис.8.3.

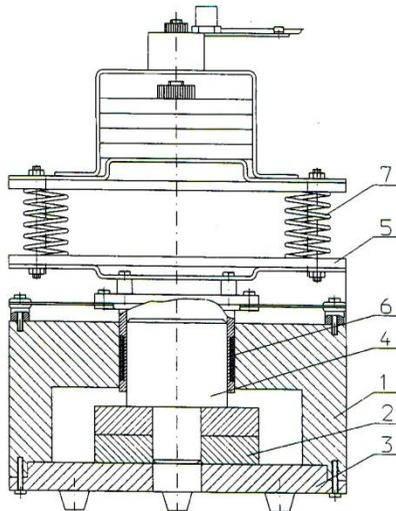


Рис.8.3. Внешний вид вибростенда

Вибростенд имеет электромагнитную систему возбуждения вибраций и смонтирован в магнитопроводящем корпусе 1. Постоянный магнит 2 тороидального типа прикрепляется с помощью клея на основании 3 из магнито-

проводящей стали. На противоположном полюсе постоянного магнита с помощью клея закрепляется сердечник 4, который входит в цилиндрическое отверстие магнитопроводящего корпуса. Вибростол 5 установлен на катушке возбуждения 6, которая закрепляется с помощью четырех плоских пружин 7 на магнитопроводящем корпусе. Токоподводы от катушки возбуждения выведены на клеммы.

Виброзащитный модуль представляет собой устройство, состоящее из двух параллельных пластин, между которыми, установлены виброизоляторы или виброизолирующая прокладка.

В качестве виброизоляторов применяются витые пружины с различным диаметром проволоки, плоские пружины и пластины различной массы.

В качестве виброизолирующей прокладки используется пенополиуретан.

Указания по мерам безопасности при работе с установкой

1. К работе с установкой допускаются лица, ознакомленные с ее устройством, принципом действия и мерами безопасности в соответствии с требованиями, приведенными в настоящем разделе.

2. При смене виброизолирующих модулей на вибростенде выключить генератор низкочастотных сигналов.

3. Перед включением генератора убедиться в надежности крепления сменных элементов на вибростоле вибростенда.

Устройство и принцип работы прибора ВШВ-003-М3

Конструктивно прибор измерительный ИМ2.002.000 выполнен в прямоугольном корпусе. Для удобства переноса прибор помещен в сумку.

На лицевую панель прибора измерительного выведены следующие органы управления, регулирования и индикации:

Переключатель «РОД РАБОТЫ» с положениями:

«О» – для включения измерителя;

«М-» – для контроля состояния батарей;

« \subseteq » – для включения измерителя в режим калибровки;

F, S, 10S – для включения измерителя в режим измерения с постоянной времени «F» (быстро), «S» (медленно), «10S» (10 с);

показывающий прибор – для отсчета измеряемой величины (причем при работе с вибропреобразователем ДН-4-М1 результат измерения необходимо умножить на 10) и контроля напряжения питания;

переключатели «ДЛТ 1», dB; «ДЛТ2», dB и единичные индикаторы (индикаторы) 20,30...130 dB;

$3 \cdot 10^{-3}$, 0,1..... 10^3 m S^{-2} ;

0,03, 0,1 10^{-4} mmS⁻¹ предназначенные для выбора предела измерения уровня звука (звукового давления), виброускорения и виброскорости соответственно;

индикатор «ПРГ» - для индикации перегрузки измерительного тракта; кнопка а, «V» - для включения измерителя в режим измерения виброускорения или виброскорости;

переключатель «ФЛТ2, «Hz» с положениями: 1; 10 - для включения ФВЧ 1; 10 Гц, ограничивающих частотный диапазон при измерении виброускорения, виброскорости;

«ЛИН2 - для включения ФНЧ 20 кГц, ограничивающего частотный диапазон при измерении уровня звукового давления по характеристике ЛИН;

«А», «В», «С» - для включения корректирующих фильтров А, В, С;

«ОКТ», «1/3 ОКТ» - для включения измерителя в режим частотного анализа в октавных или третьоктавных полосах;

переключатель «ФЛТ ОКТ», «1/3 ОКТ» с множителем «x1», «x2·10³» для включения одного из октавных или третьоктавных фильтров со средними геометрическими частотами 1 Гц ... 16 кГц; и 2 Гц ... 16 кГц соответственно;

кнопка «10 кНз», «4 кНз» - для включения ФНЧ 10 кГц или 4 кГц, ограничивающих частотный диапазон при измерении виброускорения, виброскорости;

кнопка «СВ», «ДИФ2 - для измерений в режиме свободного или диффузного поля; гнезда:

«50mV» - выход с калибровочного генератора;

«→О» - для подсоединения предусилителя ВПМ-101.

На правой боковой стенке прибора измерительного размещены:

«О→» – выход переменного напряжения для подключения к прибору измерительному измерительных или регулирующих приборов;

«⊥» – корпус измерителя.

На задней стенке прибора измерительного размещен отсек для батарей.

Источник питания ИМ2.087.000 предназначен для питания ВШВ-003-М3 от сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц.

Порядок проведения работы

1. Эксплуатация измерителя производится специалистом со средним образованием.

2. Порядок работы при измерении уровней звука и звукового давления в диапазоне частот от 2 до 18000 Гц капсулем.

2.1. Калибровка измерителя.

Калибровку измерителя проводить каждый раз перед началом измерений и периодически, в процессе измерений, по усмотрению оператора.

Эквивалент капсуля соединить с предусилителем ВПМ-101. Предусилитель ВПМ-101 соединить с гнездом « \rightarrow ©» измерителя. Гнездо «50mV» измерителя соединить с кабелем ИМ 6.644.009 с эквивалентом капсуля.

Переключатель измерителя «РОД РАБОТЫ» установить в положение « \square », при этом будет светиться индикатор 90 дВ.

Резистором « \square » установить стрелку измерителя на отметку шкалы «4; +10 дВ» в соответствии с табл. 8.2.

Таблица 8.2

Измерительная шкала прибора ВШВ-003-МЗ

Значение уровня чувствительности капсуля, дБ	Отметка по шкале измерителя, дБ
св. минус 24 до минус 24,25	2
св. минус 24,25 до минус 24,75	2,5
св. минус 24,75 до минус 25,25	3
св. минус 25,25 до минус 25,75	3,5
св. минус 25,75 до минус 26,25	4
св. минус 26,25 до минус 26,75	4,5
св. минус 26,75 до минус 27,25	5
св. минус 27,25 до минус 27,75	5,5
св. минус 27,75 до минус 28	6

Отсоединить от предусилителя ВПМ-101 эквивалент капсуля и подсоединить капсуль.

2.2. Измерение уровней звукового давления в диапазоне частот от 2 Гц до 18 кГц с частотной характеристикой ЛИН, в октавных и третьоктавных полосах частот от 2Гц до 16кГц.

Установить переключатели измерителя положения:

«РОД РАБОТЫ» – «F»; «ДЛТ1», «dВ»-80; «ДЛТ2», «dВ» - 50; «ФЛТ», «Hz» - «ЛИН»; все кнопки отжаты.

При этом светится индикатор 130 дВ.

При проведении измерений уровня звукового давления предусилитель ВПМ-101 с капсулем следует зафиксировать на вытянутой руке в направлении излучателя звука (шумового объекта), не допуская произвольных перемещений предусилителя и его соединительного кабеля.

При измерениях уровня звука в помещениях необходимо, чтобы предусилитель ВПМ-101 с капсулем находился не ближе 1,5 м от пола и 1 м от источника звука и стен.

Для повышения точности измерений предусилитель ВПМ-101 с капсулем необходимо закрепить с помощью штатива в точке измерения. Приме-

нение штатива особенно необходимо при измерениях уровня звукового давления на низких частотах.

Если при измерении стрелка измерителя находится в начале шкалы децибел, то следует ввести ее в сектор 0-10 шкалы децибел сначала переключателем «ДЛТ1», «dB», затем «ДЛТ2», «dB» по необходимости. Если периодически загорается индикатор ПРГ, то следует переключить переключатель «ДЛТ1», «dB», затем «ДЛТ2», «dB» по необходимости на более высокий уровень вправо, пока не погаснет индикатор ПРГ.

При измерениях низкочастотных составляющих могут возникнуть флуктуации (колебания) стрелки измерителя, тогда следует перевести переключатель «РОД РАБОТЫ» из положения «F» в положение «S».

Для определения результата измерения следует сложить показание, соответствующее светящемуся индикатору, и показание по шкале децибел.

Измерение уровней звукового давления в октавных и третьоктавных полосах частот проводится при положении переключателя «ФЛТ», «Hz», «ОКТ», «1/3 ОКТ».

Необходимый октавный или третьоктавный фильтр включается переключателем «ФЛТ», «ОКТ» или «1/3 ОКТ» и множителем «x1»...«x2·10³». Измерение проводить по методике п. 7.2.2.

2.3. Измерение уровней звука по характеристикам А, В, С следует проводить аналогично п. 7.2.2, устанавливая переключатель измерителя ФЛТ, Hz в положения «A2», «B», «C».

2.4. При измерении уровней звука (звукового давления) в условиях ветра, скорость которого равна или больше $1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, следует использовать экран П 11. Надеть экран на капсюль и измерить уровень звука (звукового давления) по вышеизложенной методике (п.п. 7.2.2, 7.2.3).

2.5. При измерении уровня звука (звукового давления) в диффузном поле (малые производственные помещения с большим количеством отражающих поверхностей) кнопку «СВ», «ДИФ» нажать.

3. Порядок работы при измерении виброускорения и виброскорости

3.1. Калибровка измерителя.

Калибровку необходимо производить каждый раз перед началом измерений, а также периодически (по усмотрению оператора) в процессе измерений.

Выбрать необходимый вибропреобразователь, в зависимости от измеряемого уровня вибрации и частотного диапазона, по табл. 8.5 и установить его на исследуемом объекте в соответствии с паспортом вибропреобразователя.

Подсоединить эквивалент вибропреобразователя к предусилителю ВПМ-101, который подсоединить к гнезду «-C» измерителя. Гнездо «50mV» измерителя соединить кабелем ИМ 6.644.009 с эквивалентом вибропреобразователя.

Переключатель измерителя "РОД РАБОТЫ" установить в положение «☐».

Резистором «☐» установить стрелку измерителя на отметку шкалы 0-1, указанную в табл. 8.3, учитывающую действительное значение коэффициента преобразования вибропреобразователя, указанное в его паспорте.

Отсоединить кабель ИМ6.644.009 и к эквиваленту вибропреобразователя подсоединить выбранный вибропреобразователь.

7.3.2. Измерение виброускорения. Переключатели измерителя установить в положения:

ДЛТ1, дВ - 80;

ДЛТ2, дВ - 50.

Таблица 8.3

Значения вибропреобразователей

Действительное значение коэффициентов преобразования вибропреобразователей, $\text{мВ} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-1}$		Числовая отметка измерителя при калибровке
ДН-3-М1	ДН-4-М1	
От а до у,4	от 0,9 до 0,94	0,54
св. 9,4 до 9,8	св. 0,94 до 0,98	0,52
св. 9,8 до 10,2	св. 0,98 до 1,02	0,50
св. 10,2 до 10,6	св. 1,02 до 1,06 •	0,48
св. 10,6 до 11	св. 1,06 до 1,1	0,46

В зависимости от частотного диапазона измерения переключатель ФЛТ, Hz установить в положение «1» или «10»; нажать или отжать кнопку 10 kHz, 4 kHz. Переключатель РОД РАБОТЫ установить в положения F или S, или 10S.

Произвести измерения, изменяя при необходимости положения переключателей ДЛТ1, дВ; ДЛТ2, дВ в соответствии с п. 7.2.2.

Произвести отсчет показаний измерителя в $\text{ггVС}^{\text{н}^2}$.

При работе с вибропреобразователем ДН-4-М1 показание необходимо умножить на 10.

7.3.3. Измерение виброускорения в октавных или третьоктавных полосах частот.

Включить необходимый октавный или третьоктавный фильтр множителем «x1»...«x2·10³» переключателем ФЛТ ОКТ или 1/3 ОКТ, переключатель ФЛТ, Hz установить в положение ОКТ или 1/3 ОКТ.

Повторить операции в соответствии с п. 7.3.2, произведя отсчет показаний измерителя в $\text{мм} \cdot \text{С}^{-2}$.

7.4. Измерение виброскорости

7.4.1. Нажать кнопку а, V и повторить операции по п. 7.3.2, отсчитывая показания в $\text{мм} \cdot \text{С}^{-1}$.

7.5. Измерение логарифмических уровней виброускорения или виброскорости в децибелах

7.5.1. Для определения результата измерения логарифмических уровней виброускорения или виброскорости в децибелах следует сложить показание, соответствующее светящемуся индикатору в децибелах, и показание по шкале децибел показывающего прибора.

Затем к результатам измерения прибавить или отнять следующие значения:

1) при измерении логарифмического уровня виброускорения с вибропреобразователем ДН-4-М1 прибавить 10,5 дБ, а с вибропреобразователем ДН-3-М1 отнять 9,5 дБ;

2) при измерении логарифмического уровня виброскорости с вибропреобразователем ДН-4-М1 прибавить 46 дБ, а с вибропреобразователем ДН-3-Ш прибавить 26 дБ.

Примечание. Показания измерителя логарифмических уровней виброускорения и виброскорости в децибелах выражаются относительно исходных значений:

$$a_0 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2 \text{ – для виброускорения;}$$

$$v_0 = 510^{-8} \text{ м/с – для виброскорости.}$$

Подготовка вибростенда к работе и порядок ее проведения

1. Подключить генератор к вибростенду и к сети переменного тока в соответствии с паспортом БЖ4/1м ПС, вибродатчик ДН-4-М1 к измерителю ВШВ-003-М2.

Закрепить на вибростоле вибродатчик ДН-4-М1 .

2. Включить генератор и задать частоту сигнала (по заданию преподавателя), подаваемого на вибростенд, с помощью прибора ВШВ-003-М2 и вибродатчика ДН-4-М1 измерить логарифмические уровни виброскорости в каждой из октавных полос частот, установленных ГОСТ 1777-86 (16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц) (при этом амплитуда сигнала с генератора должна быть максимальной в каждой октавной полосе частот).

Внимание! При измерении логарифмического уровня виброскорости с вибропреобразователем ДН-4-М1 к результатам измерения прибавить 46 дБ.

Результаты измерений занести в табл. 8.4.

Выключить генератор.

3. Для изучения воздействия вибрации закрепить виброзащитный модуль и вибродатчик ДН-4 на вибростоле вибростенда и произвести измерения аналогично п. 2.

Провести аналогичные измерения со вторым видом виброзащитного модуля.

Набор виброзащитных модулей для оценки эффективности различных

видов виброзащиты определяется преподавателем.

4. Оценить эффективность виброзащиты для каждой октавной полосы частот по формуле:

$$\varepsilon = \frac{V - V_3}{V} \cdot 100\%, \quad (8.10)$$

где V – логарифмические значения виброскорости до применения виброзащиты; V_3 – логарифмические значения виброскорости после применения виброзащиты.

5. После выполнения лабораторной работы отключить генератор и прибор ВШВ-003-М2.

Таблица 8.4

Результаты измерений и оценка эффективности виброизоляции

Рабочее место	Логарифмические уровни виброскорости в октавных полосах частот, дБ							
	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Без виброизоляции								
1-й виброизоляционный модуль								
Эффективность виброизоляции (1),%								
2-й виброизоляционный модуль								
Эффективность виброизоляции (2),%								

В выводе к лабораторной работе дать оценку эффективности используемых виброизоляционных модулей и виброизоляции в целом.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение вибрации. Перечислите основные источники вибрации на производстве.
2. Какими параметрами характеризуется вибрация? Что такое уровень вибрации?
3. Как классифицируется вибрация?
4. Как вибрация воздействует на организм человека? Какие симптомы виброболезни Вы знаете?
5. Как осуществляется гигиеническое нормирование вибрации?
6. Назовите основные методы защиты от вибрации.
7. В чем заключается сущность виброизоляции?
8. При каком отношении f/f_0 виброизоляторы уменьшают вибрацию?
9. Как осуществляют контроль вибрации на производстве? Охарактеризуйте прибор для измерения вибраций.

Лабораторная работа № 9

Исследование воздействия электромагнитного излучения

Цель работы: ознакомление с характеристиками электромагнитного излучения, нормативными требованиями к электромагнитному излучению, проведение измерений электромагнитного излучения от источника, методы защиты от ЭМ излучения.

Общие сведения

Электромагнитные поля (ЭМП) генерируются токами, изменяющимися во времени. Спектр электромагнитных (ЭМ) колебаний находится в широких пределах по длине волны λ : от 1000 км до 0,001 мкм и менее, а по частоте f от $3 \cdot 10^2$ до $3 \cdot 10^{20}$ Гц, включая радиоволны, оптические и ионизирующие излучения. В настоящее время наиболее широкое применение в различных отраслях находит ЭМ энергия неионизирующей части спектра. Это касается, прежде всего, ЭМ полей радиочастот. Они подразделяются по длине волны на ряд диапазонов, табл. 9.1.

Таблица 9.1

Характеристика ЭМ полей радиочастот

Название диапазона	Длина волны	Диапазон частот	Частота	Согласно международному регламенту	
				Название диапазона	Номер
Длинные волны (ДВ)	10 - 1 км	Высокие частоты (ВЧ)	$3 \div 300$ кГц	Низкие (НЧ)	5
Средние волны (СВ)	1 км-100 м	То же	$0,3 \div 3$ МГц	Средние (СЧ)	6
Короткие волны (КВ)	100-10 м	То же	$3 \div 30$ МГц	Высокие (ВЧ)	7
Ультракороткие волны (УКВ)	10-1 м	Высокие частоты (УВЧ)	$30 \div 300$ МГц	Очень высокие (ОВЧ)	8
Микроволны: дециметровые (дм); сантиметровые (см); миллиметровые (мм);	1 м - 10 см	Сверхвысокие частоты (СВЧ)	от 0.3 до 3 ГГц	Ультравысокие (УВЧ)	9
	10 – 1 см 1 см -1 мм		от 3 до 30 ГГц от 30 до 300 ГГц	Сверхвысокие (СВЧ) Крайневысокие (КВЧ)	

ЭМ поле складывается из электрического поля, обусловленного напряжением на токоведущих частях электроустановок, и магнитного, возникающего при прохождении тока по этим частям. Волны ЭМП распространяются на большие расстояния.

В промышленности источниками ЭМП – являются электрические установки, работающие на переменном токе частотой от 10 до 10^6 Гц, приборы автоматики, электрические установки с промышленной частотой 50-60 Гц, установки высокочастотного нагрева (сушка древесины, склеивание и нагрев пластмасс и др.). В соответствии с ГОСТ 12.1.006-84 значения предельно-допустимой напряженности ЭМП радиочастот в диапазоне 0,06-300 МГц на рабочих местах приведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

**Значения предельно-допустимой напряженности ЭМП
радиочастот в диапазоне 0,06-300 МГц**

Составляющая ЭМП, по которой оценивается его воздействие и диапазон частот, МГц	Предельно допустимая напряженность ЭМП в течение рабочего дня
Электрическая составляющая: 0,006 – 3 3 – 30 30 – 50 50 – 300	50 В/м 20 В/м 10 В/м 0,5 В/м
Магнитная составляющая: 0,006 – 1,5 30 – 50	5,0 А/м 0,3 А/м

Предельно допустимые уровни (ПДУ) по электрической составляющей, не должны превышать 200 В/м, а по магнитной составляющей – 5 А/м. ЭМП характеризуется совокупностью переменных электрических и магнитных составляющих. Различные диапазоны радиоволн объединяет общая физическая природа, но они существенно различаются по заключенной в них энергии, характеру распространения, поглощения, отражения, а в следствие этого - по действию на среду, в т.ч. и на человека. Чем короче длина волны и больше частота колебаний, тем больше энергии несет в себе квант ЭМ излучения. Связь между энергией Y и частотой f колебаний определяется как:

$$Y = h \cdot f$$

или, поскольку длина волны λ и частота связаны соотношением $f = c/\lambda$:

$$Y = h \cdot c/\lambda$$

где: c – скорость распространения электромагнитных волн в воздухе ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с), h - постоянная Планка, равная $6,6 \cdot 10^{-34}$ Вт/см².

ЭМП вокруг любого источника излучения разделяют на 3 зоны: ближнюю – зону индукции, промежуточную - зону интерференции и дальнюю - волновую зону. Если геометрические размеры источника излучения меньше длины волны излучения / (т.е. источник можно рассматривать как точечный), границы зон определяются следующими расстояниями R :

- ближняя зона (индукции) $R < \lambda/2\pi$;
- промежуточная зона (интерференции) $\lambda/2\pi < R < 2\pi\lambda$;

- дальняя зона (волновая) $R > 2\pi\lambda$.

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

В волновой зоне интенсивность поля оценивается величиной плотности потока энергии (ППЭ), т.е. количеством энергии, падающей на единицу площади поверхности. В этом случае ППЭ выражается в $Вт/м^2$ или производных единицах: $мВт/см^2$, $мкВт/см^2$. ЭМП по мере удаления от источника излучения быстро затухает. ЭМ волны диапазона УВЧ, СВЧ и КВЧ (микроволны), используются в радиолокации, радиоастрономии, радиоспектроскопии, геодезии, дефектоскопии, физиотерапии. Иногда ЭМП УВЧ диапазона применяются, для вулканизации резины, термической обработки пищевых продуктов стерилизации, пастеризации, вторичного разогрева пищевых продуктов. СВЧ-аппараты используются для микроволновой терапии.

Наиболее опасным для человека являются ЭМП высокой и сверхвысокой частот. Критерии оценки степени воздействия на человека ЭМП может служить количество электромагнитной энергии, поглощаемой им при пребывании в электрическом поле. Величина поглощаемой человеком энергии зависит от квадрата силы тока, протекающего через его тело, времени пребывания в электрическом поле и проводимости тканей человека.

По законам физики изменения в веществе может вызвать только та часть энергии излучения, которая поглощается этим веществом, а отраженная или проходящая через него энергия действия не оказывает. Электромагнитные волны лишь частично поглощаются тканями биологического объекта, поэтому биологический эффект зависит от физических параметров ЭМП радиочастотного диапазона: длины волны (частоты колебаний), интенсивности и режима излучения (непрерывный, прерывистый, импульсно-модулированный), продолжительности характера облучения организма, а также от площади облучаемой поверхности и анатомического строения органа или ткани.

Степень поглощения энергии тканями зависит от их способности к ее отражению на границе раздела, определяемой содержанием воды в тканях и другими их особенностями. Колебания дополнительных молекул воды и ионов, содержащихся в тканях, приводят к преобразованию электромагнитной энергии внешнего поля в тепловую, что сопровождается повышением температуры тела или локальным избирательным нагревом тканей, органов, клеток, особенно с плохой терморегуляцией (хрусталик глаза, стекловидное тело, семенники и др.). Тепловой эффект зависит от интенсивности облучения.

Постоянные изменения в крови наблюдаются при ППЭ выше $1 мВт/см^2$. Это фазовые изменения лейкоцитов, эритроцитов и гемоглобина. Пораже-

ние глаз в виде помутнения хрусталика (катаракты) – последствия воздействия ЭМП в условиях производства. При воздействии миллиметровых волн изменения наступают немедленно, но быстро проходят. В то же время при частотах около 35 ГГц возникают устойчивые изменения, являющиеся результатом повреждения эпителия роговицы.

Клинические исследования людей, подвергшихся производственному воздействию СВЧ-облучения при его интенсивности ниже 10 мВт/см^2 , показали отсутствие каких-либо проявлений катаракты.

Воздействие ЭМП с уровнями, превышающими допустимые, приводит к изменениям функционального состояния сердечно-сосудистой и центральной нервной систем, нарушению обменных процессов. При воздействии значительных интенсивностей СВЧ поля может возникать более или менее выраженное помутнение хрусталика глаза (катаракты). Нередко отмечают изменения и в составе крови.

Воздействие ЭМИ на организм человека

Степень биологического воздействия электромагнитных полей на организм человека зависит от частоты колебаний, напряженности и интенсивности поля, режима его генерации (импульсное, непрерывное), длительности воздействия. Биологическое воздействие полей разных диапазонов неодинаково. Чем короче длина волны, тем большей энергией она обладает. Высокочастотные излучения могут ионизировать атомы или молекулы в соматических клетках и т.о. нарушать идущие в них процессы. Электромагнитные колебания длинноволнового спектра способны нагревать органику, приводить молекулы в тепловое движение. Причем тепло это внутреннее – находящиеся на коже чувствительные датчики его не регистрируют. Чем меньше тело, тем лучше оно воспринимает коротковолновое излучение, чем больше – тем лучше воспринимает длинноволновое.

Энергетическая (физическая) причина нарушения здоровья людей в зонах с повышенной интенсивностью электромагнитных излучений – устойчивое изменение характеристик собственных энергетических полей организма (биополей) под воздействием крупных сгустков энергетических образований различных излучений. Под воздействием таких энергетических сгустков органы человека (как и других живых организмов) изменяют свои природные параметры функционирования. После выхода из опасной зоны защитные механизмы здорового организма в состоянии частично или полностью устранить образовавшиеся изменения биополя или молекулярной структуры организма.

При длительном или постоянном пребывании в местах проявления повышенных паразитных излучений такие изменения неизбежно накапливаются, приобретая стабильный болезненный характер. Так, при длительном

пребывании людей в зонах с повышенной интенсивностью различных излучений возникают недомогания со следующими симптомами:

- быстрая утомляемость,
- состояние апатии,
- общая слабость,
- головные боли,
- нарушение функционирования ослабленных органов, переходящее в постоянное болезненное состояние,
- ослабление внимания, памяти,
- нарушение логики мышления и речи,
- нервные и психические расстройства.

В критических случаях наблюдаются:

- заболевания крови,
- онкологические заболевания,
- болезни Паркинсона и Альцгеймера,
- синдром внезапной смерти внешне здорового ребёнка,
- особое место занимает опасность воздействия электромагнитных полей для развивающегося организма в утробе матери (эмбриона) и детей, а также людей, подверженных аллергическим заболеваниям, поскольку они обладают исключительно большой чувствительностью к ЭМП.

Воздействие мощных электромагнитных полей на человека приводит к определенным сдвигам в нервно-психической и физиологической деятельности. При $E \sim 10^{-4}$ В/м наблюдается сосудистый условный рефлекс у человека; при $E \sim 3 \times 10^{-2}$ В/м – изменение слюноотделения у собаки; при ППЭ = 20 мкВт/см² – изменение энцефалограммы кролика а при ППЭ = 0,3 мкВт/см² – изменение эпителиальных и промежуточных клеток животных.

С усложнением биологического вещества неизменно усложняется процесс его взаимодействия с электромагнитным полем.

Кроме простейших физико-химических механизмов все большее и большее влияние на организм в целом оказывают эффекты, которые принято связывать с так называемыми физиологическими и биофизическими механизмами действия, включающими как неразрывное целое информационный аспект полей ЭМИ. Эти и другие механизмы определяют вторичные эффекты воздействия поля, которые происходят на дотепловых энергиях. Это кумуляция, стимуляция, сенсбилизация, возникающие как следствие развитой способности сложных систем накапливать тепловое и информационное воздействие.

Кумуляция приводит к тому, что при воздействии прерывистого облучения суммарный эффект накапливается и зависит от величины эффекта с самого начала воздействия; при перерывах в воздействии увеличивается общее время облучения, необходимое для появления данного эффекта.

Сенсибилизация заключается в повышении чувствительности организма после слабого радиооблучения к последующим воздействиям (в опытах на ЭМИ – к значительно более мощным облучениям, вблизи летального порога).

Нервная система. При исследовании влияния ЭМИ на нервную систему особое внимание уделяется изучению центральной нервной системы, регулирующей активные и пассивные взаимосвязи организма с внешним миром, и вегетативной нервной системы, которая обеспечивает целостность и согласованность всех функций внутри самого организма.

Реакция головного мозга на действие ЭМИ, выражается в структурных изменениях, а также в изменении биоэлектрической системы мозга.

Кровь и лимфа. Кровь и связанная с ней лимфа, являясь внутренней средой организма, выполняют ряд исключительно важных физиологических функций. В крови, являющейся электролитом, под влиянием электромагнитных излучений возникают ионные токи, вызывающие нагрев тканей.

При определенной интенсивности излучения, называемой тепловым порогом (при интенсивности ЭМИ более 10 мВт/см^2) организм может не справиться с образующимся теплом.

При изучении действия ЭМИ в крови определяют число эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов, эозинофилов, содержание гемоглобина и т.д. Определение содержания в крови ионов Na, K, Ca, Cl, общее содержание белка, сахара, холестерина позволяет судить о нарушении минерального, белкового, углеводного и жирового обменов.

Белковый обмен. В начальных стадиях развития различных профессиональных заболеваний, под действием ЭМИ наблюдаются сдвиги, как в содержании белков, так и в соотношении их фракций.

При влиянии ЭМИ происходит нарушение активности отдельных ферментных систем, участвующих в расщеплении углеводов, наблюдается изменение в содержании хлоридов, натрия, калия, кальция, фосфатов.

Среди всего спектра наибольшей биологической значимостью и выраженностью симптоматики выделяются ЭМИ РЧ и СВЧ. В зависимости от интенсивности и продолжительности воздействия ЭМИ РЧ и СВЧ вызываемые изменения в организме подразделяют на изменения острого (термогенного) и хронического (атермального) воздействия. Острое воздействие обусловлено термическим эффектом ЭМИ, как правило, при нарушении техники безопасности.

Термогенное воздействие носит локальный характер, а возникающая симптоматика определяется топографией облучаемой области.

При облучении пострадавшие ощущают тепло в месте воздействия, схожее с действием солнечных лучей, отмечается также общее недомогание, головная боль, головокружение, тошнота, рвота, чувство страха, жажда, легкая слабость, боли в конечностях, повышенную потливость. У пострада-

давших наблюдаются повышение температуры тела, приступы тахикардии, нарушение сердечной деятельности, артериальная гипертензия.

Хроническое влияние ЭМИ регистрируется при воздействии ЭМИ интенсивностью, превышающей предельно допустимый уровень, но не приводящей к тепловым эффектам. У персонала, связанного с работой источников ЭМИ РЧ и СВЧ, выявляется разнообразная неврологическая симптоматика как субъективного, так и объективного характера (табл. 9.3).

Таблица 9.3

**Возможные изменения в организме человека под влиянием
ЭМИ различных интенсивностей**

Интенсивность ЭМИ, мВт/см ²	Наблюдаемые изменения
600	Болевые ощущения в период облучения
200	Угнетение окислительно-восстановительных процессов в ткани
100	Повышенное артериальное давление с последующим его снижением; в случае воздействия - устойчивая гипотензия. Двухсторонняя катаракта
40	Ощущение тепла. Расширение сосудов. При облучении 0,5-1 ч повышение давления на 20-30 мм рт. ст.
20	Стимуляция окислительно-восстановительных процессов в ткани
10	Астенизация после 15 мин. облучения, изменение биоэлектрической активности головного мозга
8	Неопределенные сдвиги со стороны крови с общим временем облучения 150 ч, изменение свертываемости крови
6	Электрокардиографические изменения, изменения в рецепторном аппарате
4-5	Изменение артериального давления при многократных облучениях, непродолжительная лейкопения, эритропения
3-4	Ваготоническая реакция с симптомами брадикардии, замедление электропроводимости сердца
2-3	Выраженный характер снижения артериального давления, тенденция к учащению пульса, незначительные колебания объема сердца
1	Снижение артериального давления, тенденция к учащению пульса, незначительные колебания объема крови сердца. Снижение офтальмотонуса при ежедневном воздействии в течение 3,5 месяцев
0,4	Слуховой эффект при воздействии импульсных ЭМП
0,3	Некоторые изменения со стороны нервной системы при хроническом воздействии в течение 5-10 лет

При использовании ряда психологических тестов у персонала, имеющего длительный контакт с ЭМИ, наблюдают достоверное усиление патологической компоненты тревожного поведения и депрессивного состояния при

отсутствии каких-либо объективных симптомов. При анкетировании наблюдается преобладание жалоб на снижение памяти, а также на ухудшение самочувствия, увеличение инерционности зрения к концу рабочего дня. Наиболее характерными в динамике изменений реакции организма на хроническое воздействие ЭМИ являются: реакции центральной нервной и сердечно – сосудистой систем, а также системы крови.

Особенности воздействия ЭМИ радиочастотного диапазона (от средств сотовой связи)

Системы сотовой радиосвязи в настоящее время получили широкое распространение. По темпам развития они значительно опережают другие виды телекоммуникаций. Важной отличительной особенностью этих беспроводных систем является возможность весьма эффективного использования выделяемого для их работы радиочастотного спектра. Благодаря этому можно обеспечить связью значительное число абонентов, что имеет важное значение для крупных городов и районов с высокой плотностью населения.

В работе этих систем используется следующий принцип: территория города (района) делится на небольшие зоны радиусом 0,5 – 20 км, в центре каждой зоны располагается базовая станция, обслуживающая в данной зоне мобильные станции.

Системы сотовой радиосвязи работают в интервале радиочастот от 400 до 1200 МГц. Максимальная мощность передатчиков базовых станций, как правило, не превышает 100 Вт, коэффициент усиления антенны 10 – 16 дБ. Мощность передатчиков автомобильных станций 8 – 20 Вт, сотовых телефонов 0,8 – 5 Вт.

Воздействию электромагнитных излучений (ЭМИ), создаваемых системами сотовой связи, могут подвергаться лица профессиональных групп, работа которых связана с источниками ЭМИ (персонал базовых станций, связисты, диспетчеры, работники ГАИ, пожарной охраны, такси и др.), население, проживающее в непосредственной близости от базовых станций, а так же непосредственно пользователи сотовых телефонов (табл.9.4).

Режим облучения различных контингентов лиц имеет некоторые особенности: лица, профессионально связанные с источниками ЭМИ, подвергаются воздействию в течение рабочего дня, население, проживающее в непосредственной близости от базовых станций – до 24 часов в сутки, пользователи радиотелефонов только во время телефонных разговоров. При этом облучение ЭМИ непрерывного режима генерации носит характер нерегулярно повторяющихся сравнительно кратковременных сеансов, разделенных более или менее продолжительными паузами.

В соответствии с рабочим диапазоном частот (400 – 1 00 МГц) нормируемыми параметрами излучений систем сотовой связи являются поверхност-

ная плотность потока энергии (ППЭ) и энергетическая нагрузка (ЭН) на организм. ППЭ измеряется, в единицах поверхностной плотности мощности ($\text{Вт}/\text{м}^2$, $\text{мВт}/\text{см}^2$, $\text{мкВт}/\text{см}^2$). ЭН выражается произведением ППЭ на время воздействия Т ($\text{ЭН} = \text{ППЭ} \cdot \text{Т}$, $\text{Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, $\text{мВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$, $\text{мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$), табл. 9.4.

Таблица 9.4

Временно допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений от систем сотовой связи по категориям облучения

Категория облучения	Величина ВДУ ЭМИ	Нормативный документ
1. Профессиональное воздействие	$\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}} = 200/\text{T}$, где $\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}}$ – предельно допустимое значение ППЭ в $\text{мкВт}/\text{см}^2$ для воздействия определенной продолжительности Т в часах; 200 $\text{мкВт}\cdot\text{ч}/\text{см}^2$ – ПДУ энергетической нагрузки за рабочую смену; Максимальное допустимое значение $\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}} = 1000 \text{ мкВт}/\text{см}^2$	ГОСТ 12.1.006-84
2. Непрофессиональное воздействие		Временные нормы и правила защиты населения от воздействия ЭМП, создаваемых радиотехническими объектами (№ 2963-84)
2.1. Облучение населения, проживающего на прилегающей селитебной территории, от антенн базовых станций	$\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}} = 10 \text{ мкВт}/\text{см}^2$	
2.2. Облучение пользователей сотовых телефонов	$\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}} = 100 \text{ мкВт}/\text{см}^2$	

В отличие от других бытовых приборов сотовый телефон в момент работы располагается почти вплотную к мозгу и глазу. Поэтому негативное влияние на организм человека излучений сотового телефона несравненно больше чем влияние, скажем, компьютера или телевизора.

Излучение, которое генерирует мобильная трубка, поглощается тканями головы – клетками мозга, сетчаткой глаза и всеми зрительными и слуховыми структурами. Чем больше времени абоненты по обе стороны сотовой связи ведут деловую или светскую беседу, тем сильнее нагреваются у них ткани от воздействия электромагнитных волн. Кумулятивный эффект, свойственный этому излучению, со временем весьма неблагоприятно скажется на функционировании всех органов и систем человека. Мозг человека можно сравнить с гигантским органическим компьютером, внутри которого постоянно происходят сложнейшие биоэлектрические процессы. Воздействие на них высокочастотного внешнего электромагнитного поля не может пройти без последствий. Облучение имеет место в течение всего времени общения, поскольку одна частота генерируется вашим мобильником, а другая – мобильным устройством вашего собеседника. Причём самый сильный сиг-

нал, а соответственно и наибольшая мощность излучения мобильного телефона, идёт при подаче и приёме вызова. Особое внимание следует уделять безопасности детей при их общении с сотовым аппаратом. Иммунная система детей находится в стадии становления и вред, наносимый СВЧ-излучениями, может вызвать у ребёнка головные боли, потерю памяти, расстройство в режиме сна и бодрствования, повышенную нервозность. Для характеристики воздействия радиоизлучения, оказываемого мобильным телефоном на человека, введено специальное понятие – SAR (Specific Absorption Rate). Эта величина численно равна поглощённому человеческим организмом излучению, приходящемуся на 1 килограмм его веса. Единицей её измерения служит Вт/кг. В странах Евросоюза принята норма 2 Вт/кг. В момент установки соединения SAR будет выше, так как в это время мобильное устройство работает с большей мощностью. На мобильных аппаратах последних поколений производители обязательно предупреждают пользователей о возможном негативном влиянии их продукции и указывают величину SAR. Для визуальной индексации СВЧ-излучения можно приобрести специальную наклейку-индикатор.

Рекомендуемые меры защиты от излучений источников сотовой связи:

- следует приобретать аппараты с низким уровнем SAR;
- необходимо следить за уровнем сигнала, если он достаточно низкий, то мобильник вынужден повышать мощность излучения, – в таком случае разумнее сократить время разговора;
- находясь в зоне с плохим покрытием, не закрывать антенну рукой;
- отключать телефон везде, где связь заведомо отсутствует;
- по возможности звонить, стоя у окна;
- использовать проводную и беспроводную стереогарнитуру, которая позволит увеличить расстояние от источника излучения до головы человека;
- при использовании мобильного интернета излучение усиливается, поэтому следует располагать аппарат на стол;
- носить телефон желательно в чехле, на возможно максимально удаленном расстоянии от тела человека);
- рекомендуется заменять активное общение отправкой SMS;
- следить за индикатором уровня приёма.
- при использовании мобильного устройства необходимо располагать трубку вертикально, держа её за нижнюю часть;
- при использовании телефона, учитывать, что количество излучаемой СВЧ-энергии уменьшается в следующем порядке: вызов абонента, интернет, приём СМС, разговор, различные запросы, режим ожидания.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить методику и получить у преподавателя допуск к работе.
2. Выполнить измерения величины плотности потока энергии (ППЭ) от различных источника излучения (сотовых телефонов, различных компаний производителей) с использованием лабораторного стенда, рис. 9.1.

Стенд представляет собой стол, выполненный в виде сварного каркаса со столешницей 1, на которой размещаются используемые для изучения источники излучения (сотовые телефоны) и мультиметр УХ-360ТRes, который предназначен для измерения постоянного и переменного напряжения, постоянного тока и контроля емкости батарей.

Стойка 6 изготовлена из диэлектрического материала (органического стекла), чтобы исключить искажение распределения излучения. Сигнал от источника (сотового телефона) поступает на мультиметр 7, размещенный на свободной части столешницы 1.

При проведении измерений прибор должен находиться в горизонтальном положении. При этом стрелка прибора должна находиться в исходном положении, напротив «0» шкалы. Если есть какие-либо отклонения, то их можно устранить поворотом корректировочного винта, находящегося на лицевой панели индикатора.

Для выбора предела измерения используется поворотный переключатель. Выбор предела измерения осуществляется путем совмещения ручки с белой полосой с цифровым пределом на корпусе прибора. Установить ручкой выбора предела измерения необходимый диапазон постоянного тока (DCmA).

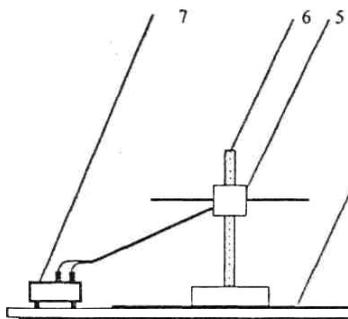


Рис. 9.1. Лабораторный стенд для измерения излучения

Пример измерения.

500 мА предел: измерять по шкале 0-50, умножив на 10;

25 мА предел: измерять по шкале 0-50, умножив на 0,5;

2,5 мА предел: измерять по шкале 0-250, умножив на 0,01;

0,25 мА предел: измерять по шкале 0-250, умножив на 0,001.

Подключить черный тестовый щуп к гнезду «СОМ», а красный к гнезду «+». Подключить черный тестовый щуп в разрыв измеряемой цепи с отрицательным потенциалом, а красный щуп в разрыв цепи с положительным потенциалом. Прочитать показания по шкале и произвести вычисления в соответствии с примером измерения. Перевести значения из единиц измерения мА в мкВт/см².

Так как соотношение между показателями мультиметра и измерителя плотности потока: $1 \text{ мкА} = 0,35 \text{ мкВт/см}^2$, для получения фактических значений интенсивности излучения необходимо перевести показания мультиметра (мкА) в мкВт/см².

3. Результаты измерений фактических уровней ППЭ от различных источников занести в таблицу.

№ п/п	Источник излучения (модель сотового телефона, компания производитель)	Фактический уровень ППЭ, мкВт/см ²	Нормативное значение уровня ППЭ, мкВт/см ²

4. Сформулировать выводы и рекомендации по обеспечению безопасной эксплуатации прибора сотовой связи.

Контрольные вопросы

1. Назовите промышленные источники электромагнитных полей?
2. Назовите категории облучения населения?
3. Влияние ЭМП на организм человека?
4. Какие факторы влияют на степень поглощения энергии тканями?
5. Защитные мероприятия от действия ЭМП от сотовых телефонов?
6. Как классифицируются по длине волны ЭМП радиочастот?
7. Спектр электромагнитных колебаний?
8. Как оценивается интенсивность ЭМП?

Лабораторная работа № 10

Анализ поражения током в трехфазных электрических сетях с напряжением до 1 кВ

Цель работы – исследовать опасность прикосновения человека к фазному проводу электрической сети напряжением до 1 кВ в ее нормальном и аварийном состояниях в зависимости от режима нейтрали источника питания сети, активного сопротивления изоляции и емкости проводов относительно земли, а также сопротивления в цепи тела человека.

Основные сведения

Причины производственного электротравматизма

Электротравма – травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги.

Электротравмы составляют около 30 % общего числа всех травм на энергодобывающих производствах; среди всех отраслей промышленности на них приходится 2,5 % всех травм.

Анализ смертельных несчастных случаев на производстве показывает, что на долю поражений электрическим током приходится до 40 %, а в энергетике – до 60 %. Большая часть смертельных случаев, обусловленных поражением электрическим током (80 %), приходится на электроустановки напряжением до 1000 В.

Причины электротравматизма подразделяются на 4 вида.

- технические;
- организационно-технические;
- организационные;
- организационно-социальные, рис.10.1.

Классификация электрических сетей

Электроустановки, и в том числе электрические сети, по условиям электробезопасности разделяют на два класса: до 1 кВ и выше 1 кВ.

Подача электроэнергии к потребителям осуществляется, как правило, по линиям высокого напряжения (более 1 кВ), которое затем понижается с помощью трехфазных трансформаторов до напряжения менее 1 кВ. От вторичных обмоток трансформаторов питаются местные электросети промышленного и бытового назначения.

Вторичные обмотки трехфазных трансформаторов, соединенные в звезду, образуют общую точку – нейтраль. Если нейтраль присоединена к за-

землителю непосредственно или через малое сопротивление (рис. 10.2), то ее называют глухозаземленной. Проводник, присоединенный к глухозаземленной нейтрали, называют нулевым (обозначается буквой N_0 если он рабочий, и PEN , если рабочий и защитный одновременно). Наряду с этим нейтраль может быть изолированной от земли (рис. 10.3), т. е. не присоединенной к заземлителю или присоединенной через большое сопротивление. Таким образом, трехфазная сеть до 1 кВ в зависимости от режима нейтрали источника тока, а также от наличия нулевого проводника может быть четырехпроводной с глухозаземленной нейтралью (рис. 10.2) или трехпроводной с изолированной нейтралью, рис. 10.3.



Рис. 10.1. Причины электротравматизма

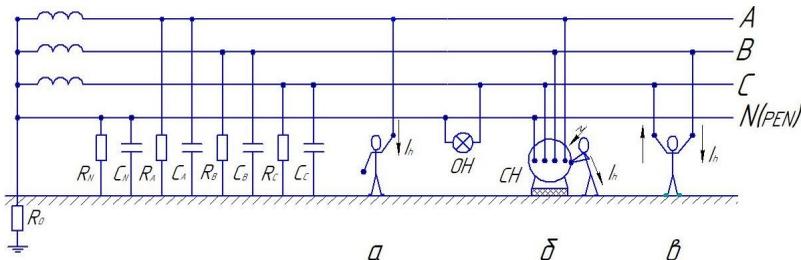


Рис. 10.2 Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью: *а* и *б* – однофазное прикосновение; *в* – двухфазное прикосновение; ОН – осветительная нагрузка; СН – силовая нагрузка

На обмотках трансформатора, а также между каждым фазным проводником A , B , C и землей (или нулевым проводником N) действует фазное напряжение U_ϕ , а между фазными проводниками – линейное U_L . В четырехпроводной сети приняты следующие номинальные значения: U_L/U_ϕ : 220/127, 380/220, 660/380 В, а в трехпроводной $-U_L$: 36, 42, 127, 220, 380, 660 В.

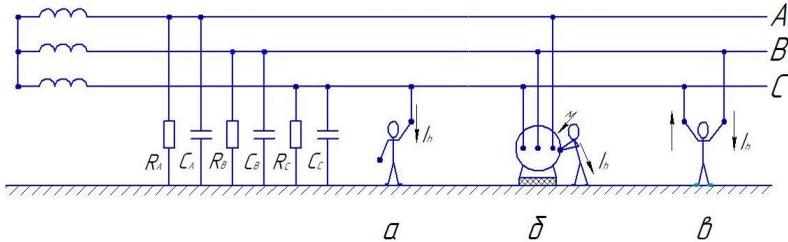


Рис. 10.3 Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью:
 a , b – однофазное прикосновение; v – двухфазное прикосновение

Распределенные по длине проводников A , B , C , N активное сопротивление изоляции и емкость каждого из них относительно земли на схемах сетей условно представлены сосредоточенными элементами R и C с соответствующими индексами. Индуктивной составляющей сопротивления изоляции обычно пренебрегают по причине ее незначительности.

В случае прикосновения человека к фазному проводу сети или к корпусу оборудования, например при пробое изоляции (варианты a и b на рис. 10.2 и 10.3), через тело человека на землю проходит ток, который затем через землю, сопротивления изоляции проводников и заземление нейтрали (при ее наличии) возвращается к источнику питания (обмоткам трансформатора). Такое прикосновение называется однофазным. Реже на практике реализуется двухфазное включение человека в цепь тока (вариант v).

Тяжесть поражения зависит от значения тока, пути протекания его через тело человека, длительности воздействия, индивидуальных особенностей человека и некоторых других факторов.

Допустимые значения тока I_h проходящего через тело человека по пути «рука – рука» или «рука – ноги», и напряжения прикосновения (напряжения, приложенного непосредственно к телу человека) и в зависимости от продолжительности воздействия τ указаны в ГОСТ 12.1.038-82. Некоторые значения этих величин применительно к производственным электроустановкам напряжением до 1 кВ приведены ниже.

τ , с	0,01-0,08	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	Более 1,0
$U_{пр}$, В	650	500	250	165	100	70	50	36
I_h , МА	650	500	250	165	100	70	50	6

Указанные значения I_h , $U_{пр}$ и τ позволяют оценивать опасность поражения и разрабатывать средства защиты (зануление, защитное заземление, защитное отключение и др.).

Анализ опасности электрических сетей сводится к определению тока, проходящего через тело человека:

$$I_h = U_{1,2} / R_h, \quad (10.1)$$

где $U_{1,2}$ – напряжение между точками 1 и 2, с которыми соприкасается человек непосредственно или через некоторые промежуточные элементы; R_h – сопротивление в цепи тела человека.

При двухфазном прикосновении:

$$U_{1,2} = U_{л} \quad \text{и} \quad I_h = U_{л} / R_h. \quad (10.2)$$

В этом случае ток определяется линейным напряжением и сопротивлением R_h и практически не зависит от режима нейтрали сети. Достаточное увеличение R_h (например, при использовании диэлектрических перчаток) позволяет избежать поражения. В противном случае $R_h = R_{чл} = 1000 \text{ Ом}$ и при $U_{л} = 380 \text{ В}$ I_h достигнет значения 380 мА, что при $\tau > 0,1 \text{ с}$ весьма опасно.

При однофазном прикосновении, если человек обут и стоит на каком-либо основании:

$$R_h = R_{чл} + R_{об} + R_{ос}, \quad (10.3)$$

где $R_{чл}$, $R_{об}$ и $R_{ос}$ – сопротивления тела человека, обуви и основания соответственно.

Ток I_h , зависит от сопротивления R_h и параметров электрической сети. Ниже получены зависимости для вычисления I_h в трехфазных сетях напряжением до 1 кВ с различным режимом нейтрали.

Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью

Рассмотрим вначале схему замещения и расчетную схему трехфазной сети, представленные на рис. 10.4.

Здесь для удобства вывода расчетных зависимостей используются проводимости:

$$Y_A = 1/R_A + j\omega C_A; Y_B = 1/R_B + j\omega C_B; Y_C = 1/R_C + j\omega C_C; \quad (10.4)$$

$$Y_N = 1/R_N + j\omega C_N; Y_0 = 1/R_0; Y_h 1/R_h = (R_{чл} + R_{об} + R_{ос})^{-1}, \quad (10.5)$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота переменного тока; R_0 – сопротивление заземления нейтрали.

Такая схема замещения позволяет рассмотреть сеть с глухозаземленной нейтралью, если принять $Y_0 = 1/R_0$ (см. рис. 2), или трехпроводную сеть с изолированной нейтралью, если положить $Y_N = Y_0 = 0$ (рис. 10.3).

Принимая фазные напряжения источника симметричными, получаем:

$$U_A = U_\phi; \quad U_B = a^2 U_\phi; \quad U_C = a U_\phi \quad (10.6)$$

где U_ϕ – амплитуда фазных напряжений; $a = e^{120^\circ} = -0,5 + \sqrt{3}/2$ – векторный оператор, позволяющий учесть сдвиг по фазе на 120° фазных напряжений, причем $|a| = 1$.

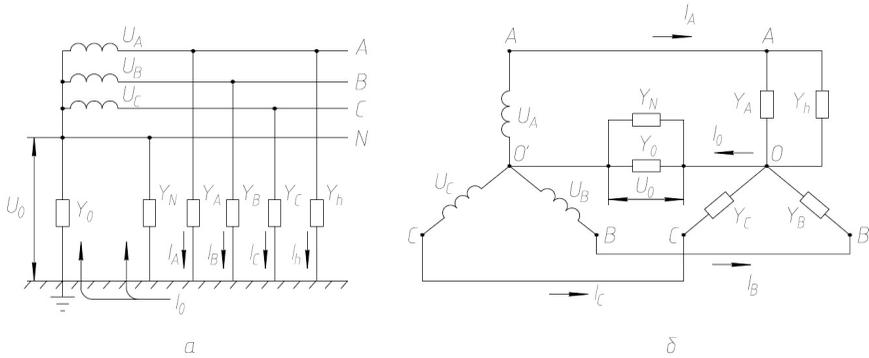


Рис. 10.4 Схемы трехфазной четырехпроводной сети: *a* – схема замещения; *b* – расчетная схема

Применяя законы Кирхгофа, получаем общее выражение для расчета тока, протекающего через тело человека, стоящего на земле и прикасающегося к фазе *A* трехфазной сети:

$$I_h = U_\phi Y_h \frac{Y_B (1 - a^2) + Y_C (1 - a) + Y_N + Y_0}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N + Y_0 + Y_h} \quad (10.7)$$

В рассматриваемой четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью (рис. 10.2) сопротивление $R_0 \leq 8$ Ом, т. е. много меньше сопротивлений изоляции проводников *A*, *B*, *C*, *N* относительно земли, или иначе

$$Y_0 |Y_A|, |Y_B|, |Y_C|, |Y_N|. \quad (10.8)$$

Пренебрегая в выражении (10.7) малыми по сравнению с Y_0 величинами, получаем

$$I_h \approx U_\phi Y_h Y_0 / (Y_0 + Y_h), \quad (10.9)$$

или с учетом соотношения (10.4)

$$I_h \cong U_\phi / (R_0 + R_h), \quad (10.10)$$

Так как $R_0 \ll R_h$, то

$$I_h \cong U_\phi / R_h, \quad (10.11)$$

или, учитывая соотношение (10.3),

$$I_h \cong U_\phi / (R_{\text{чл}} + R_{\text{об}} + R_{\text{ос}}). \quad (10.12)$$

Следовательно, в сети с глухозаземленной нейтралью в случае прикосновения человека к фазе I_h не зависит от сопротивления изоляции и емкости проводников A, B, C, N относительно земли. При этом решающее значение имеют сопротивление обуви и основания, на котором стоит человек. Применение электрозачитных средств (диэлектрических галош, изолирующих подставок, диэлектрических ковров), а также наличие диэлектрического пола в помещении позволяет обеспечить требуемый уровень безопасности.

При неблагоприятных обстоятельствах (например, при сырой обуви и токопроводящих полах) можно принять $R_{\text{об}} = R_{\text{ос}} = 0$. Тогда

$$I_h \cong U_\phi / R_{\text{чл}}. \quad (10.13)$$

Это представляет серьезную опасность для жизни человека.

Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью

В таких сетях можно принять $Y_N = Y_0 = 0$. Кроме того, при нормальном режиме работы сети обычно $R_A = R_B = R_C = R$, $C_A = C_B = C_C = C$ и, следовательно, $Y_A = Y_B = Y_C = Y$. С учетом этого

$$I_h = U_\phi Y_h \frac{(1 - a^2 + 1 - a)Y}{3Y + Y_h} = U_\phi \frac{3YY_h}{3Y + Y_h}. \quad (10.14)$$

Переходя от проводимостей к сопротивлениям и учитывая, что $Z = 1/Y = (1/R + j\omega C)^{-1}$ - комплексное сопротивление проводника относительно земли, получаем

$$I_h \cong U_\phi / (R_h + Z/3), \quad (10.15)$$

а амплитуда тока

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h \sqrt{1 + \frac{R(R + 6R_h)}{9R_h^2(1 + R^2\omega^2C^2)}}}. \quad (10.16)$$

Рассмотрим два частных случая:

1. При $C_A = C_B = C_C \cong 0$, что имеет место в коротких воздушных сетях. С помощью формулы (10.15) находим

$$I_h \cong U_\phi / (R_h + R/3), \quad (10.17)$$

или с учетом выражения (10.3)

$$I_h \cong U_\phi / (R_{\text{чл}} + R_{\text{об}} + R_{\text{ос}}). \quad (10.18)$$

Следовательно, ток, проходящий через тело человека, зависит от фазного напряжения, сопротивления изоляции проводников относительно земли и сопротивления в цепи тела человека. В условиях сырости можно принять $R_{об} = R_{ос} = 0$, и тогда решающее значение приобретает сопротивление изоляции. Если оно удовлетворяет требованиям Правил устройства электроустановок, т. е. $R \geq 500$ кОм, то I_h не может достичь опасных значений.

2. При $R_A = R_B = R_C \cong \infty$ (это допустимо принять для кабельных сетей) из выражения (10.16), разделив числитель и знаменатель дроби под корнем на R^2 , получим

$$I_h = \frac{U_\phi \omega C}{R_h \sqrt{1 + 9R_h^2 \omega^2 C^2}}. \quad (10.19)$$

На практике емкости фаз сравнительно невелики, поэтому второй член выражения под корнем не может быть много больше единицы. Отсюда следует, что с увеличением емкости фаз относительно земли I_h растет и может достичь опасных значений.

Аварийный режим работы сетей

Рассмотрим ситуацию, когда одна из фаз сети (фаза C) замкнулась на землю через относительно малое активное сопротивление $R_{3м}$, например, при обрыве и падении провода на землю. В схемах сети (рис. 10.3) это обстоятельство отразится включением параллельно Y_C проводимости $Y_{3м} = 1/R_{3м}$ ($Y_{3м}$ на рисунке не показана). Следовательно, между фазой C и землей проводимость составит $Y_C + Y_{3м}$. С учетом этого выражение (10.7) примет вид

$$I_h \cong U_\phi Y_h \frac{Y_B(1-a^2) + (Y_C + Y_{3м})(1-a) + Y_N + Y_0}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_{3м} + Y_N + Y_0 + Y_h}. \quad (10.20)$$

Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью. В этой сети обычно выполняется условие (10.8), поэтому выражение (10.20) можно упростить:

$$I_h \cong U_\phi Y_h \frac{Y_{3м}(1-a^2) + Y_0}{Y_{3м} + Y_0 + Y_h}. \quad (10.21)$$

Учитывая соотношения (10.4), а также то, что $R_0 \ll R_h$ получаем

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h} \frac{R_{3м} + \sqrt{3}R_0}{R_{3м} + R_0}. \quad (10.22)$$

Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью. Для данной сети $Y_N = Y_0 = 0$. Кроме того, обычно $|Y_A|, |Y_B|, |Y_C| \ll Y_{3м}$. Тогда выражение (10.20) примет вид

$$I_h \cong U_\phi Y_h \frac{Y_{3M}(1-a)}{Y_{3M} + Y_h}. \quad (10.23)$$

или, с учетом выражения для a и соотношений (10.4),

$$I_h = \sqrt{3} U_\phi / (R_h + R_{3M}) = U_\phi' / (R_h + R_{3M}). \quad (10.24)$$

В аварийном режиме часто реализуется ситуация, при которой R_{3M} существенно больше R_0 и одновременно $R_{3M} \ll R_h$. При этом условия сравнительный анализ формул (10.22) и (10.24) показывает, что человек оказывается под напряжением $U_{пр}$, близким к линейному в сети с изолированной нейтралью, что более опасно, нежели в сети с глухозаземленной нейтралью, где $U_{пр}$ приближается к фазному напряжению. Для обоих видов сетей характерно уменьшение опасности поражения током при увеличении R_h .

Содержание работы

Провести сравнительный анализ трехфазных сетей напряжением до 1кВ: трехпроводной с изолированной нейтралью и четырехпроводной с заземленной нейтралью с точки зрения опасности поражения электрическим током в случае прямого прикосновения человека к фазному проводу при нормальном и аварийном режимах работы сетей.

При нормальном режиме работы каждого вида сети исследовать зависимость тока, проходящего через тело человека

– от активного сопротивления изоляции проводов при постоянном значении их емкости относительно земли

$$(R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{PEN} = R_E = \text{Var}; C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = C_{PEN} = C_E = \text{const}),$$

– от емкости проводов относительно земли при постоянном значении их сопротивления изоляции ($C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = C_{PEN} = C_E = \text{Var}$;

$$(R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{PEN} = R_E = \text{const});$$

– от сопротивления R_h в цепи тела человека при постоянных значениях активного сопротивления изоляции R_E и емкости проводов относительно земли C_E .

При аварийном режиме работы каждого вида сети (в случае замыкания фазного провода на землю через сопротивление растеканию тока R_{3M}) исследовать зависимость тока, проходящего через тело человека,

– от сопротивления R_{3M} при постоянных значениях параметров R_E , C_E , и R_h ;

– от сопротивления R_h при постоянных значениях параметров R_E , C_E , и R_{3M} .

Описание лабораторного стенда

Стенд представляет собой настольную конструкцию с вертикальной передней панелью. На лицевой панели стенда изображена мнемосхема системы «трехфазная электрическая сеть – человек», которая содержит изображение источника питания (трехфазная сеть), фазных и защитного проводников, электропотребителя, УЗО и цепи, имитирующие прикосновение человека к фазным проводам.

Индикация наличия фазных напряжений осуществляется тремя светодиодными индикаторами – желтым (фаза А), зеленым (фаза В) и красным (фаза С).

Реально существующие распределенные сопротивления изоляции и емкости проводов (фазных и нулевого) относительно земли изображены на мнемосхеме в виде сосредоточенных элементов – резисторов и конденсаторов, расположенных слева вне зоны защиты УЗО. Трехфазный электропотребитель показан на мнемосхеме в виде корпуса, подключенного к сети через УЗО, реагирующего на дифференциальный ток.

В изображении человека помещен светодиодный индикатор, сигнализирующий о превышении предельно допустимого длительного тока через человека.

На поле мнемосхемы, рядом с изображениями элементов моделируемой сети, размещены коммутационные элементы и регуляторы с соответствующим и буквенно-цифровыми обозначениями, выполняющими следующие функции:

- изменение значений сопротивления изоляции проводов вне зоны защиты («RAE», «RBE», «RCE», «RPEN»): «1; 2,5; 10; 25; 100 кОм и емкости проводов («CAE», «CBE», «CCE», «CPEN»): «0; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,5 мкФ»,

- имитацию прикосновения человека к токоведущим проводам сети или к проводу сети на стороне трехфазного потребителя, подключенного к сети через УЗО, путем соединения гибким проводом со штеккером клеммы «Хпр» с одной из клемм «XA» «XB», «XC» или «XAK»,

- имитацию замыкания одного из фазных проводов на землю («СКЗ»), при этом положение «0» соответствует нормальному режиму работы сети,

- изменение значений сопротивления тела человека («RH»): «1–100 кОм»,

- изменение значений сопротивления замыкания фазного провода на землю («RЗМ»): «10; 100; 1000 Ом»,

- управление УЗО (кнопки «ПУСК», «СТОП», по которым производится включение-выключение УЗО, и «КОНТРОЛЬ», по которой одновременно с нажатием кнопки «ИЗМЕРЕНИЕ» производится оперативный контроль УЗО),

- подключение корпуса электропотребителя к нулевому проводу («S_{защ}»),

- имитация замыкания фазного провода электропотребителя на корпус ("Skз к", одновременно с нажатием кнопки «ИЗМЕРЕНИЕ»), переключение режима нейтрали («глухозаземленная изолированная») с одновременным подключением (отключением) PEN-провода («SN»).

Сопротивление заземления нейтрали («Ro») установлено постоянное и составляет 4 Ом.

Уровни напряжений на доступных прикосновению частях стенда не более 3В и не представляют опасности поражения электрическим током.

Индикация токов (Амперметр) и напряжений (Вольтметр) в моделируемой трехфазной сети, а также времени срабатывания УЗО (Секундомер) осуществляется цифровыми индикаторами в нижней части стенда.

Индицируемые параметры зависят от положения переключателей «A1 – A2 – RH» (ток в цепи тела человека «A1», установка УЗО «A2», либо сопротивление тела человека «RH») и «UA – UB – UC» (напряжения фазных проводов относительно земли).

По принципу работы стенд является цифровым микропроцессорным устройством, вычисляющим по соответствующим формулам параметры сети в зависимости от комбинаций коммутационных элементов на передней панели стенда.

Результаты вычислений выводятся на цифровые индикаторы. Индикаторы отображают «измеренные» (вычисленные) значения параметров по нажатию кнопки «ИЗМЕРЕНИЕ», расположенной справа в нижней части передней панели; показания сбрасываются нажатием кнопки «СБРОС», расположенной там же.

При работе с УЗО кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ» нажимают, удерживая кнопки «КОНТРОЛЬ» либо «Skз к».

Включение-выключение стенда производится тумблером «ВКЛ-ВЫКЛ», расположенным слева в нижней части передней панели стенда.

При включении стенда загораются светодиодные индикаторы наличия фазных напряжений на мнемосхеме передней панели.

Порядок выполнения работы

Требования безопасности при выполнении лабораторных работ № 10, 11, 12, 13

Питание стенда осуществляется от сети трехфазного тока напряжением 380 В, опасным для жизни человека.

При случайном появлении напряжения на корпусе лабораторного стенда электробезопасность обеспечивается занулением установки.

Подача напряжения осуществляется включением тумблера «Сеть», при этом должны загореться лампочки сигнализации наличия напряжения.

После окончания работы выключить стенд тумблером «Вкл-Выкл».

При обнаружении неполадок отключить стенд от сети и сообщить лаборанту.

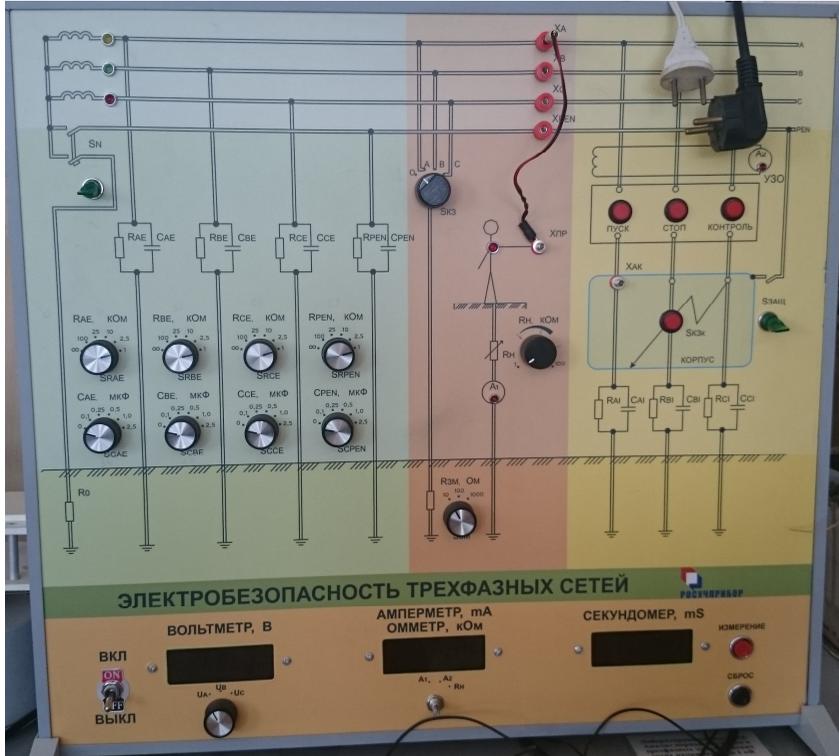


Рис. 10.5. Электробезопасность трехфазных сетей

Нормальный режим работы сети

Задание №1. Исследовать зависимость тока, проходящего через тело человека при прямом прикосновении к фазному проводу, от активного сопротивления изоляции проводов сети с изолированной, а затем с заземленной нейтралью при постоянном значении емкости проводов относительно земли, соблюдая условие: $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{PEN}$ и $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = C_{PEN}$.

1.1. Включить стенд, переведя тумблер «ВКЛ-ВЫКЛ» в верхнее положение; при этом должны загореться светодиодные индикаторы наличия фазных напряжений на мнемосхеме передней панели.

1.2. Привести стенд в исходное состояние: нажать кнопку «СБРОС»; при этом сбрасываются значения предыдущего состояния стенда.

1.3. Моделировать трехфазную трехпроводную сеть с изолированной нейтралью, установив переключатель «SN» в нижнее положение.

1.4. Моделировать нормальный режим работы сети, установив переключатель «SK3» в положение «O».

1.5. Имитировать прикосновение человека к фазному проводу, например к фазе А, для чего гибкий провод, снабженный наконечниками, подсоединить к клеммам «Хпр» и «ХА».

1.6. Установить переключатель «-RN» в положение «RN», при этом на цифровом табло омметра появляется значение сопротивления тела человека, соответствующее положению рукоятки потенциометра «RN». Установить медленным вращением рукоятки потенциометра «RN» заданное преподавателем сопротивление цепи тела человека (обычно 1 кОм, - этому значению соответствует крайнее левое положение рукоятки потенциометра), наблюдая значение RN на цифровом табло омметра.

1.7. Установить переключателями «SCAE», «SCBE», «SCCE» заданные преподавателем значения емкостей проводов относительно земли (например, моделируя короткую воздушную сеть, можно задать $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = C_E = 0$).

1.8. Установить переключатель «A1-A2-RN» в положение «A1», при этом на передней панели стенда загорается с вето диод в мнемоническом изображении амперметра в цепи тела человека.

1.9. Установить переключатели «SRAE», «SRBE», «SRCE» в крайние левые положения, соответствующие значению «∞».

1.10. Нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ», снять показание амперметра, нажать кнопку «СБРОС».

1.11. Устанавливая переключателями «SRAE», «SRBE», «SRCE» последовательно значения $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{PEN}$: 1,0; 2,5; 10; 25; 100 кОм, измерять ток в цепи тела человека. Считывая показания индикатора амперметра, занести их в отчет о лабораторной работе.

ПРИМЕЧАНИЕ: Для каждого нового измерения нажимать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ», предварительно сбрасывая предыдущее кнопкой «СБРОС».

1.12. Моделировать трёхфазную четырёхпроводную сеть с заземленной нейтралью: перевести переключатель «SN» в верхнее положение.

1.13. Установить значение емкости PEN-провода относительно земли $C_{PEN} = C_E$ (см.п. 1.7) с помощью переключателя «SCPEN».

1.14. Выполнить указания п.п. 1.4 -1.11, устанавливая последовательно значения $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{PEN} = R_E$: ∞ ; 1,0; 2,5; 10; 25; 100кОм, измеряя ток в цепи тела человека, считывая показания индикатора амперметра и занося их в отчет о лабораторной работе.

1.15. Сделать вывод о характере влияния режима нейтрали, а также активного сопротивления изоляции проводов сети относительно земли на опасность поражения током при прямом прикосновении человека к фазному проводу в условиях нормальной работы сети.

Задание №2. Исследовать зависимость тока, проходящего через тело человека при прямом прикосновении к фазному проводу, от емкости проводов относительно земли в сети с изолированной, а затем с заземленной нейтралью при постоянном значении активного сопротивления изоляции проводов, соблюдая условие: $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{PEN}$ и $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = C_{PEN}$.

2.1. Выполнить указания п.п.1.2-1.6 задания № 1.

2.2. Установить переключателями «SRAE», «SRBE», «SRCE» заданные преподавателем значения активного сопротивления проводов относительно земли (например, моделируя кабельную сеть, можно задать $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_E = \infty$)

2.3. Устанавливая переключателями «SCAE», «SCBE», «SCCE» последовательно значения $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = C_E$: 0; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,5 мкФ_у измерять ток в цепи человека, считывая показания индикатора амперметра и занося их в отчет о лабораторной работе. При работе не забывать требования ПРИМЕЧАНИЯ к п. 1.11.

2.4. Моделировать трехфазную четырехпроводную сеть с заземленной нейтралью: перевести переключатель «SN» в верхнее положение.

2.5. Дополнительно к указаниям п.2.2 установить переключателем «SRPEN» значение $R_{PEN} = R_E$.

2.6. Выполнить повторно указания п.2.3, дополнительно устанавливая переключателем «SCRPN» значения $C_{PEN} = C_E$.

2.7. Сделать вывод о характере влияния режима нейтрали сети, а также емкости С проводов относительно земли на опасность поражения током при прямом прикосновении человека к фазному проводу в условиях нормальной работы сети.

Задание №3. Исследовать влияние активного сопротивления в цепи тела человека R_k на значение тока I_D проходящего через человека, прикоснувшегося к фазному проводу сети с изолированной и с заземленной нейтралью, при нормальном режиме работы сети.

3.1. Выполнить указания п.п.1.2-1.6 задания № 1. Кроме того, переключатель вольтметра установить в положение «UA».

3.2. Установить переключателями «SRAE», «SRBE», «SRCE» и «SCAE», «SCBE», «SCCE» заданные преподавателем значения активного сопротивления изоляции $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_E$ и емкости $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = C_E$ проводов

относительно земли (например, моделируя короткую воздушную сеть, можно задать $R_E = 100$ кОм и $C_E = 0$).

3.3. Подобно указанному в п.п. 1.6, 1.8, 1.10, устанавливая медленным вращением рукоятки потенциометра «RN» последовательно значения сопротивления R_{hi} в цепи тела человека, измерять соответствующие этим значениям токи I_{hi} и напряжения U_A между фазным проводом А землей (считать показания индикаторов амперметра и вольтметра и заносить их в отчет о лабораторной работе).

3.4. Моделировать трехфазную четырехпроводную сеть с заземленной нейтралью, установив переключатель «SN» в верхнее положение.

3.5. Дополнительно к указаниям п.3.2 установить переключателями «SRPEN» и «SCPEN» значения $R_{PEN} = R_E$ и $C_{PEN} = C_E$.

3.6. Повторно выполнить указания п.п.3.3.

3.7. Результаты измерений представить в отчете в виде табл. 10.1 –10.3 и графиков зависимостей $I_h = I(R_h)$ и $U_A = U(R_h)$ для обоих видов сетей.

3.8. Сделать вывод о характере влияния сопротивления R_h в цепи тела человека на опасность поражения током в трехфазных сетях с различным режимом нейтрали.

Аварийный режим работы сети

Задание № 4. При аварийной ситуации (замыкание фазного провода на землю через сопротивление растеканию тока R_{3M}) провести сравнительный анализ опасности прикосновения человека к исправному фазному проводу в сетях с изолированной и заземленной нейтралью. Исследовать характер влияния сопротивления R_{3M} на значение тока I_h , протекающего через человека.

4.1. Выполнить указания п.п.3.1 и 3.2 задания № 3.

4.2. Переключателем «Скз» замкнуть фазный провод В или С на землю через сопротивление R_M .

4.3. Устанавливая переключателем «R_{3M}» последовательно значения $R_{3M} = 10; 100$ и 1000 Ом, измерить ток I_h в цепи тела человека и напряжение U_A между фазным проводом А и землей (считать показания индикаторов амперметра и вольтметра и заносить их в табл. 10.4 отчёта о лабораторной работе).

4.4. Моделировать трехфазную четырехпроводную сеть с заземленной нейтралью, установив переключатель «SN» в верхнее положение.

4.5. Измерить ток I_h и напряжение U_A в зависимости от сопротивления R_{3M} , выполнив последовательно указания п.3.5 задания №3 и 4.3 задания №4.

4.6. Результаты измерений представить в отчете в виде табл. 10.4 – 10.5 и графиков зависимостей $I_h = I(R_{3M})$ для обоих видов сетей.

4.7. Сделать вывод о характере влияния сопротивления растеканию тока в месте замыкания фазного провода на землю R_{3M} на опасность поражения током в трехфазных сетях с различным режимом нейтрали.

Задание №5. При аварийной ситуации (замыкании фазного провода на землю через сопротивление растеканию тока R_{3M}) выполнить исследование характера влияния сопротивления в цепи тела человека, прикоснувшегося к исправному фазному проводу в сетях с изолированной и заземленной нейтралью, на значение тока I_h , протекающего через человека.

5.1. Выполнить указания п.п. 1.2-1.3 и 1.5-1.6 задания № 1. Кроме того, переключатель вольтметра установить в положение «УА».

5.2. Переключателем « S_{K3} » замкнуть фазный провод В или С на землю через сопротивление.

5.3. Установить переключателем « S_{3M} » заданное преподавателем значение R_{3M} (например $R_{3M} = 100 \text{ Ом}$).

5.4. Определить и записать в таблицу отчета о лабораторной работе значения тока I_h в зависимости от сопротивления в цепи тела человека R_h при постоянном значении R_{3M} для сети с изолированной и заземленной нейтралью, выполнив последовательно указания п.п.3.2-3.3.

5.5. Сделать вывод о характере влияния сопротивления R_k в цепи телачеловека на опасность поражения током в трехфазных сетях с изолированной и заземленной нейтралью при аварийном режиме работы сетей.

5.6. Выключить стенд, переведя тумблер «ВКЛ-ВЫКЛ» в нижнее положение.

Содержание отчета о лабораторной работе

Результаты измерений представить в виде таблиц и графиков, вычертить схемы исследуемых сетей и сделать выводы, указанные в соответствующих пунктах приведенных выше заданий.

Таблица 10.1.

Зависимость тока, проходящего через тело человека при прямом прикосновении к фазному проводу, от активного сопротивления изоляции проводов сети с изолированной, а затем с заземленной нейтралью $I_h = f(R_h)$, при $R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{PEN}$ и $C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = C_{PEN}$

$R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{PEN}, \text{кОм}$	∞	1,0	2,5	10	25	100
I_h, mA						
1. Изолированная нейтраль						
2. Заземленная нейтраль						

Таблица 10.2.

Зависимость тока, проходящего через тело человека при прямом прикосновении к фазному проводу, от емкости проводов относительно земли в сети с изолированной, а затем с заземленной нейтралью

$$I_h = f(C_h), \text{ при } R_{AE} = R_{BE} = R_{CE} = R_{PEN} \text{ и } C_{AE} = C_{BE} = C_{CE} = C_{PEN}$$

$C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{PEN}$, МКФ	0	0,1	0,25	0,5	1,0	2,5
I_h , mA						
1. Изолированная нейтраль						
2. Заземленная нейтраль						

Таблица 10.3.

Зависимость тока I_h проходящего через человека, прикоснувшегося к фазному проводу сети с изолированной и с заземленной нейтралью, при нормальном режиме работы от активного сопротивления в цепи тела человека R_k

Сопротивление в цепи тела человека, кОм		1	25	50	75	100
Изолированная нейтраль	I_h					
	U_h					
Заземленная нейтраль	I_h					
	U_h					

Таблица 10.4.

Зависимость тока I_h , протекающего через человека от сопротивления $R_{ЗМ}$ при аварийном режиме работы

$R_{ЗМ}$, Ом		10	100	1000
Изолированная нейтраль	I_h			
	U_h			
Заземленная нейтраль	I_h			
	U_h			

Таблица 10.5

Зависимость тока I_h , протекающего через человека от сопротивления в цепи тела человека, при аварийном режиме работы

R_h , Ом		1	30	20.05	63.5	99.5
Изолированная нейтраль	I_h					
	U_h					
Заземленная нейтраль	I_h					
	U_h					

Контрольные вопросы

1. Организационные и технические мероприятия по обеспечению электробезопасности.
2. Технические способы и средства защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям оборудования.
3. Изолирующие защитные средства (основные и дополнительные).
4. Правила электробезопасности при эксплуатации бытовых электроприборов и других электрических устройств.
5. Меры личной безопасности при освобождении пораженного от контакта с проводником электрического тока.

Лабораторная работа № 11

Исследование характеристик устройства защитного отключения на соответствие требованиям электробезопасности

Цель работы – исследование основных характеристик устройства защитного отключения (УЗО), реагирующего на дифференциальный ток (ток нулевой последовательности) в трехфазной сети 129 напряжением до 1кВ с заземленной нейтралью, и оценить их соответствие нормативным требованиям электробезопасности.

Содержание работы

1. Экспериментально определить установленное на стенде длительно допустимое значение тока $I_{h,d,d}$ проходящего через тело человека.
2. Выполнить предварительный контроль работоспособности УЗО.
3. Измерить ток уставки I_Y УЗО.
4. Измерить время срабатывания $\tau_{ср}$ УЗО и ток I_h , который в течение этого времени проходит через человека, прикоснувшегося к фазе в защищаемом электропотребителе.
5. Исследовать влияние защитного зануления корпуса электропотребителя на эффективность действия УЗО при замыкании фазы на корпус.
6. Сделать заключение о соответствии исследованных параметров УЗО допустимым, обеспечивающим условия электробезопасности. Оценить влияние защитного зануления на эффективность действия УЗО.

Описание лабораторной установки

Описание лабораторной установки приведено в работе № 10.

Порядок выполнения работы

Включить стенд, переведя тумблер «ВКЛ-ВЫКЛ» в верхнее положение; при этом должны загореться светодиодные индикаторы наличия фазных напряжений на мнемосхеме передней панели.

Привести стенд в исходное состояние, нажать кнопку «СБРОС»; при этом сбрасываются значения предыдущего состояния стенда.

Задание №1 Определить заданное в стенде длительно допустимое значение тока, проходящего через тело человека.

1.1 Моделировать на стенде трехфазную четырехпроводную сеть с заземленной нейтралью. Для этого установить переключателями «SRAE»,

«SRBE», «SRCE», «SRPEN» и «SCAE», «SCBE», «SCCE», «SCPEN» сопротивление изоляции и емкости проводов сети относительно земли в соответствии с указаниями преподавателя (например, $R_{AE}=R_{BE}=R_{CE}=R_{PEN}=100$ кОм и $C_{AE}=C_{BE}=C_{CE}=C_{PEN}=0,1$ мкФ). Перевести переключатель «SN» в верхнее положение. Установить переключатель «СКЗ» в положение «О».

1.2. Имитировать прикосновение человека к фазе, для чего гибкий провод, снабженный наконечниками, подсоединить к клемме «Хпр» на мнемоническом изображении руки человека и одной из клемм «ХА», «ХВ» или «ХС».

1.3. Рукоятку плавного регулятора «РН» переместить в крайнее правое положение (ему соответствует значение сопротивления тела человека, равное 100 кОм).

1.4. Установить переключатель «A1-A2-RH» в положение «A1», при этом высветится с вето диод в месте подключения амперметра для измерения тока I_h в цепи тела человека.

1.5. Медленно вращая рукоятку регулятора R_h против часовой стрелки, ожидая загорания светодиода в изображении человека. В момент начала свечения светодиода в изображении человека измерить, нажав кнопку "ИЗМЕРЕНИЕ", значение тока I_h , которое соответствует принятому длительно допустимому току $I_{h,d,d}$. Оставить рукоятку регулятора в положении, соответствующем длительно допустимому току I_{hdd} .

1.6. Нажать кнопку «СБРОС».

Задание №2. Проверить работоспособность УЗО.

2.1. Включить УЗО, нажав кнопку «ПУСК». При этом на кнопке «ПУСК» высветится светодиод, свидетельствующий о замыкании контактов УЗО, наличии напряжения на его выходе и, соответственно, на входе электропотребителя.

2.2. Наблюдать срабатывание УЗО при одновременном нажатии кнопок «КОНТРОЛЬ» и «ИЗМЕРЕНИЕ». Светодиод на кнопке «ПУСК» гаснет, что указывает на отсутствие напряжения на выходе УЗО вследствие размыкания его контактов, загорается светодиод «КОНТРОЛЬ». Секундомер при этом показывает время срабатывания УЗО.

2.3. Сделать вывод о работоспособности УЗО.

Задание №3. Измерить ток уставки I_y УЗО.

3.1. Нажать кнопку «СБРОС».

3.2. Установить переключатель амперметра в положение «A1».

3.3. Присоединить «человека» к фазе А в электропотребителе, для чего гибкий провод, снабженный наконечниками, подсоединить к клеммам «Хпр» на мнемоническом изображении руки человека и «ХАК» на корпусе электропотребителя.

3.4. Включить УЗО, нажав кнопку «ПУСК».

3.5. Нажав и удерживая кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ», уменьшая сопротивление R_h посредством медленного вращения против часовой стрелки рукоятки его регулятора, оставленной в положении, соответствующем длительно допустимому току $I_{h,d,d}$, наблюдать за моментом срабатывания УЗО. В момент срабатывания УЗО (гаснет индикатор на кнопке "ПУСК" УЗО) зафиксировать показание амперметра, которое соответствует току уставки I_y .

Сравнить измеренное значение тока уставки I_y с установленным на УЗО, установив переключатель амперметра в положение «A2» (при этом загорается светодиодный индикатор на мнемоническом изображении амперметра A2) и сняв его показания.

Задание № 4. Замерить время срабатывания τ_{cp} УЗО и ток I , проходящий в течение τ_{cp} через человека, прикоснувшегося к фазе в защищаемом электропотребителе.

4.1. Перевести устройство в исходное состояние, нажав кнопку «СБРОС».

4.2. Установить рукоятку плавного регулятора R_h в положение «1 кОм».

4.3. Установить переключатель амперметра в положение «A1».

4.4. Включить УЗО, нажав кнопку «ПУСК».

4.5. Присоединить «человека» к фазе А электропотребителя, оставив подсоединение в соответствии с п. 3.3 и нажав кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ». Наблюдать срабатывание УЗО (что вызовет отключение электропотребителя от сети). Показание миллисекундомера соответствует времени срабатывания τ_{cp} УЗО, а амперметра – току I_h , прошедшему в течение этого времени через человека.

4.6. На основании сравнения измеренного значения тока с допустимым при времени воздействия на человека, равном τ_{cp} , сделать вывод об эффективности защитного действия исследуемого УЗО.

Задание №5. Исследовать влияние зануления электропотребителя на работу защищающего его УЗО в случае замыкания фазы на корпус электропотребителя.

5.1. Отсоединить гибкий провод, снабженный наконечниками, от клеммы «ХА» на корпусе электропотребителя. Перевести устройство в исходное состояние, нажав кнопку «СБРОС».

5.2. Занулить корпус электропотребителя, установив переключатель «Sзщ» в верхнее положение.

5.3. Включить УЗО, нажав кнопку «ПУСК».

5.4. Осуществить пробой фазы С на корпус электропотребителя, нажав одновременно кнопки «Sk3 к» и «ИЗМЕРЕНИЕ». Наблюдать последствия.

5.5. Перевести устройство в исходное состояние, отжав кнопку «Sk3» и нажав кнопку «СБРОС».

5.6. Нарушить зануление, произведя разрыв зануляющего проводника посредством переключения «Sзщ» в нижнее положение .

5.5. Повторно выполнить указания п.п.5.3 , 5.4, 5.5.

5.6. В отчете о лабораторной работе написать вывод по результатам проведенного эксперимента.

5.7. Выключить стенд, переведя тумблер «ВКЛ-ВЫКЛ» в нижнее положение.

Содержание отчета о лабораторной работе

Отчет должен содержать:

- схематическое изображение зануленного электропотребителя, подключенного к сети через УЗО, а также элементов в зоне его защиты;
- обработанные результаты проведенных исследований и полученные на их основе выводы (см. указания соответствующих пунктов работы);
- обобщенное заключение об эффективности защитного действия УЗО и соответствии его параметров допустимым, обеспечивающим условия электробезопасности.

Контрольные вопросы

1. Определение заданного в стенде длительно допустимого значения тока, проходящего через тело человека.
2. Проверка работоспособность УЗО.
3. Измерение тока уставки I_y УЗО.
4. Замерение время срабатывания $\tau_{ср}$ УЗО и ток I , проходящий в течение $\tau_{ср}$ через человека, прикоснувшегося к фазе в защищаемом электропотребителе.
5. Исследование влияния зануления электропотребителя на работу защищающего его УЗО в случае замыкания фазы на корпус электропотребителя.

Лабораторная работа № 12

Исследование защитного заземления в электроустановках напряжением до 1 кВ

Цель работы – оценить влияние защитного заземления на опасность поражения током в электроустановках, питающихся от трехфазных трёхпроводных сетей с изолированной нейтралью и от трехфазных пятипроводных сетей с заземленной нейтралью напряжением до 1кВ.

Содержание работы

1. Исследовать эффективность защитного заземления корпуса электропотребителя, питающегося от трёхфазной трёхпроводной сети с изолированной нейтралью.
2. Исследовать напряжение на заземлённом корпусе электропотребителя в зависимости от сопротивления его заземляющего устройства в сети с изолированной нейтралью.
3. Оценить опасность поражения током при одновременном замыкании разных фаз сети с изолированной нейтралью на корпуса электропотребителей, имеющих отдельные заземляющие устройства.
4. Исследовать влияние защитного заземления на опасность поражения током при замыкании фазы на корпус электропотребителя, питающегося от трёхфазной пятипроводной сети с заземленной нейтралью.

Описание лабораторного стенда

Стенд представляет собой настольную конструкцию с вертикальной передней панелью. На лицевой панели стенда изображена мнемосхема системы «электрическая сеть – потребители», которая содержит изображение источника питания (трехфазная сеть), фазных и защитных проводников, электропотребителей: полуактивного (корпус 1), активного (корпус 2) и пассивного (корпус 3), соответствующего классу защиты I от поражения электрическим током (ГОСТ РМЭК 61140-2000).

Индикация наличия фазных напряжений осуществляется тремя светодиодными индикаторами – желтым (фаза А), зеленым (фаза В) и красным (фаза С).

Стенд позволяет моделировать два способа защиты – защитное заземление и зануление. Подключение корпусов 1 и 2 к РЕ-проводнику (зануление) или к заземляющим устройствам осуществляется путем соединения гибким проводом со штеккерами клемм «X1» или «X2» с одной из соответствующих клемм «ХРЕ1», «ХРЕ2» или «ХЗМ1», «ХЗМ2». Реально существующие

распределенные сопротивления изоляции проводов (фазных и нулевого) относительно земли изображены на мнемосхеме в виде сосредоточенных элементов – резисторов, расположенных справа («RAE», «RBE», «RCE», «RNE»).

На поле мнемосхемы, рядом с изображениями элементов моделируемой сети, размещены коммутационные элементы и регуляторы с соответствующими буквенно-цифровыми обозначениями, выполняющими следующие функции:

- изменение значений фазных напряжений «Уф» в диапазоне $220\text{В} \pm 10\%$ (не является необходимым средством для проведения лабораторных работ, может применяться для исключения получения одинаковых результатов разными группами студентов),

- изменение значений сопротивления изоляции проводов «RAE», «RBE», «RCE», «RNE»: 1; 5; 10; 20кОм,

- имитацию подключения автоматическими выключателями активного (корпус 2) и полуактивного (корпус 1) потребителей кнопками без фиксации с индикацией, соответственно S2 и S1. При нажатии на эти кнопки потребитель отключается от сети, и соответствующий светодиод гаснет. Корпус 3 является пассивным и изображен как однофазный потребитель;

- имитацию замыкания корпусов 1 и 2 на фазы соответственно «А» и «В» нажатием кнопок с фиксацией и индикацией «Sk31» и «Sk32». О замыкании корпуса при нажатии кнопки свидетельствует загорание соответствующего светодиода, при отжатии кнопки происходит размыкание корпуса от фазы, и светодиод внутри кнопки гаснет,

- изменение значений сопротивлений РЕ-проводника «RPE»: 0,1, 0,2 и 0,5 Ом (сопротивления участков «нейтраль - корпус 1» и «корпус 1 - корпус 2» условно считаются равными),

- изменение значений переходного сопротивления между корпусом 2 и зануляющим проводником «R_{пер}»: 0; 0,1 и 0,5 Ом,

- изменение значений сопротивления заземления корпуса 2 «R3M2»: 4; 10; 100 Ом,

- изменение значений сопротивления повторного заземления «Rпов»: 4; 10; 100 Ом; значение $R_{пов} = \infty$ означает отсутствие повторного заземления,

- имитацию обрыва РЕ – проводника тумблером «Собр» при переводе его в нижнее положение,

- переключение режима нейтрали «глухозаземленная (переключатель «SN» в верхнем положении) - изолированная» (переключатель «SN» в нижнем положении) с одновременным подключением (отключением) РЕ- и N-проводников («SN»).

Сопротивления заземления нейтрали «Ro» и заземления корпуса 1 «R3M1» установлены постоянными и равными 4 Ом.

Сопровитления фазных проводов «RA, RB, RC» установлены постоянными и равными 0,1 Ом по каждой фазе, распределены равномерно на двух участках проводника – от нейтральной точки до корпуса 2 и после корпуса 2; на мнемосхеме изображены пунктиром.

Реальные уровни напряжений на доступных прикосновению частях стенда составляют не более 3В и не представляют опасности поражения электрическим током.

Индикация токов (Амперметр) и напряжений (Вольтметр) в моделируемой трехфазной сети, а также времени срабатывания автоматического выключателя корпуса 2 (Секундомер) осуществляется цифровыми индикаторами в нижней части стенда. Индицируемые параметры зависят от положения переключателей «A1-A2» (ток короткого замыкания и ток, стекающий с заземлителя «A1» и ток замыкания на землю через повторное заземление РЕ-проводника «A2») и «UA - UB - UC - UO - U1 -U2 - U3 - Уф» (напряжения фазных проводов, нейтральной точки, а также корпусов 1, 2, 3 относительно земли) и фазных напряжений Уф (между нулевой точкой и другими концами обмоток, цепь симметричная).

Срабатывание автоматического выключателя корпуса 2 и соответствующая индикация времени срабатывания происходят при токах свыше 200А.

По принципу работы стенд является цифровым микропроцессорным устройством, вычисляющим по соответствующим формулам параметры сети в зависимости от комбинаций коммутационных элементов на передней панели стенда. Результаты вычислений выводятся на цифровые индикаторы. Индикаторы отображают «измеренные» (вычисленные) значения параметров по нажатию кнопки «ИЗМЕРЕНИЕ», расположенной справа в нижней части передней панели; показания сбрасываются нажатием кнопки «СБРОС», расположенной там же. Стенд устроен таким образом, что позволяет длительно сохранять режим замыкания фазных проводов на корпуса электропотребителей 1 и 2 и полученные при этом результаты измерений исследуемых параметров.

Т.к. только корпус 2 является активным, т.е. работающим при всех экспериментах, работа стенда осуществляется только при условии включения корпуса 2 и замыкания на землю фазы «В» (кнопка с фиксацией и индикацией «SK32»). Если будет попытка произвести измерение при несоблюдении этого условия, на цифровых индикаторах высветится цифра «2», (напоминание о необходимости подключить и «закоротить» корпус 2).

В памяти стенда «зашиты» в основном комбинации, относящиеся к лабораторным работам в соответствии с данными «Методическими указаниями». В случае набора некоторых не предусмотренных комбинаций на цифровые индикаторы выводится символ «--».

Включение-выключение стенда производится тумблером «ВКЛ-ВЫКЛ», расположенным слева в нижней части передней панели стенда. При вклю-

чении стенда загораются светодиодные индикаторы наличия фазных напряжений на мнемосхеме передней панели.

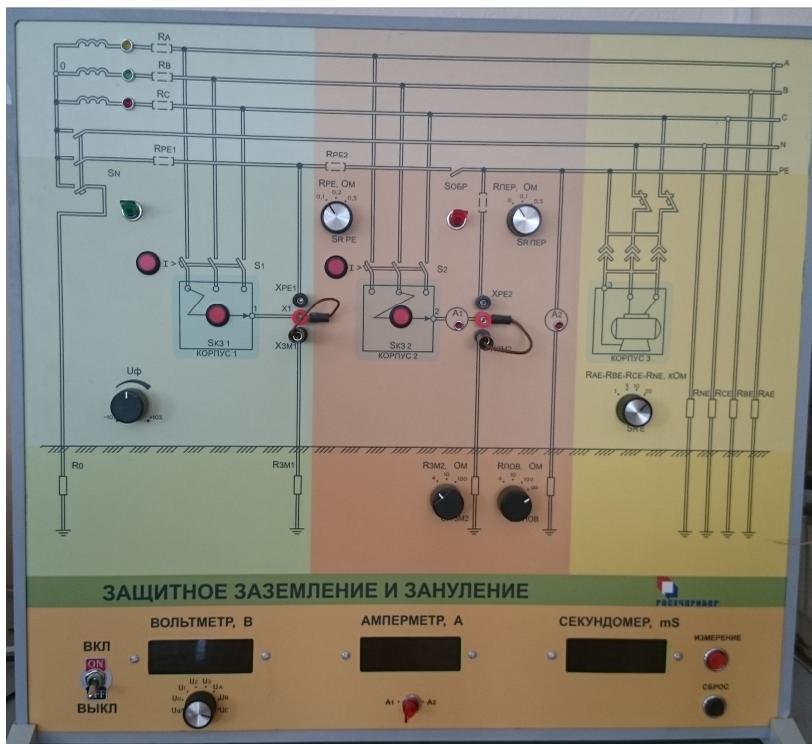


Рис. 12.1. Защитное заземление и зануление

Порядок выполнения работы

Задание № 1. Исследовать эффективность защитного заземления корпуса электропотребителя, питающегося от трёхфазной трёхпроводной сети с изолированной нейтралью.

1.1. Включить стенд, переведя тумблер «ВКЛ-ВЫКЛ» в верхнее положение; при этом должны загореться светодиодные индикаторы наличия фазных напряжений на мнемосхеме передней панели.

1.2. Привести стенд в исходное состояние: нажать кнопку «СБРОС»; при этом сбрасываются значения предыдущего состояния стенда. Нажать кнопки S2, Sk32. Регулятором напряжения сети «Уф» подобрать заданное преподавателем значение, для чего, повернув его рукоятку на некоторый угол в нужную от среднего положения сторону (значения U_{ϕ} изменяются в преде-

лах $220\text{В} \pm 10\%$), нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ» и наблюдать на цифровом табло вольтметра значение $U_{\text{ф}}$ при соответствующем положении переключателя « $U_{\text{ф}}-U_{\text{O}}-U_{\text{I}}-U_{\text{2}}-III-U_{\text{A}}-U_{\text{B}}-U_{\text{C}}$ » (в данном случае крайнее левое положение). Корректировать положение регулятора, повторяя этот процесс до получения заданного значения, после чего рукоятку « $U_{\text{ф}}$ » не трогать во избежание изменения значения $U_{\text{ф}}$. После каждого нажатия кнопки «СБРОС» не забывать включать корпус 2 (кнопка S_2).

1.3. Моделировать трехфазную трехпроводную сеть с изолированной нейтралью, установив переключатель « S_{N} » в нижнее положение.

1.4. Переключателем « S_{RE} » установить заданные преподавателем сопротивления изоляции проводов относительно земли (например, $R_{\text{E}} = 20 \text{ Ом}$).

1.5. Присоединить электропотребитель 2 к сети, нажав кнопку « S_2 ». Закрыть фазный провод В на корпус 2, нажав кнопку « S_{K32} ». Убедиться, что на кнопках « S_2 » и « S_{K32} » горят светодиодные индикаторы.

1.6. Нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ».

1.7. Измерить вольтметром значения напряжения относительно земли корпуса 2, а также фазных проводов А, В и С, для чего последовательно переводить рукоятку вольтметра в положения U_2 , U_{A} , U_{B} , U_{C} . Полученные значения напряжений занести в отчет о лабораторной работе.

1.8. Нажать кнопку «СБРОС».

1.9. Переключателем « S_{R3M2} » установить заданное преподавателем значение сопротивления R_{3M2} заземляющего устройства (например, $R_{\text{3M2}} = 4 \text{ Ом}$).

1.10. Заземлить корпус 2, для чего гибкий провод, снабженный наконечниками, подсоединить к клеммам « X_2 » и « X_{3M2} ».

1.11. Присоединить электропотребитель 2 к сети, нажав кнопку « S_2 ». Убедиться, что на кнопках « S_2 » и « S_{K32} » горят светодиодные индикаторы.

1.12. Измерить ток, стекающий в землю через заземляющее устройство, установив переключатель амперметра в положение « A_1 ». Полученное значение тока записать в отчет.

1.13. Измерить вольтметром значения напряжений относительно земли корпуса 2, а также фазных проводов А, В и С, для чего последовательно переводить рукоятку вольтметра в положения U_2 , U_{A} , III , U_{C} . Полученные значения напряжений занести в отчет о лабораторной работе.

Сделать вывод об опасности прикосновения человека к корпусу электропотребителя в случае замыкания на него фазного провода при отсутствии и наличии защитного заземления. Отметить при этом влияние защитного заземления на напряжение фазных проводов сети относительно земли.

Задание № 2. Исследовать напряжение на заземленном корпусе электропотребителя в зависимости от сопротивления его заземляющего устройства в сети с изолированной нейтралью.

2.1. Выполнить указания п.п. 1.2 - 1.5 и 1.10 (если предварительно выполнялось задание №1, то следует только проверить соответствие положений коммутационных элементов указаниям перечисленных пунктов).

2.2. Устанавливая последовательно переключателем «SR3M2» значения сопротивления заземляющего устройства $R = 4, 10$ и 100 Ом, каждый раз производить измерение напряжения на корпусе 2 относительно земли (положение рукоятки вольтметра U_2) нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ», в противном случае выполнить требования п. 1.11. Полученные значения напряжения U_2 записать в отчет.

2.3. Измерить ток, стекающий в землю через заземляющее устройство при $R_{зМ2} = 4, 10$ и 100 Ом. Полученные значения тока занести в отчет.

2.4. Нажать кнопку «СБРОС».

2.5. Проанализировать зависимость опасности поражения электрическим током от сопротивления заземляющего устройства в случае прикосновения человека к заземленному корпусу.

Задание № 3. Оценить опасность поражения током при одновременном замыкании разных фаз сети с изолированной нейтралью на корпуса электропотребителей, имеющих отдельные заземляющие устройства.

3.1. Проверить соответствие состояния стенда требованиям пп. 1.2-1.4.

3.2. Подключить корпуса 1 и 2 к заземляющим устройствам путем соединения гибкими проводами со штеккерами клеммы «X1» с клеммой «XзМ1», а клеммы «X2» с клеммой «XзМ2».

3.3. Присоединить электропотребители – корпуса 1 и 2 к сети, нажав кнопки «S1» и «S2», при этом должны загореться соответствующие этим кнопкам светодиоды. Замкнуть фазный провод В на корпус 2, нажав кнопку «Skз2», а фазный провод А на корпус 1, нажав кнопку «Skз1», при этом также должны загореться соответствующие этим кнопкам светодиоды.

3.4. Переключателем «SR3M2» установить значение сопротивления заземляющего устройства корпуса 2 $R_{зМ2} = 4$ Ом.

3.5. Нажав кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ», произвести замыкание фазных проводов А и В соответственно на корпуса 1 и 2; измерить напряжения корпусов 1 и 2 относительно земли, для чего перевести рукоятку вольтметра в положения соответственно U_1 и U_2 . Полученные значения напряжения записать в отчет.

3.6. Измерить ток, стекающий в землю через заземляющее устройство корпуса 2, при положении «A1» переключателя амперметра.

3.7. Повторно последовательно выполнить задание при значениях $R_{зМ2} = 10$ Ом и 100 Ом.

3.8. Оценить опасность косвенного прикосновения в случае двойного замыкания фаз на заземленные корпуса и ее зависимость от сопротивления заземляющего устройства.

3.9. Нажать кнопку «СБРОС».

Задание №4. Исследовать влияние защитного заземления на опасность поражения током при замыкании фазы на корпус электропотребителя, питающегося от трёхфазной пятипроводной сети с заземленной нейтралью.

4.1. Выполнить указание п. 1.2.

4.2. Заземлить нейтраль источника питания, подключить к нему N и PE - проводники, для чего установить переключатель «SN» в верхнее положение. Переключатель «SRПОВ» установить в положение «∞».

4.3. Выполнить указания п.п. 1.9,1.10,1.4,1.5.

4.4. Нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ».

4.5. Измерить, руководствуясь указаниями п. 1.7, напряжения относительно земли корпуса 2, нейтральной точки источника питания, проводов сети А, В, С, N. Результаты измерения занести в отчёт.

4.6. Измерить ток, стекающий на землю через заземляющее устройство, установив переключатель амперметра в положение «А1».

4.7. Выключить стенд, переведя тумблер «ВКЛ-ВЫКЛ» в нижнее положение; при этом должны погаснуть светодиодные индикаторы наличия фазных напряжений на мнемосхеме передней панели.

4.8. Оценить в выводе эффективность применения защитного заземления в сетях с заземленной нейтралью.

Содержание отчёта о лабораторной работе

Отчёт должен содержать обработанные результаты измерений, принципиальные схемы, поясняющие сущность выполненных экспериментов, а также заключение, обобщающее выводы по каждому разделу проведенных исследований.

Контрольные вопросы

1. Методика исследования эффективности защитного заземления корпуса электропотребителя, питающегося от трёхфазной трёхпроводной сети с изолированной нейтралью.
2. Методика исследования напряжения на заземленном корпусе электропотребителя в зависимости от сопротивления его заземляющего устройства в сети с изолированной нейтралью.
3. Оценить опасность поражения током при одновременном замыкании разных фаз сети с изолированной нейтралью на корпуса электропотребителей, имеющих отдельные заземляющие устройства.
4. Исследование влияния защитного заземления на опасность поражения током при замыкании фазы на корпус электропотребителя, питающегося от трёхфазной пятипроводной сети с заземленной нейтралью.

Лабораторная работа № 13

Исследование защитного зануления

Цель работы – исследовать действие системы защитного зануления металлических не токоведущих частей электропотребителей, могущих оказаться под напряжением, питающихся от трёхфазной пятипроводной сети с заземленной нейтралью

Содержание работы

1. Исследовать функционирование защитного зануления без повторного заземления РЕ – проводника.
2. Оценить влияние повторного заземления РЕ – проводника на уровень обеспечения электробезопасности при применении защитного зануления.
3. Описание лабораторной установки (см. лаб. раб. № 12)

Порядок выполнения работы

Задание №1. Исследовать функционирование защитного зануления без повторного заземления РЕ – проводника.

1. Оценить время срабатывания автоматических выключателей, ток короткого замыкания, напряжение зануленных корпусов 1, 2, 3 и нулевой точки источника питания относительно земли в зависимости от сопротивления петли «фаза-нуль», образующейся при замыкании фазного провода на корпус 2.

1.1. Включить стенд, переведя тумблер «ВКЛ-ВЫКЛ» в верхнее положение.

1.2. Привести стенд в исходное состояние: нажать кнопку «СБРОС»; при этом сбрасываются значения предыдущего состояния стенда. Нажать кнопки S2, Sk2. Регулятором напряжения сети «Уф» подобрать заданное преподавателем значение, для чего, повернув его рукоятку на некоторый угол в нужную от среднего положения сторону (значения U_f изменяются в пределах $220V \pm 10\%$), нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ» и наблюдать на цифровом табло вольтметра значение U_f при соответствующем положении переключателя «Уф-U0-U1-U2-U3-UA-UB-Uc» (в данном случае – крайнее левое положение). Корректировать положение регулятора, повторяя этот процесс до получения заданного значения, после чего рукоятку «Уф» не трогать во избежание изменения значения U_f . После каждого нажатия кнопки «СБРОС» не забывать включать корпус 2 (кнопка S2).

1.3. Моделировать трехфазную пятипроводную сеть с заземленной нейтралью, установив переключатель «SN» в верхнее положение. Переключатель «SRE» установить в положение 20 кОм.

1.4. Присоединить корпуса 1 и 2 к РЕ – проводнику путем соединения гибкими проводами со штеккерами клеммы «X1» с клеммой «ХРЕ1», а клеммы «X2» с клеммой «ХРЕ2».

1.5. Установить переключателями «SRPE» и «SRПЕР» значения $R_{PE} = 0,1$ Ом и $R_{ПЕР} = 0$ соответственно, переключатель «SROBP» установить в верхнее положение, а переключатель «SRпов» в положение «∞».

1.6. Подключить электропотребители 1 и 2 к фазным проводам сети, нажав кнопки «S1» и «S2», при этом должны загореться соответствующие этим кнопкам светодиоды.

1.7. Установить переключатель амперметра в положение «A1».

1.8. Замкнуть фазный провод В на корпус 2, зафиксировав кнопку «Sk32» в нажатом положении (при этом кнопка «Sk31» должна находиться в отжатом положении), затем нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ».

1.9. При срабатывании автоматов «S1» или «S2» соответствующие им светодиодные индикаторы гаснут. Продолжающий гореть светодиод свидетельствует о недостаточности тока для срабатывания автомата. Записать показания цифровых индикаторов амперметра и миллисекундомера в отчет о лабораторной работе.

1.10. Измерить напряжения относительно земли корпусов 1, 2, 3 и нулевой точки источника питания соответственно, для чего последовательно переводить рукоятку вольтметра в положения U1, U2, U3, U0. Полученные значения напряжения записать в отчет.

1.11. Нажать кнопку «СБРОС».

1.12. Устанавливая переключателем «SRPE» значения $K_{PB}=0,2$ и $0,5$ Ом, каждый раз измерять время срабатывания автоматического выключателя, ток короткого замыкания и напряжения, указанные в п. 1.10, выполняя указания пп. 1.6-1.11.

2. Оценить время срабатывания автоматического выключателя, ток короткого замыкания, напряжения относительно земли зануленных корпусов 1, 2, 3 и нулевой точки источника питания в зависимости от переходного сопротивления $R_{ПЕР}$ петли «фаза-нуль», образующейся при замыкании фазного провода на корпус 2.

2.1. Установить переключателем «SRPE» заданное преподавателем значение R_{PE} , которое должно оставаться в процессе эксперимента постоянным (например, $R_{PE} = 0,1$ Ом).

2.2. Измерить время срабатывания автоматического выключателя, ток короткого замыкания, напряжения относительно земли корпусов 1, 2, 3 и нулевой точки источника питания, устанавливая переключателем «SRПЕР» последовательно значения $R_{ПЕР} = 0,1$ и $0,5$ Ом. При каждом значении $R_{ПЕР}$ выполнить указания п.п. 1.6 - 1.11.

3. Сделать вывод о характере зависимости исследуемых параметров от сопротивлений R_{PE} и $R_{ПКР}$ петли «фаза-нуль» при отсутствии повторного заземления РЕ-проводника.

Задание № 2. Исследовать влияние повторного заземления РЕ-проводника на уровень обеспечения электробезопасности при применении защитного зануления.

1. Измерить напряжения относительно земли зануленных корпусов 1,2,3 и нулевой точки источника питания, а также ток короткого замыкания и время срабатывания автомата защиты при замыкании фазы В на корпус 2 с повторным заземлением, оценив при этом влияние сопротивления $R_{пов}$ на исследуемые параметры.

1.1. Установить переключателями «SRPE» и «SRTIEP» значения $R_{PE} = 0,1$ Ом и $R_{ПЕР} = 0$ соответственно, переключатель «SROBP» установить в верхнее положение. Переключателем «SRпов» установить значение $R_{пов} = 4$ Ом.

1.2. Выполнить повторно указания п.п. 1.6 - 1.10 задания № 1.

1.3. Измерить ток, стекающий на землю через повторный заземлитель, установив переключатель амперметра в положение «A2». Полученное значение тока записать в отчет о лабораторной работе.

1.4. Нажать кнопку «СБРОС».

1.5. Установить переключателем «SRПОВ» поочередно значения $R_{пов} = 10$ и 100 Ом. При каждом значении $R_{пов}$ выполнить указания п.п. 1.2-1.4.

2. Измерить напряжение зануленных корпусов 1, 2 и 3 и нулевой точки источника питания в случае обрыва РЕ-проводника между корпусами 1 и 2 и замыкании фазы В на корпус 2 вначале без повторного заземления РЕ-проводника, а затем с повторным заземлением, оценив при этом влияние сопротивления повторного заземления $R_{пов}$ на исследуемые напряжения и ток, стекающий в землю.

2.1. Отсоединить повторный заземлитель от РЕ-проводника, переведя рукоятку переключателя «SRпов» в положение «∞».

2.2. Произвести обрыв РЕ-проводника, установив рукоятку переключателя «SROEP» в нижнее положение.

2.3. Выполнить указания п.п. 1.6, 1.8, 1.10, 1.11 задания № 1.

2.4. Присоединить повторный заземлитель к РЕ-проводнику: переключателем «SRпов» установить значение $R_{пов} = 4$ Ом.

2.5. Выполнить повторно указания п.п. 1.6, 1.8, 1.10 задания № 1, а также п. 1.3 задания № 2.

2.6. Установить переключателем «SRПОВ» последовательно значения $R_{пов} = 10$ и 100 Ом. При каждом значении $R_{пов}$ выполнить измерения исследуемых напряжений и тока.

2.7. Выключить стенд, переведя тумблер «ВКЛ-ВЫКЛ» в нижнее положение; при этом должны погаснуть светодиодные индикаторы наличия фазных напряжений на мнемосхеме передней панели.

3. Сделать вывод о характере влияния повторного заземления РЕ-проводника и сопротивления $R_{пов}$ на напряжения зануленных корпусов 1, 2, 3 и нулевой точки источника питания при замыкании фазного провода на корпус 2 при нормальном состоянии РЕ-проводника и в случае его обрыва.

Содержание отчета о лабораторной работе

Представить обработанные результаты измерений, привести принципиальные схемы, поясняющие сущность выполненных экспериментов. Сделать заключение, обобщающее выводы по разделам выполненной работы.

Контрольные вопросы

1. Виды электрических сетей.
2. Параметры, влияющие на безопасность электрических сетей.
3. Понятия заземления и зануления

Библиографический список

1. Основы безопасности жизнедеятельности: учебное пособие / А. Н. Лопанов, Е. А. Фанина, О. Н. Гузеева.– Белгород: Изд–во БГТУ, 2015.– 224 с.
2. Кукин П. П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (охрана труда): Учебное пособие для вузов/ П. П. Кукин, В. Л. Лапин и др. – М.: Высшая школа, 2001. – 319 с.
3. Арустамов Э.А. Безопасность жизнедеятельности: Учебник / Под ред. Проф. Э. А. Арустамова. – М.: Изд. Дом «Дашков и К⁰», 2000. – 678 с.
4. Русак О. Н. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие/ Под ред. Русака О. Н. – СПб.: Изд. «Лань», 2000. – 448 с.
5. Кривошей Д.А. Экология и безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие для вузов/ Д. А. Кривошей, Л. А. Муравей и др.; Под общ. ред. Л. А. Муравья. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2000. – 447 с.
6. Белов, С. В. Ноксология: учеб. для бакалавров / С. В. Белов, Е. Н. Симакова; общ. ред. С. В. Белова. – М.: Юрайт, 2012. – 429 с.
7. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учеб. для бакалавров / С. В. Белов. – 4–е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2012. – 682 с. – (Бакалавр. Базовый курс).
8. Баринов, А. В. Опасные природные процессы: Учебник / Баринов А. В., Седнев В. А., Шевчук А. Б. и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 334 с.
9. Денисенко Г.Ф. Охрана труда: учебное пособие для инж.-экон. спец. вузов – М.: Высш. школа, 1985 – 319 с.
10. Мاستрюков Б.С. Безопасность жизнедеятельности: учеб. для студ. Учреждений высш. проф.образования / И.В. Бабайцев, Б.С. Мاستрюков, В.Т. Медведев и др. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 340 с.
11. Минько, В. М. Об оценке и оптимальном управлении снижением профессиональных рисков / В. М. Минько // Приложение к журналу Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 3. – с. 2–24. – (Приложение к журналу Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 3. – с. 2–24).
12. Хван Т.А. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие для студентов вузов / Т.А. Хван, П.А. Хван. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2010. – 221 с.
13. Безопасное взаимодействие человека с техническими системами / В.Л.Лапин, Ф.Н.Рыжков, В.М.Попов, В.И.Томаков. Курск, 1995.
14. Борьба с шумом на производстве: Справочник / Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов, И.В. Горенштейн и др.; Под ред. Е.Я. Юдина. – М.: Машиностроение, 1985.

15. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности – наука о выживании в техносфере – М.: ВИНТИ, Обзорная информация. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях, 1996. вып. 1.

16. Белов С.В. Техносфера: аспекты безопасности и экологичности. – М.: Вестник МГТУ. 1998, сер. ЕН.№ 1.

17. Мищенко, О. А. Безопасность жизнедеятельности: практикум / О. А. Мищенко. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – 165 с.

18. Лопанов А.Н. Мониторинг и экспертиза безопасности жизнедеятельности: учебное пособие / А.Н. Лопанов, Е.В. Климова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – 123 с.

19. Лопанов, А. Н. Физико-химические основы теории горения и взрыва / А. Н. Лопанов. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2012. – 149 с.

Учебное издание

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Составители:

Лопанов Александр Николаевич
Фанина Евгения Александровна
Калатози Виктория Валерьевна
Носатова Елена Анатольевна
Прушковский Игорь Валентинович

Подписано в печать 29.12.17 Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 8,5 Уч–изд. л. 9,1

Тираж 100 экз. Заказ . Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете
им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46