

Федеральное агентство по образованию

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет “ЛЭТИ”

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

Санкт-Петербург
Издательство СПбГЭТУ “ЛЭТИ”
2008

УДК 331.4:614.8(076.5)

Безопасность жизнедеятельности: Методические указания по выполнению лабораторных работ / Сост.: В. А. Буканин, О. В. Демидович, Е. А. Иванов, А. А. Ковбасин, В. Н. Павлов, С. В. Петухова, Г. М. Товбин, А. О. Трусов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2008. 84 с.

Содержат описание лабораторных работ по дисциплине “Безопасность жизнедеятельности”.

Предназначены для студентов всех направлений и специальностей СПбГЭТУ “ЛЭТИ”.

Утверждено
редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний

© СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2008

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В ТРЁХФАЗНЫХ СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ И С КОМПЕНСИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЯМИ

Цели работы:

- исследование опасности при однофазном прикосновении человека;
- изучение основных принципов защиты от поражения электрическим током;
- изучение опасности при аварийных режимах работы сети.

1.1. Общие сведения

Сети с изолированной или с компенсированной нейтралью применяются во многих ответственных электроустановках, в частности, на судах, в шахтах, карьерах, больницах, лабораториях и т. д., где недопустимо отключение питания даже при аварийной ситуации, например при замыкании фазы на землю. При нормальной работе сети прямое однофазное прикосновение человека к токоведущей части или не прямое (косвенное) прикосновение к токопроводящему корпусу приёмника электроэнергии, на который произошло замыкание фазы, менее опасно, чем подобные прикосновения в сети с глухозаземлённой нейтралью.

Общий вид таких сетей для анализа безопасности приведён на рис. 1.1, а внешний вид лабораторного стенда показан на рис. 1.2.

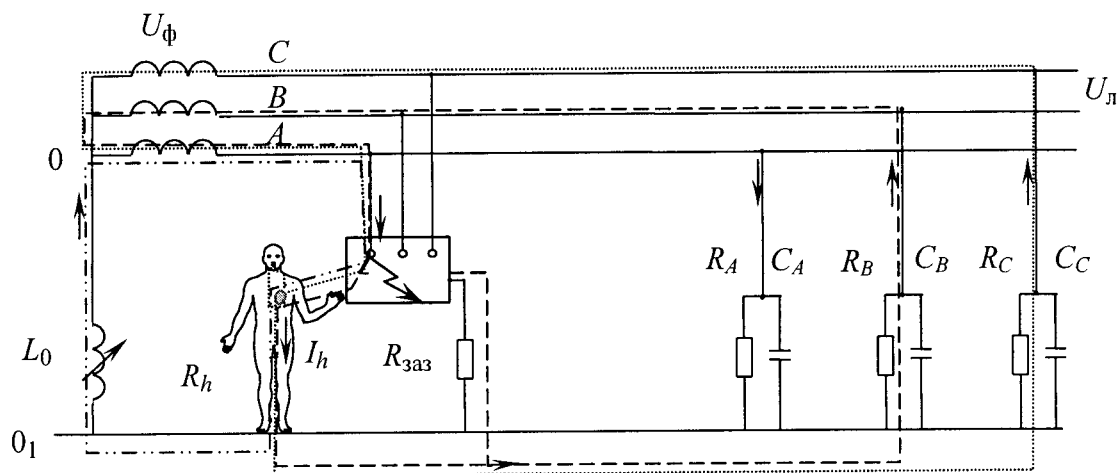


Рис. 1.1. Электрическая схема сети для анализа безопасности с контурами возможных токов

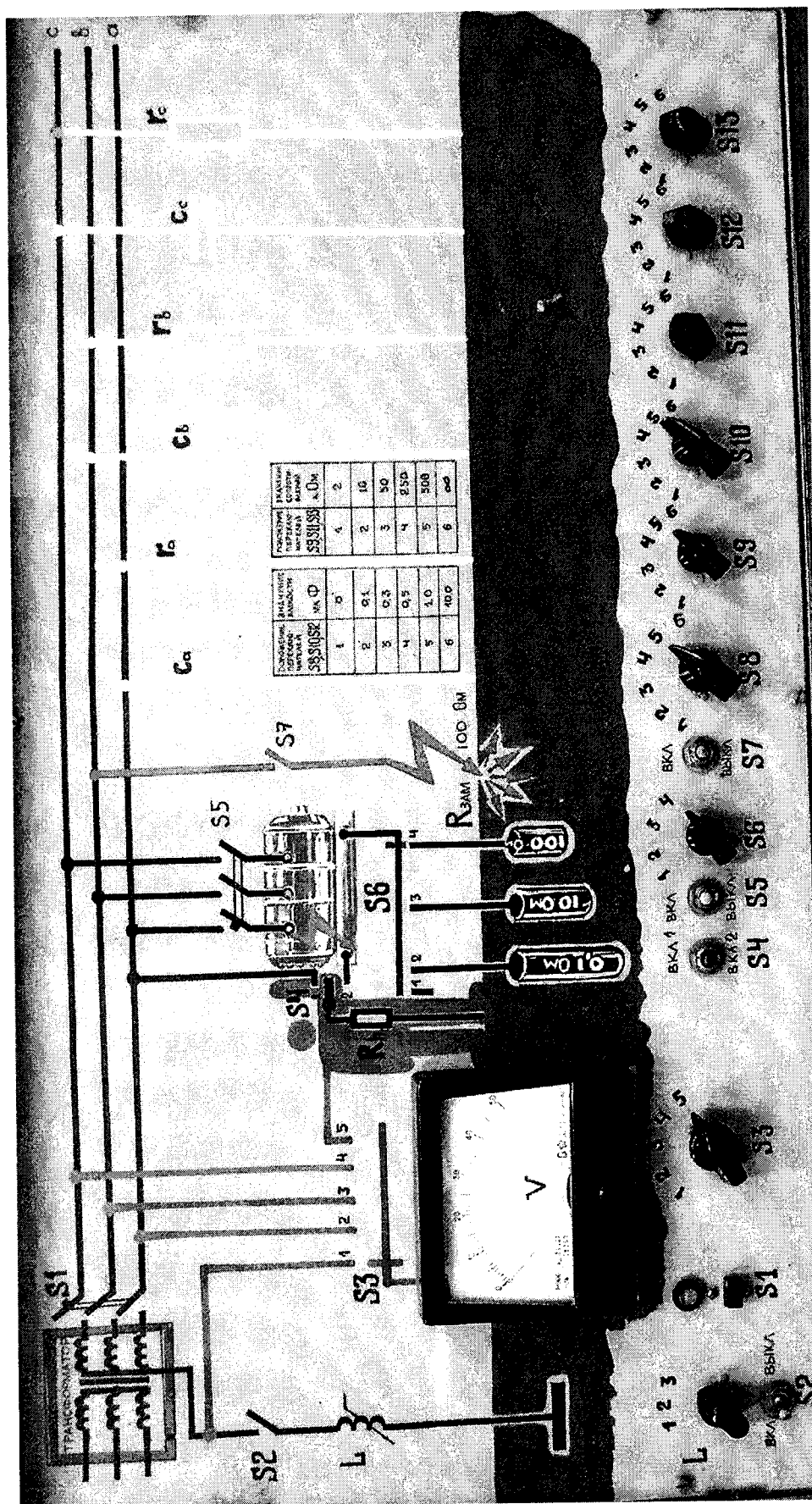


Рис. 1.2. Внешний вид стенда

Системы, состоящие из сети и электроприёмников, могут быть обозначены, как IT и CT. Первая буква означает отношение нейтрали к земле: нейтраль источника изолирована от земли (I – isolato, insulate) или компенсирована (C – compensato, compensate), а вторая буква (T – terra) – это отношение корпуса электроприёмника к земле: по существующим правилам электробезопасности он должен быть соединён с землёй или её эквивалентом.

Опасность режима определяется силой тока I_h , который протекает через тело человека, имеющего сопротивление R_h . Но поскольку этот ток не измерить, обычно оценивают напряжение прикосновения U_h , то есть напряжение, приложенное к телу человека. Тогда ток $I_h = U_h / R_h$.

Напряжение фазы A , к которой может случайно прикоснуться человек, по отношению к земле (при отсутствии дополнительных сопротивлений пола оно равно напряжению прикосновения) может быть найдено по формуле

$$\dot{U}_{A0_1} = \dot{U}_{A0} - \dot{U}_{00_1} = U_\Phi \frac{(1-a^2)\dot{Y}_B + (1-a)\dot{Y}_C + \dot{Y}_0}{\dot{Y}_{A_0} + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C + \dot{Y}_0},$$

где U_Φ , В – фазное напряжение; $a = e^{j120} = -1/2 + j\sqrt{3}/2$ – оператор поворота (единичный вектор); $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица; \dot{Y} , См – проводимость.

При расчёте проводимостей относительно земли сопротивления должны указываться в омах (Ом), ёмкости – в фарадах (Ф):

$$\dot{Y}_{A_0} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_{\text{заз}}} + \frac{1}{R_h} + j\omega C_A = g_A + g_{\text{заз}} + G_h + jb_A, \quad \dot{Y}_0 = \frac{1}{j\omega L_0} = -jb_0,$$

$$\dot{Y}_B = \frac{1}{R_B} + j\omega C_B = g_B + jb_B, \quad \dot{Y}_C = \frac{1}{R_C} + j\omega C_C = g_C + jb_C.$$

Круговая частота $\omega = 2\pi f (314 \text{ с}^{-1} \text{ для частоты сети } f = 50 \text{ Гц})$.

Общая формула для оценки напряжения фазы A по отношению к земле при прямом или при непрямом прикосновениях для разных активных проводимостей и одинаковых ёмкостей фаз выглядит следующим образом:

$$|\dot{U}_{A0_1}| = U_h = \frac{U_\Phi}{2} \sqrt{\frac{9(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C})^2 + [\sqrt{3}(\frac{1}{R_B} - \frac{1}{R_C}) + 6\omega C_\Phi]^2}{(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_h} + \frac{1}{R_{\text{заз}}})^2 + 9\omega^2 C_\Phi^2}}.$$

Для приближенных расчётов принимают сопротивление тела человека $R_h = 1000 \text{ Ом}$, а его проводимость $G_h = 0.001 \text{ См}$.

Согласно ГОСТ 12.1.030-84 сопротивление защитного заземления корпуса электрооборудования $R_{\text{заз}}$ в системе ИТ при напряжении до 1 кВ не должно превышать 4 Ом (если мощность генератора или трансформатора больше 100 кВ·А) либо 10 Ом (если мощность меньше 100 кВ·А).

Если проанализировать все возможные случаи однофазного прямого прикосновения человека к сети с изолированной нейтралью, то нетрудно заметить, что напряжение прикосновения может быть от близкого к нулю до фазного при неаварийном режиме: $0 < U_h < U_\phi$, и только при замыкании другой фазы на землю – от фазного до линейного: $U_\phi < U_h < U_L$.

Это может быть проиллюстрировано векторными диаграммами напряжений, приведёнными на рис. 1.3.

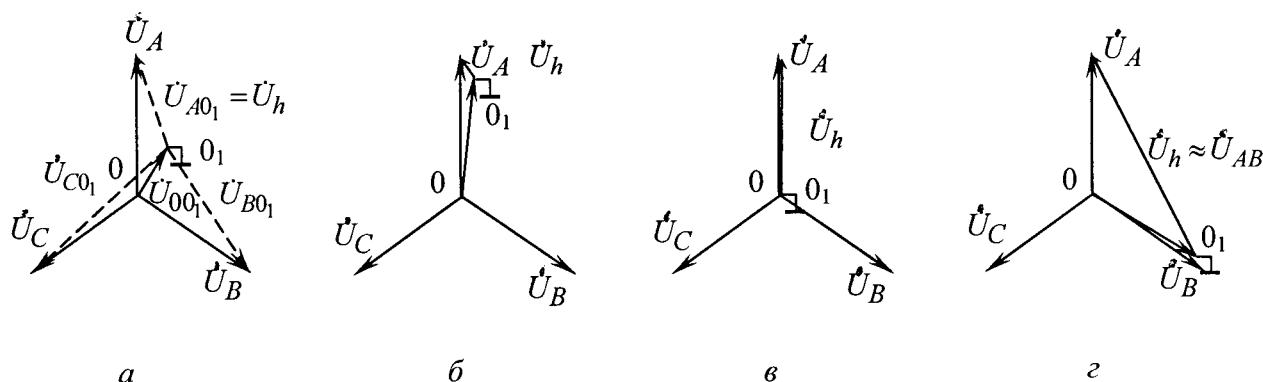


Рис. 1.3. Векторные диаграммы напряжений при однофазном прикосновении:
 а – общий случай, б – при малых проводимостях, в – при больших проводимостях, г – при замыкании фазы В на землю

Обозначения на диаграммах: $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ – векторы (комплексные значения для синусоидального тока) фазных напряжений; $\dot{U}_{A0_1}, \dot{U}_{B0_1}, \dot{U}_{C0_1}$ – напряжения фаз по отношению к земле и \dot{U}_{00_1} – напряжение смещения нейтрали источника электроэнергии по отношению к земле; 0 – точка нейтрали источника и 0_1 – точка, соответствующая потенциалу земли.

При большой ёмкости сети (рис 1.3, в) эквивалентные сопротивления фаз относительно земли равны между собой (сопротивление R_h не нарушает их симметрию), поэтому напряжения фазы относительно земли и напряжение

прикосновения равны фазному напряжению. Если ёмкость C_ϕ невелика (рис. 1.3, а), то эквивалентные сопротивления становятся неравными (меньшее у фазы A при прикосновении к ней человека); соответственно, напряжение \dot{U}_{A0_1} становится меньше фазного, а напряжения $\dot{U}_{B0_1}, \dot{U}_{C0_1}$ возрастают и становятся больше фазных. В случае замыкания фазы B на землю при небольших C_ϕ (рис. 1.3, з) напряжение $\dot{U}_{B0_1} \rightarrow 0$, а $\dot{U}_{A0_1}, \dot{U}_{C0_1} \rightarrow \dot{U}_л$, то есть напряжения возрастают почти до линейных: $U_л = \sqrt{3}U_\phi$.

Таким образом, в зависимости от значения ёмкости и состояния электрической изоляции фаз напряжение прикосновения может изменяться от безопасного значения (близкого к нулю) до напряжения, равного линейному напряжению.

Защитное заземление (преднамеренное соединение токопроводящих частей электрооборудования с землёй) как одно из необходимых дополнительных средств защиты в сетях с изолированной нейтралью должно обеспечить требуемые условия электробезопасности при непрямом прикосновении человека к корпусу приёмника электроэнергии, оказавшемуся под напряжением в результате повреждения его изоляции (при выходе из строя основной защиты). Напряжение прикосновения при этом снижается до безопасного значения вследствие перераспределения напряжений между фазами сети и землёй: за счёт малого значения сопротивления защитного заземления эквивалентное сопротивление повреждённой фазы относительно земли существенно уменьшается, соответственно, уменьшается и напряжение между этой фазой и землёй, а также увеличиваются до линейного напряжения на сопротивлениях изоляции здоровых фаз. При появлении дополнительных замыканий других фаз на землю чаще всего не удаётся снизить напряжение прикосновения и ток до допустимого значения ($U_{\text{ндоп}} = 20 \text{ В}$ и $I_{\text{ндоп}} = 6 \text{ мА}$ для промышленных условий). В этом случае требуются другие дополнительные меры защиты, к примеру, контроль изоляции фаз, использование устройств защитного отключения и т. д.

Компенсация емкостных токов подключением нейтрали к земле с помощью катушки с регулируемой индуктивностью L_0 позволяет уменьшить ток I_h в сетях с большой ёмкостью. Контур “катушка индуктивности – ёмкости фаз относительно земли” должен находиться в режиме резонанса токов.

При полной компенсации (когда $1/(\omega L_0) = 3\omega C_\phi$) ток I_h не зависит от емкостей C_ϕ и уменьшается до значения, ограничиваемого сопротивлениями изоляции фаз (рис. 1.4, *а*). При неполной компенсации (перекомпенсации или недокомпенсации) ток I_h зависит также и от результирующего реактивного тока (см. рис. 1.4, *б*, *в*).

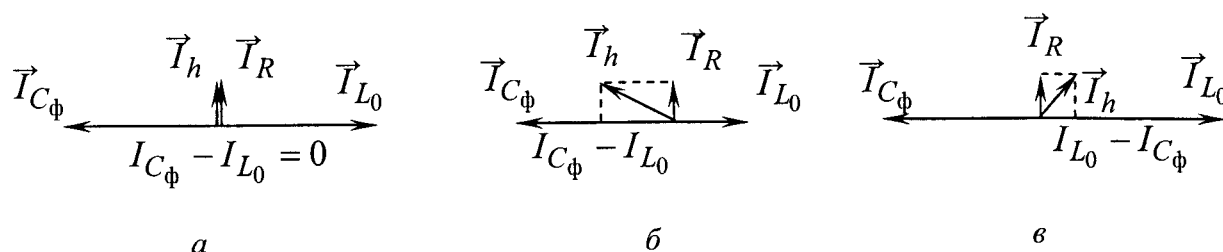


Рис. 1.4. Векторные диаграммы токов:

а – при полной компенсации, *б* – недокомпенсации, *в* – перекомпенсации

При исследовании условий безопасности на лабораторном стенде сопротивления изоляции и ёмкости фаз сети относительно земли устанавливаются переключателями S8 – S13; их значения, соответственно, 2; 10; 50; 250; 500 кОм и 0; 0.1; 0.3; 0.5; 1.0; 10 мкФ. Режим замыкания фазы *В* на землю через сопротивление $R_{зам} = 100$ Ом устанавливается выключателем S7. Однофазное прикосновение человека к фазе *А* сети или к корпусу приёмника электроэнергии имитируется подключением резистора $R_h = 1$ кОм (переключатель S4); выключателем S5 выполняется замыкание фазы *А* на корпус электроприёмника. Последний может быть заземлён через сопротивление, значения которого составляют 0.1; 1 или 100 Ом, и устанавливается переключателем S6. С помощью вольтметра *V* и переключателя S3 можно измерить напряжение смещения нейтрали, напряжения фаз сети относительно земли и напряжение прикосновения.

1.2. Содержание и порядок выполнения работы

В работе предлагается исследовать зависимость напряжения однофазного прикосновения от состояния изоляции и значения ёмкости фаз сети относительно земли, изучить принцип работы защитного заземления и ознакомиться с принципом действия устройств компенсации емкостной составляющей тока. При оформлении отчёта необходимо провести расчёты напряжения прикосновения и построить векторные диаграммы напряжений для

отдельных вариантов, заданных преподавателем. Для построения векторных диаграмм необходимо знать действующие значения фазных напряжений источника электроэнергии и напряжения фаз относительно земли. В начале строится трёхлучевая звезда фазных напряжений источника: $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ – три равных по модулю вектора сдвинуты друг относительно друга на 120° , при этом узел звезды соответствует потенциалу нейтрали источника 0. Затем на диаграмме отыскивается точка, соответствующая точке 0_1 с потенциалом земли. Она находится на пересечении трёх дуг окружностей, имеющих центры в вершинах векторов фазных напряжений и радиусы, равные модулям напряжений соответствующих фаз относительно земли. Соединив эту точку с вершинами звезды фазных напряжений, получим векторы напряжений фаз относительно земли $\dot{U}_{A0_1}, \dot{U}_{B0_1}, \dot{U}_{C0_1}$, а с точкой 0 – напряжения смещения нейтрали источника электроэнергии по отношению к земле \dot{U}_{00_1} .

Для записи результатов заготовьте таблицу по форме табл. 1.1:

Таблица 1.1

№ п/п	Параметры сети				Результаты измерений напряжений относительно земли, В				
	Ёмкость, мкФ	Сопротивления, Ом							
	C_ϕ	R_A	R_B	R_C	U_{001}	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_h
1									
...									

Установите схему стенда в исходное состояние: выключатели S2, S4, S5 и S7 выключены, выключатель S1 включён, переключатели S3, S6, S8 – S13 находятся в крайнем левом положении. Определите и запишите фазные напряжения источника электроэнергии (они равны напряжениям фаз сети относительно земли при больших значениях ёмкостей, например, 10 мкФ).

Анализ условий опасности прямого прикосновения к сети IT

1. Переключателем S4 установите режим прямого прикосновения человека к фазе A.

2. Установите переключателями S8, S10, S12 ёмкости фаз $C = 0.1$ мкФ и, изменяя переключателями S9, S11 и S13 одновременно сопротивления изоляции фаз от минимального (положение 1) до максимального (положение

5), измерьте напряжения смещения нейтрали, соответствующих фаз относительно земли и напряжение прикосновения. Результаты занесите в табл. 1.1.

3. Установите переключателями S8, S10, S12 другие ёмкости фаз (0.3; 0.5; 1.0 и 10.0 мкФ) по указанию преподавателя и повторите измерения п. 2.

4. Получите у преподавателя задание на расчёт напряжения прикосновения при несимметричных активных сопротивлениях фаз и определите его экспериментально для последующего сравнения результатов.

5. Установите выключателем S7 замыкание фазы *B* на землю. При ёмкости $C = 0.5$ мкФ и сопротивлениях фаз 2 кОм измерьте напряжения, убедившись, что напряжение прикосновения становится больше фазного. Тот же эксперимент проведите с другими сопротивлениями фаз (по указанию преподавателя, например, 50 или 500 кОм).

6. Отключите выключателем S7 замыкание фазы *B* на землю.

Изучение условий безопасности при непрямом прикосновении

1. Переключателем S4 установите режим непрямого прикосновения человека к фазе *A*, а выключателем S5 замкните фазу на корпус. Установите переключателями S8, S10, S12 ёмкости фаз $C = 10$ мкФ, а переключателями S9, S11 и S13 сопротивления изоляции фаз 50 кОм. Измерьте напряжения сначала при отсутствии дополнительной защиты, а после этого при использовании защитного заземления для всех возможных сопротивлений 0.1; 1 и 100 Ом (переключатель S6) и занесите их в табл. 1.1. Убедитесь, что напряжение прикосновения сильно уменьшается при наличии заземления.

2. Установите выключателем S7 замыкание фазы *B* на землю. При ёмкости $C = 0.5$ мкФ и сопротивлениях фаз 2 кОм повторите измерения по п. 1, убедившись, что напряжение прикосновения становится больше, чем без замыкания. Тот же эксперимент проведите с другими сопротивлениями фаз (например, 500 кОм). Отключите S7 замыкание фазы *B* на землю.

Анализ условий опасности прикосновения к сети СТ

1. Переключателем S4 установите режим прямого прикосновения человека к фазе *A*.

2. Установите переключателями S8, S10, S12 ёмкости фаз $C = 1$ мкФ и переключателями S9, S11 и S13 сопротивления изоляции фаз 50 кОм, измерьте напряжения смещения нейтрали, фаз относительно земли и напряжение прикосновения. Результаты занесите в табл. 1.1.

3. Выключателем S2 включите между нейтралью источника и землёй реактор L с регулируемой индуктивностью. Измерьте и запишите напряжение прикосновения при трёх значениях индуктивности реактора (устанавливаются переключателем S14).

4. По указанию преподавателя установите другие ёмкости и сопротивления изоляции фаз; измерьте напряжения прикосновения; выполните расчёт и сравните с экспериментом. Результаты занесите в табл. 1.1.

1.3. Содержание отчёта

В отчёте должны содержаться следующие данные:

- цель работы;
- описание основных исследуемых физических величин, видов воздействия тока на человека, предельно допустимых значений напряжений и токов;
- перечень проведённых измерений с результатами в табличной и в графической формах (зависимости напряжения прикосновения от сопротивления и ёмкости фаз относительно земли и от сопротивления заземления);
- электрические схемы исследуемых средств защиты с описанием принципов защиты;
- расчётные значения напряжения прикосновения и тока для выборочных вариантов прямого и непрямого прикосновений, векторные диаграммы напряжений для них (по указанию преподавателя), оценка погрешности результатов измерений и расчётов;
- подробные выводы (объёмом не менее одной страницы) по результатам работы.

1.4. Контрольные вопросы

1. Какие параметры электрической сети определяют опасность поражения током в случае прямого контакта с токоведущими частями?
2. Какой способ защиты от поражения электрическим током лежит в основе действия защитного заземления?
3. Какой способ защиты от поражения электрическим током реализует катушка с регулируемой индуктивностью?
4. Достаточно ли только одного использования защитного заземления в системах IT?

Лабораторная работа 2

Цели работы:

- исследование режимов однофазного прикосновения человека;
- изучение принципа действия зануления;
- ознакомление с опасностями непрямого прикосновения при использовании защитного заземления и зануления.

2.1. Общие сведения

Согласно существующим правилам электроустановки напряжением до 1000 В жилых, общественных и промышленных зданий, а также наружные установки, должны получать питание от источника (генератора или трансформатора), как правило, с глухозаземлённой нейтралью. Общий вид таких сетей для анализа безопасности приведён на рис. 2.1.

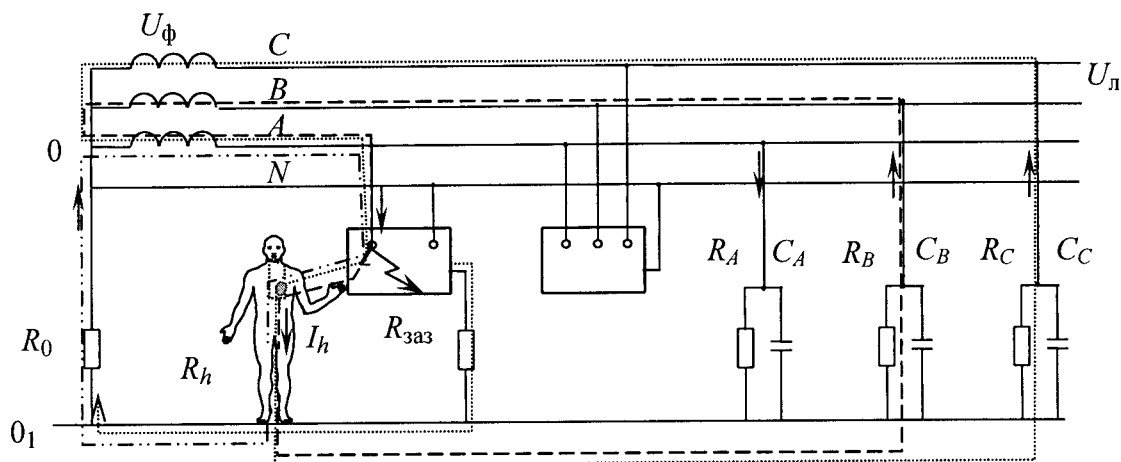


Рис. 2.1. Электрическая схема сети для анализа безопасности с контурами возможных токов

Системы, состоящие из сети и электроприёмников, условно могут быть обозначены как TN–C, TN–S и TN–C–S. Первая буква означает отношение нейтрали к земле: нейтраль источника соединена с землёй (Т – terra), то есть выполнено рабочее заземление, а вторая буква – отношение корпуса электроприёмника к нейтрали: по существующим правилам электробезопасности

он должен быть соединён с нейтралью (N – neutro). Обозначение N–C означает, что нейтральный и защитный провода являются общими; N–S – нейтральный и защитный провода отделены друг от друга (C – commune, S – separate); N–C–S – защитный провод на каком-то участке сети отделён от общего. **Применение защитного заземления в такой системе запрещено!**

Трёхфазные четырёхпроводные сети с заземлённой нейтралью имеют большое экономическое преимущество: наряду с трёхфазными приёмниками напряжением 380 В (станки, насосы, вентиляторы и другое силовое оборудование) от них могут получать питание без применения трансформаторов и однофазные приёмники напряжением 220 В (сети освещения, переносные потребители и т. п.). По условиям электробезопасности данная сеть является не лучшей, поскольку в ней может создаваться целый ряд опасных ситуаций.

Прямое однофазное прикосновение в такой системе очень опасно. Напряжение прикосновения определяется в основном значением фазного напряжения U_ϕ из-за малого сопротивления рабочего заземления нейтрали R_0 (нормируемое значение $R_0 \leq 4$ Ом для 220 В) и практически не зависит от сопротивлений и ёмкостей фаз относительно земли:

$$U_h = U_\phi \frac{R_h}{R_0 + R_h} \approx U_\phi.$$

При замыкании в такой сети какой-либо фазы на землю, например фазы C, напряжение прикосновения становится больше фазного, но может быть скорее всего ближе к фазному, чем к линейному:

$$\dot{U}_h \approx U_\phi \frac{(1-a)g_{\text{зам}}C + g_0}{g_{\text{зам}}C + g_0} > U_\phi.$$

Здесь $a = e^{j120} = -1/2 + j\sqrt{3}/2$ – оператор поворота (единичный вектор); $j = \sqrt{-1}$; $g_0 = 1/R_0$, $g_{\text{зам}} = 1/R_{\text{зам}}$, Cм (Cм = 1/Ом) – соответственно, активные проводимости относительно земли рабочего заземления и замыкания.

Прикосновение к корпусу электрооборудования, даже исправного, не всегда оказывается безопасным. Часто люди удивляются и не могут понять, почему при прикосновении к корпусу системного блока, утюга или к ручке холодильника бьёт электрическим током, хотя электрооборудование исправно, и кроме этого они сделали дополнительную защиту – заземлили или занулили корпус, как это требуют правила устройства электроустановок (ПУЭ).

Ответы на эти вопросы вам следует получить, выполняя лабораторную работу.

Как упоминалось, защитное заземление без зануления корпуса запрещено, однако что делать, если в инструкции на зарубежное оборудование данная позиция записана как обязательное условие безопасности. Сделав это, вы подвергнете опасности не только свою жизнь, но и жизнь других людей. При выполнении защитного заземления с соблюдением требований к заземляющему устройству ($R_{\text{зaz}} = 4 \text{ Ом}$) напряжение может быть уменьшено максимум в два раза, а если заземлить корпус на элементы (батареи отопления, водопроводные трубы или другие металлические конструкции), случайным образом связанные с землёй (например, $R_{\text{зaz}} = 100 \text{ Ом}$), то напряжение прикосновения практически не будет отличаться от фазного напряжения:

$$U_h = U_{\text{ф}} \frac{R_{\text{зaz}}}{R_0 + R_{\text{зaz}}} = (0.5 - 0.96)U_{\text{ф}}.$$

Опасность использования защитного заземления в электроприёмнике не ограничивается тем электроприёмником, где оно применено. Гораздо более опасным оказывается прикосновение к правильно занулённым корпусам исправных электроприёмников! При фазном напряжении 220 В на них появится напряжение (от осязаемого 9 В до опасного 110 В), которое определяется падением напряжения на рабочем заземлении R_0 :

$$U_{00_1} = U_{\text{ф}} \frac{R_0}{R_0 + R_{\text{зaz}}} = (0.04 - 0.5)U_{\text{ф}}.$$

Одной из мер защиты от поражения током в режиме замыкания фазы на корпус является зануление – преднамеренное электрическое соединение корпуса с нулевым проводом. При пробое изоляции на корпус приёмника по петле “фаза – нуль” протекает ток короткого замыкания, который должен вызывать срабатывание максимальной токовой защиты (автоматического выключателя или предохранителя) и отключение повреждённого приёмника. При использовании системы TN–С могут возникнуть и другие опасные для жизни людей ситуации, которые изучаются в лабораторной работе.

Лабораторный стенд, внешний вид которого представлен на рис. 2.2, имитирует трёхфазную сеть, работающую в режиме с глухозаземлённой нейтралью.

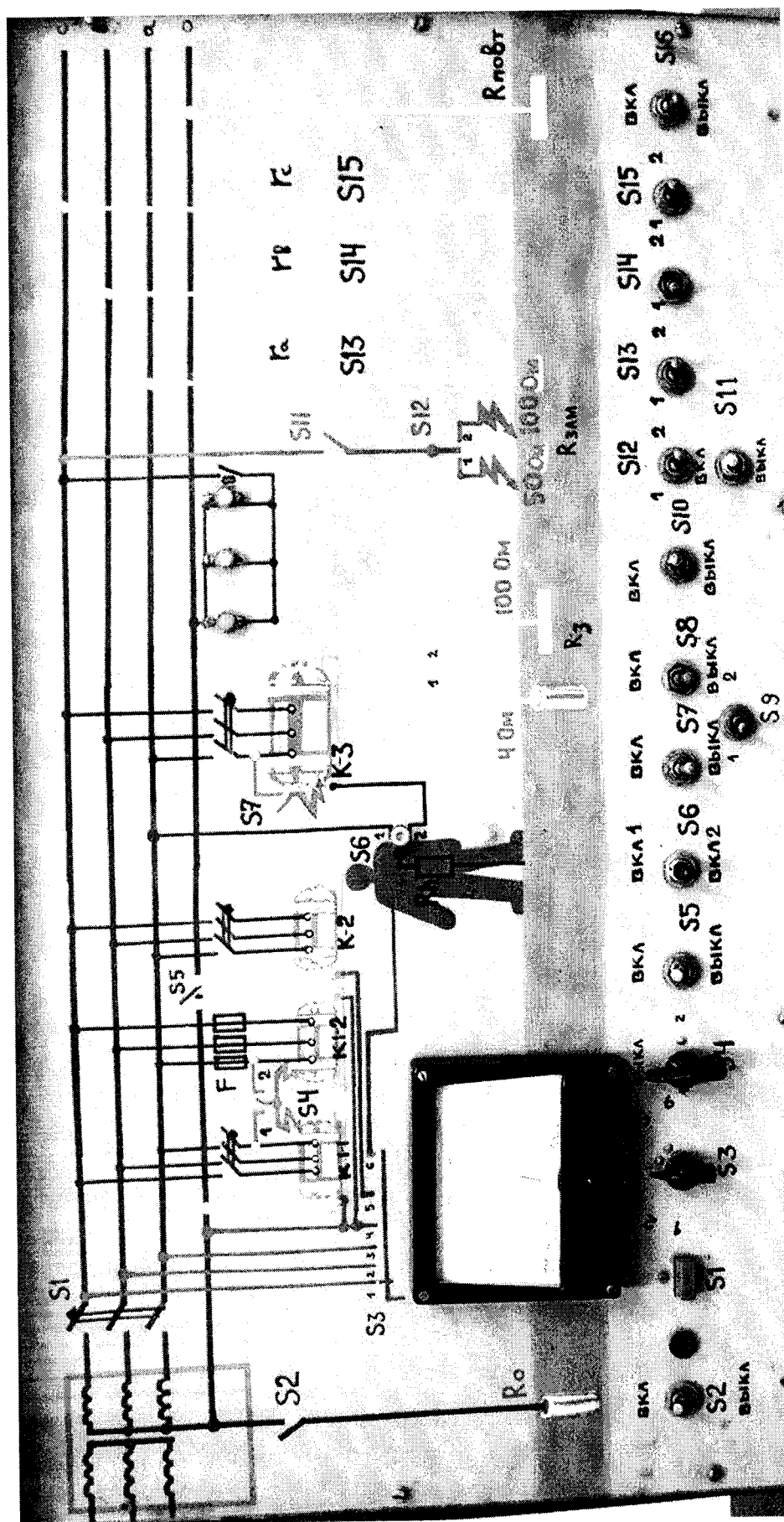


Рис. 2.2. Внешний вид стенда

Резисторы R_A, R_B, R_C (5 или 150 кОм) имитируют сопротивления изоляции фаз относительно земли и устанавливаются переключателями S13, S14 и S15, а резистор $R_{\text{зам}}$ (сопротивление замыкания фазы C на землю 50 или 100 Ом) устанавливается переключателем S12; резистор $R_{\text{повт}}$ (сопротивление повторного заземления нулевого провода 10 Ом) устанавливается переключателем S12. В сети имеется осветительная нагрузка Н, подключаемая к фазе с выключателем S10. Корпуса приёмников электроэнергии К1 и К2 занулены; корпус К3 может быть только заземлён через $R_{\text{зaz}}$ (сопротивление 4 или 100 Ом) с помощью выключателя S8. Режим однофазного прикосновения человека имитируется подключением переключателем S6 сопротивления R_h к фазе А или к корпусу К3; режим замыкания фазы А на корпус К3 устанавливается выключателем S7. Вольтметр V , снабжённый переключателем S3, служит для измерения напряжений фаз сети и корпусов приёмников относительно земли, а также напряжения смещения нейтрали.

2.2. Содержание и порядок выполнения работы

В работе предлагается количественно оценить напряжение, под которым окажется человек при однофазном прикосновении к исправной и к неисправной сетям; изучить опасности, возникающие при заземлении корпусов приёмников электроэнергии; изучить принцип действия зануления корпусов; рассмотреть различные случаи выноса опасного потенциала на нулевой провод (на занулённый корпус) при неправильном выполнении зануления или аварийных режимах сети. При оформлении отчёта необходимо провести расчёты напряжения прикосновения и построить векторные диаграммы напряжений для отдельных вариантов, заданных преподавателем (методика построения векторных диаграмм приведена в лабораторной работе 1).

Для записи результатов измерений до начала выполнения лабораторной работы заготовьте таблицу по форме табл. 2.1:

Таблица 2.1

№ п/п	Значение сопротивления, Ом					Напряжения фаз и корпусов относительно земли, В					
	R_A	R_B	R_C	$R_{\text{зам}}$	$R_{\text{зaz}}$	U_{A01}	U_{B01}	U_{C01}	U_{K1}, U_0	U_{K2}	U_{K3}, U_h
1											
...											

Установите схему стенда в исходное состояние: выключатели S1, S2, S5, S10 включены, выключатели S7, S8, S11, S16 выключены, переключатели S4, S6 находятся в нейтральном положении. Определите фазные напряжения источника электроэнергии: в этом состоянии схемы они равны напряжениям соответствующих фаз относительно земли (S3 в положениях 1 – 3) и примерно одинаковы. Убедитесь, что напряжение смещения нейтрали (напряжение на нулевом проводе по отношению к земле) равно нулю. Если это условие не выполняется даже при отключённом питании, установите стрелку вольтметра в нулевое положение.

Анализ условий опасности прямого прикосновения в системе TN

1. Переключателем S6 установите режим прямого прикосновения человека к фазе A.

2. Установите переключатели S13, S14, S15 в левое положение, измерьте напряжения соответствующих фаз относительно земли, напряжение на корпусах и напряжение прикосновения. Результаты занесите в табл. 2.1.

3. Установите переключатели S13, S14, S15 в правое положение с другим сопротивлением фаз, измерьте и запишите результаты в табл. 2.1. Убедившись, что они не меняются, объясните преподавателю, почему это так.

4. Установите выключателем S11 замыкание фазы C на землю. Измерьте напряжения и запишите в табл. 2.1 результаты при двух возможных сопротивлениях замыкания (50 и 100 Ом устанавливаются переключателем S12). Убедитесь, что $U_h > U_{\phi}$.

Оценка опасности заземления корпусов при непрямом прикосновении

1. Переключателем S6 установите режим прикосновения человека к корпусу K3, а выключателем S7 замкните фазу на корпус (выключатель S11 должен быть отключён). Убедитесь, что напряжение при непрямом прикосновении такое же, как и напряжение при прямом прикосновении к фазе A.

2. Выключателем S8 заземлите корпус, переключателем S9 установите $R_{\text{зaz}} = 4$ Ом. Измерьте и занесите в табл. 2.1 значения соответствующих напряжений. Убедитесь, что при наличии заземления напряжение прикосновения уменьшается примерно до половины фазного напряжения, а на корпусах K1 и K2 появляется большое напряжение (пересчитайте напряжение на корпусе для случая фазного напряжения, равного 220 В). Сделайте для себя вывод о недопустимости использования только одного защитного заземления.

3. Переключателем S9 установите сопротивление заземления 100 Ом. Измерьте напряжения и занесите их в табл. 2.1, убедившись, что напряжение прикосновения становится близким к фазному, а на нулевом проводе значительно уменьшается. Ответьте на вопрос, почему в помещении запрещено заземлять корпуса на батареи центрального отопления, водоснабжения или другие элементы, электрически плохо связанные с землёй.

4. Выключателем S7 снимите замыкание фазы на корпус.

Изучение принципа действия зануления

1. Переведя переключатель S4 в положение 1, замкните фазу A на занулённый корпус K1-1. Убедитесь в автоматическом снятии напряжения со стенда (вольтметром измерьте напряжения во всех положениях переключателя S3) и запишите полученные результаты в табл. 2.1.

2. Нарисуйте схему замещения режима и покажите на ней контур тока короткого замыкания и аппаратуру защиты, которая должна была сработать.

3. Переключатель S4 установите в среднее положение.

Оценка опасности зануления корпусов при непрямом прикосновении

1. *Случай неправильно выбранной (завышенной) уставки срабатывания максимальной токовой защиты.* Переведя переключатель S4 в положение 2, замкните фазу A на занулённый корпус K1-2. В данном случае ток замыкания недостаточен для срабатывания предохранителя F: он не отключил повреждённый электроприёмник, автоматическое снятие напряжения со стенда не произошло. При этом напряжение на нулевом проводе и, соответственно, на всех корпусах неповреждённых электроприёмников K1-2 и K2 оказывается большим. Запишите результаты. Переключатель S4 установите в среднее положение, отключив замыкание фазы A на корпус K1-2.

2. *Случай обрыва нулевого провода или неправильной установки в нём выключателя нагрузки.* Отключите выключателем S5 осветительную нагрузку Н. Измерьте напряжения на занулённых корпусах K1 и K2 (возможное напряжение прикосновения при касании их человеком) при отключённом и включённом S10. С помощью S16 включите повторное заземление нулевого провода. Повторите измерения напряжений. Оцените опасность данного случая для жизни человека, и на основе анализа схемы замещения выявите причину возникновения напряжений на корпусах и их перераспределение при включении $R_{\text{повт}}$. Отключите S16 и включите S5.

3. *Случай обрыва цепи заземления нейтрали источника при наличии замыкания фазы на землю.* Выключателем S11 замкните фазу C на землю и S2 отключите рабочее заземление. Измерьте напряжения на занулённых корпусах K1 и K2 исправных приёмников относительно земли при отключённом повторном заземлении нулевого провода. Повторите опыт, включив S16. Результаты занесите в табл. 2.1.

2.3. Содержание отчёта

В отчёте должны содержаться следующие данные:

- цель работы;
- описание основных исследуемых физических величин, видов воздействия тока на человека, предельно допустимых значений напряжений и токов;
- перечень проведённых измерений с результатами в табличной форме;
- электрические схемы исследуемых средств защиты с описанием принципов защиты и их особенностей;
- расчётные значения напряжения прикосновения и тока, векторные диаграммы напряжений для случаев прямого прикосновения с замыканием и без замыкания фазы на землю и непрямого прикосновения при различных дополнительных защитах (по указанию преподавателя), оценка погрешности результатов измерений и расчётов;
- подробные выводы (объёмом не менее одной страницы) по результатам работы.

2.4. Контрольные вопросы

1. Как влияет сопротивление изоляции сети на ток, протекающий через человека, при однофазном прикосновении?
2. Почему нельзя применять защитное заземление в четырёхпроводных сетях с заземлённой нейтралью? Сравнить с сетями с изолированной нейтралью.
3. Какие опасности возникают при одновременном устройстве в сети зануления и защитного заземления?
4. Какие опасности возникают при замыкании фазного провода на землю?
5. Какова роль повторного заземления в случаях обрыва нулевого провода или обрыва цепи рабочего заземления нейтрали?

Лабораторная работа 3

КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Цель работы: ознакомление с методами контроля электрической изоляции сетей напряжением до 1000 В.

3.1. Общие сведения

Контроль изоляции производится с целью своевременного выявления эксплуатационных повреждений, принятия необходимых мер для устранения неисправности и предупреждения возможной аварии либо несчастного случая. Он осуществляется периодическим измерением сопротивления изоляции или непрерывно. В схеме любого мегомметра содержатся последовательно соединённые источник измерительного напряжения $U_{изм}$, измеритель тока mA (с цифровой или стрелочной индикацией) и ограничительный резистор $R_{доб}$. Эта цепь подключается между землей и контролируемым участком электроустановки (рис. 3.1).

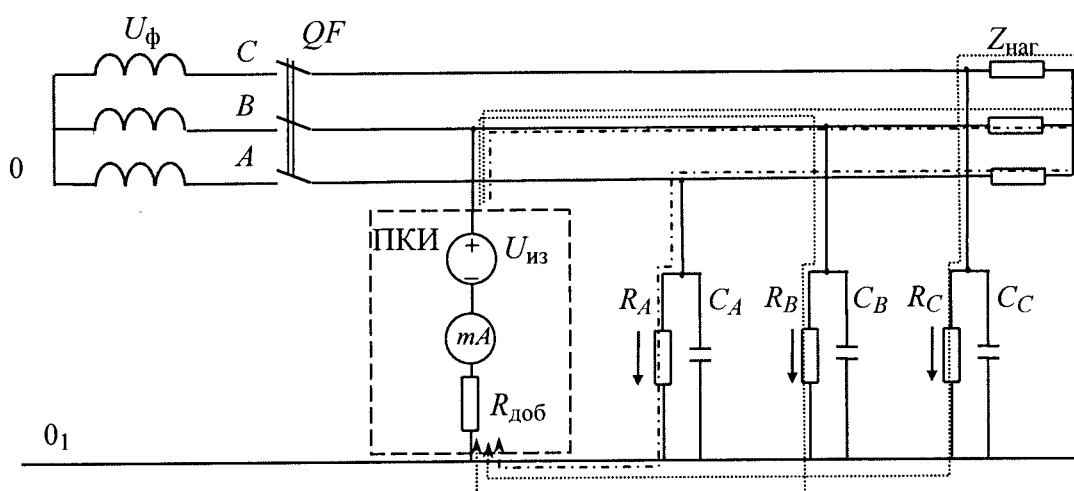


Рис. 3.1. Схема измерения эквивалентного сопротивления изоляции с помощью прибора контроля изоляции (ПКИ) или мегомметра

Обязательным условием получения достоверной информации о состоянии изоляции является применение измерительного напряжения, соизмеримого по значению с рабочим напряжением сети.

Переносной мегомметр. Определение сопротивления изоляции электрооборудования и электрических сетей переносным мегомметром произво-

дится только при снятом рабочем напряжении. При отсутствии гальванической связи между фазными проводами можно измерить сопротивление изоляции одной из фаз относительно земли (R_A , R_B , R_C) или между фазами. При наличии гальванической связи между фазами (например, когда подключён трёхфазный двигатель) измеряется эквивалентное сопротивление изоляции сети R относительно земли:

$$R = \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} \right)^{-1}.$$

Ток в измерительной цепи $I_{\text{изм}} = U_{\text{изм}} / (R_{\text{вн}} + R)$, где $R_{\text{вн}}$ – внутреннее сопротивление мегомметра (микроамперметра, источника измерительного напряжения и ограничительного резистора), R – измеряемое сопротивление изоляции. При постоянстве $U_{\text{изм}}$ и $R_{\text{вн}}$ ток $I_{\text{изм}}$ является однозначной функцией сопротивления изоляции, и поэтому прибор градуируется в мегаомах или килоомах.

В качестве источника измерительного напряжения могут выступать аккумулятор с преобразователем напряжения или электромашинный генератор с ручным приводом.

Индукторный мегомметр. Для производства измерений зажим Л мегомметра (рис. 3.2) необходимо подключить к фазе сети (к токоведущей части контролируемого электротехнического изделия), а зажим 3 – к заземлителю (корпусу). Напряжение, развиваемое генератором, прикладывается к контролируемой изоляции, и через неё протекает ток, зависящий от значения сопротивления изоляции. Так как напряжение генератора может изменяться (привод его ручной, и поэтому скорость вращения якоря не стабилизирована), то для повышения точности измерений в мегомметре использован не микроамперметр, а логометр, имеющий две подвижные катушки. Катушка 1 через резистор R_1 подключается к якору генератора Γ , то есть ток в ней зависит от текущего значения измерительного напряжения. Катушка 2 включена последовательно с ограничительным резистором R_2 и измеряемым сопротивлением изоляции R , то есть ток I_2 в ней зависит как от текущего

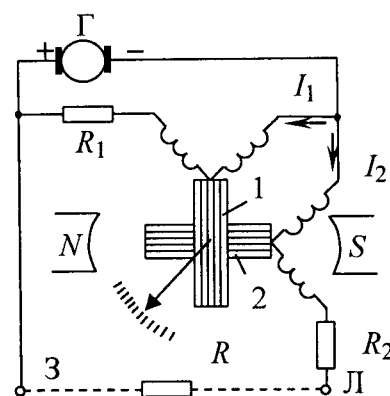


Рис. 3.2. Принципиальная схема индукторного мегомметра

значения измерительного напряжения, так и от измеряемого сопротивления изоляции. Катушки 1 и 2 жёстко скреплены между собой, а магнитная система прибора сконструирована таким образом, чтобы их угол поворота зависел только от значения сопротивления изоляции. Рекомендуемая частота вращения рукоятки 2 об/с.

Асимметр. Непрерывный контроль состояния изоляции в сетях с изолированной нейтралью может осуществляться с помощью асимметра. Основным элементом асимметра является фильтр напряжений нулевой последовательности. Последний представляет собой соединенные в звезду резисторы $R_1 - R_3$ (рис. 3.3, а), либо конденсаторы, вольтметры, сигнальные лампы и другие элементы с равными значениями их сопротивлений. В асимметре общая точка звезды присоединяется к заземлителю 0_1 через обмотку реле напряжения K_1 . Обязательным условием является равенство сопротивлений в плечах фильтра. Тогда потенциал общей точки (узла фильтра) равен потенциалу нейтрали источника электроэнергии 0. Поэтому узел фильтра часто называют искусственной нейтралью.

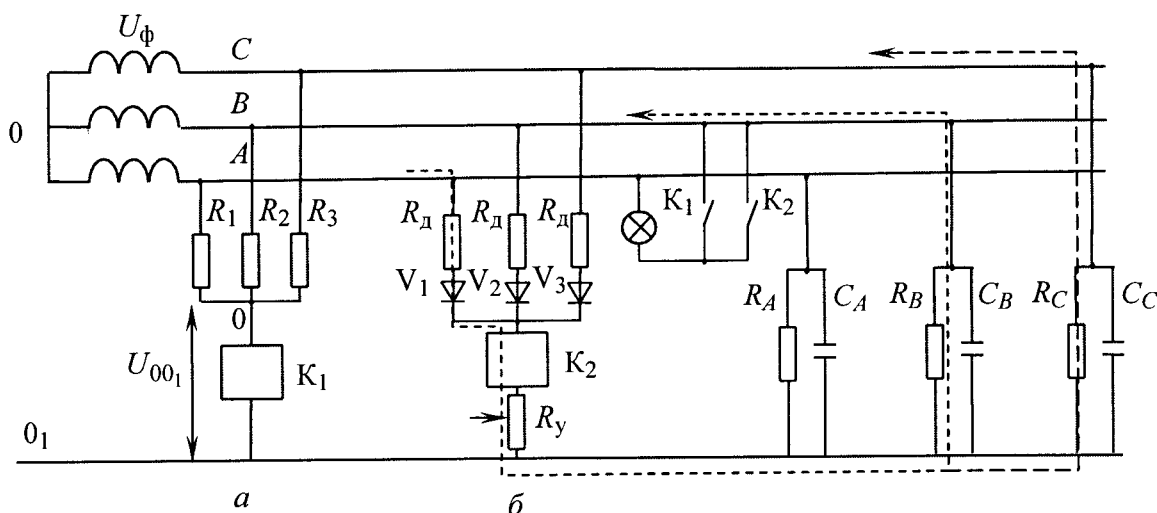


Рис. 3.3. Измерение эквивалентного сопротивления изоляции с помощью:
а – асимметра, б – схемы с вентилями

Если сопротивления изоляции фаз равны, то потенциалы земли и нейтрали одинаковы, U_{00_1} равно нулю. При снижении сопротивления изоляции одной из фаз сети, например R_A , потенциал узла фильтра становится отличным от потенциала заземлителя. Когда $R_A < 0.25R_\phi$, U_{00_1} достигает значения $0.5U_\phi$, срабатывает реле K_1 , включая световую сигнализацию.

Схема с вентилями. Три полупроводниковых вентиля V_1, V_2, V_3 подключаются к фазам контролируемой сети. Общая точка вентиляей соединяется с землёй через обмотку токового реле K_2 (рис. 3.3, б) либо через микроамперметр постоянного тока, проградуированный в килоомах.

Вентили находятся под напряжениями, сдвинутыми по фазе на 120° , поэтому всегда открыт только один вентиль – тот, к которому приложено большее положительное напряжение. Соответственно, через обмотку реле протекает пульсирующий ток, среднее значение которого зависит от эквивалентного сопротивления изоляции сети, а форма – от соотношения сопротивлений изоляции фаз. Сопротивление R_y изменяет уставку срабатывания реле. Дополнительные сопротивления R_d ограничивают ток до безопасного для работы вентиляей значения.

Схема с вентилями применяется в сетях с изолированной нейтралью для непрерывного контроля состояния изоляции и сигнализирует об уменьшении сопротивления изоляции ниже установленной нормы.

Щитовой мегомметр. Щитовые мегомметры применяются в сетях с изолированной нейтралью для непрерывного измерения сопротивления изоляции и обычно работают с применением вспомогательного источника постоянного напряжения $U_{из}$ (прибор ПКИ на рис. 3.1). Для защиты измерительной цепи от воздействия переменного напряжения между фазой сети и землей в ПКИ параллельно источнику измерительного напряжения и измерителю тока должен быть установлен конденсатор (на схеме не показан).

Контроль сопротивления изоляции в сетях с глухим заземлением нейтрали. Основным элементом схемы является трансформатор тока нулевой последовательности (ТТНП). В качестве его первичной обмотки используют три фазных провода контролируемой сети или провод заземления нейтрали источника. К вторичной обмотке подключается измерительное или сигнализирующее устройство (амперметр, обмотка реле и т. п.).

При равенстве сопротивлений изоляции фаз сети потенциалы нейтрали источника и земли равны $U_0 = U_{0_1}$ ($U_{00_1} = 0$), поэтому токи нулевой последовательности отсутствуют. В случае несимметричного изменения сопротивления изоляции фаз $U_{00_1} \neq 0$, поэтому в первичной обмотке ТТНП протекает ток нулевой последовательности, а во вторичной обмотке наводится ЭДС, которую используют для сигнализации о замыканиях на землю.

Контроль изоляции в сетях двойного рода тока. В настоящее время практически в любой сети переменного тока, содержащей приёмники электроэнергии, имеются полупроводниковые выпрямители, состоящие из нескольких диодов, включённых по мостовой схеме V_1 , для питания нагрузки постоянного тока R_H . Нагрузкой постоянного тока могут быть силовые приёмники электроэнергии (регулируемые электроприводы) или маломощные элементы устройств управления и контроля (катушки контакторов в магнитных пускателях). Таким образом получается сеть двойного рода тока, в которой цепи переменного тока гальванически связаны с цепями постоянного тока (рис. 3.4).

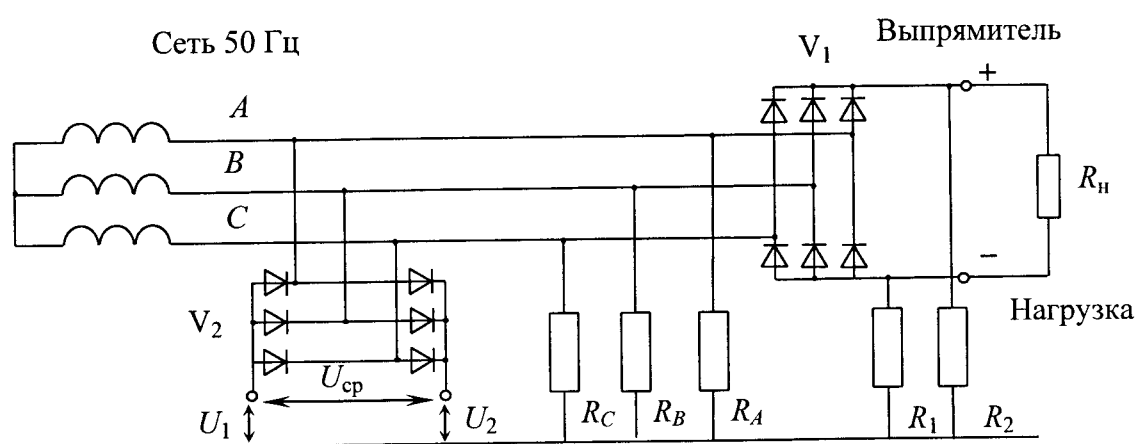


Рис. 3.4. Сеть двойного рода тока

Эквивалентное сопротивление изоляции этой сети зависит от пяти составляющих, три из которых находятся под действием переменного напряжения на стороне 50 Гц (сопротивления изоляции фаз относительно земли), а две — под действием выпрямленного напряжения (сопротивления изоляции полюсов относительно земли R_1 и R_2):

$$R = \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1}.$$

Несимметрия состояний изоляции полюсов на стороне постоянного тока в сети двойного рода тока ($R_1 \neq R_2$) приводит к недостоверной работе традиционных приборов контроля изоляции сетей переменного тока из-за появления на стороне последнего постоянной составляющей напряжения фаз относительно земли U_H :

$$U_{\Pi} = \frac{3\sqrt{3}U_m}{2\pi} \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} \frac{R_{\sim}}{R_{=} + R_{\sim}},$$

где U_m – амплитуда фазного напряжения; R_1 и R_2 – сопротивления изоляции полюсов постоянного тока; $R_{=}$ и R_{\sim} – эквивалентные сопротивления изоляции цепей постоянного и переменного токов.

Постоянное напряжение включается параллельно вспомогательному источнику напряжения щитовых мегомметров, и ток в измерительной цепи этих приборов будет зависеть от взаимодействия этих двух напряжений. Так как постоянное напряжение может изменять значение и знак зависимости от соотношения сопротивлений R_1 и R_2 , измеряемый ток также будет изменяться независимо от значения эквивалентного сопротивления изоляции сети. Аналогичную погрешность имеют и приборы, основанные на других принципах измерения.

Чтобы исключить такую методическую погрешность, был предложен способ, который изучается в настоящей лабораторной работе. Вольтметром магнитоэлектрической системы измеряют напряжение $U_{\text{ср}}$ на выходе вспомогательного выпрямительного моста V2, а затем напряжения U_1 и U_2 между отрицательным и положительным полюсами этого моста и землёй. Значение эквивалентного сопротивления изоляции сети определяется по формуле

$$R \approx r_{\text{вн}} \frac{U_{\text{ср}}(U_1 - U_2)}{U_1 + U_2},$$

где $r_{\text{вн}}$ – внутреннее сопротивление вольтметра (~ 50 кОм).

Лабораторный стенд (рис. 3.5) имитирует трёхфазную сеть, содержащую источник электроэнергии с фазным напряжением 24 В и приёмники переменного тока (лампочки). Через выпрямительный мост V5 к сети выключателем S18 может быть подключена нагрузка постоянного тока $R_{\text{н}}$. Напряжение на стенд подается выключателем S1, нагрузка переменного тока подключается выключателем S16.

Значения сопротивлений постоянного тока устанавливаются двухпозиционными переключателями S13 и S14 (100 и 10 кОм) – соответственно в положении 1 и 2, а сопротивлений изоляции фаз изменяются трёхпозиционными переключателями S9, S10 и S11 (до начала выполнения работы они неизвестны).

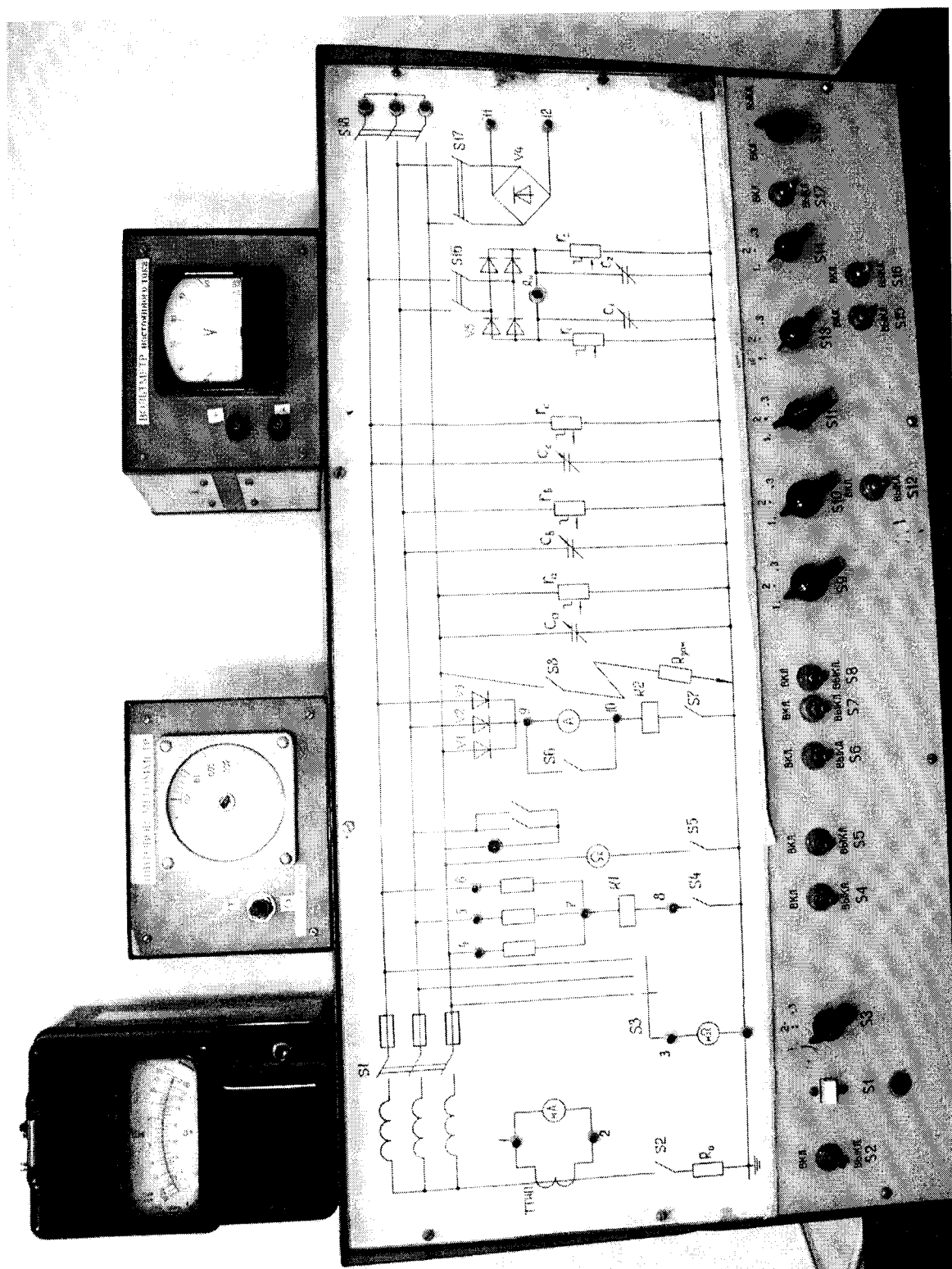


Рис. 3.5. Внешний вид стенда

Включение S8 имитируется замыкание фазы *A* на землю через сопротивление замыкания $R_{\text{зам}} = 100 \text{ Ом}$. Конденсаторы по 10 мкФ имитируют ёмкости фаз и полюсов относительно земли и подключаются с помощью выключателей S12 и S15 (указаны на стенде).

Переносной мегомметр подключается между клеммой “Земля” и соответствующей фазой контролируемой сети (через клемму 3 и переключатель S3). Щитовой мегомметр мΩ подключён между фазой *A* и землёй; он включается выключателем S5.

Схема с асимметром содержит резисторы $R_1 - R_3$ равных значений, соединённых в звезду, реле напряжения K1, клеммы 4 – 8 для подключения переносного вольтметра и выключатель S4 для подключения схемы. Схема с вентилями содержит три диода V1, V2, V3, токовое реле K2, клеммы 9 и 10 для подключения переносного амперметра постоянного тока *A* и выключатель S7 для включения схемы в целом. Контакты реле K1 и K2 использованы для включения сигнальной лампы. Устройство, содержащее выпрямительный мост V4, клеммы 11 и 12 для подключения переносного вольтметра магнитоэлектрической системы и выключатель S17, служит для правильного определения сопротивления фаз относительно земли в цепи двойного рода тока.

При разомкнутом выключателе S2 сеть работает в режиме с изолированной нейтралью, при замкнутом – в режиме с глухим заземлением нейтрали, имеющим сопротивление рабочего заземления $R_0 = 4 \text{ Ом}$.

Схема с трансформатором тока нулевой последовательности, первичная обмотка которого включена в цепь заземления нейтрали источника электроэнергии, содержит переносный миллиамперметр переменного тока *mA*, подключаемый к клеммам 1 и 2.

3.2. Содержание и порядок выполнения работы

В работе предлагается овладеть навыками обращения с переносным мегомметром; изучить достоинства и недостатки методов контроля изоляции, основанных на использовании рабочего напряжения сети в качестве оперативного (схема с асимметром и схема с тремя вентилями); ознакомиться с приборами, содержащими вспомогательный источник оперативного напряжения; ознакомиться с особенностями работы приборов контроля изоляции в сетях двойного рода тока и с принципом контроля изоляции сетей с глухим заземлением нейтрали источника.

Для записи результатов измерений подготовьте таблицы по форме табл. 3.1 – 3.3:

Таблица 3.1

Переключатель	Измеренное сопротивление, кОм, в положениях переключателя		
	1	2	3
S9			
S10			
S11			

Таблица 3.2

Номер режима	Положение переключателей				Расчёт по формуле, кОм	Измерение мегомметром, кОм		Измеренные напряжения при использовании асимметра, В				Ток, мА, при использовании схемы	
	S9	S10	S11	S8		переносным	щитовым	U_{00_1}	U_{A0_1}	U_{B0_1}	U_{C0_1}	с ветвями	с ТНП
1	1	1	1	Выкл.									
2	2	2	2	То же									
3	3	3	3	– " –									
4	1	1	3	– " –									
5	1	3	1	– " –									
6	3	1	1	– " –									
7	1	3	1	Вкл.									

Таблица 3.3

Номер режима	Сопротивления изоляции, кОм		Сопротивление изоляции сети, кОм		Погрешность измерения мегомметром δ , %	Измерения с использованием выпрямительного моста V4				
	R_1	R_2	расчётное	измеренное мегомметром		Напряжение, В			Сопротивление, кОм	Погрешность δ , %
						U_{cp}	U_1	U_2	R	
1	100	100								
...										

Перед началом измерений сопротивления изоляции каждым из исследуемых методов стенд должен приводиться в исходное состояние: все выключатели устанавливаются в положение “Выкл.”.

Измерение переносным мегомметром

1. При выключенном S1 подключите его к клеммам 3 и “Земля”.

2. Установите переключатель S3 в положение 1 и при отключённой нагрузке (выключены S16 и S18) измерьте три возможных значения сопротивления изоляции фазы A (изменяются переключателем S9). Результаты занесите в табл. 3.1. Аналогично измерьте возможные значения сопротивлений изоляции фаз B и C .

3. Подключите нагрузку переменного тока (выключатель S18). Выполните измерения эквивалентного сопротивления изоляции сети при различных значениях сопротивлений изоляции фаз (режимы 1 – 7 – см. табл. 3.2).

4. С учётом данных табл. 3.1 для режимов из табл. 3.2 при оформлении отчёта выполните расчёт значений эквивалентного сопротивления изоляции сети. Сравните результаты расчёта и измерений с полученным в п. 3.

Контроль изоляции с применением асимметра

1. Подключите источник питания, нагрузку переменного тока и асимметр (S1, S4, S18). Вольтметром переменного тока измерьте фазные напряжения источника (между контактами 4 – 7, 5 – 7, 6 – 7).

2. В режимах 1 – 7 (см. табл. 3.2) измерьте напряжения фаз относительно земли (R_A , R_B , R_C) и напряжение смещения нейтрали U_0 (падение напряжения на обмотке реле K1).

3. Для всех режимов п. 2 постройте векторные диаграммы напряжений (методика построения векторных диаграмм приведена в работе 1).

4. Проследите по векторным диаграммам, как изменяется напряжение U_0 при изменении сопротивлений изоляции фаз. Объясните, почему схема не реагирует на симметричные изменения сопротивлений изоляции.

Контроль изоляции схемой с вентильями

1. К клеммам 9 и 10 подключите амперметр постоянного тока. Включите источник питания, нагрузку переменного тока реле K2.

2. В режимах 1 – 7 (см. табл. 3.2) измерьте ток в цепи катушки реле K2.

3. Постройте график зависимости тока в катушке реле от эквивалентного сопротивления изоляции. Объясните, почему в этой схеме в отличие от схемы с асимметром получается однозначная зависимость измеренного параметра (тока) от сопротивления изоляции сети.

Измерение сопротивления изоляции щитовым мегомметром

1. Подключите щитовой мегомметр, источник питания и нагрузку переменного тока (S5, S1, S18 соответственно).

2. Измерьте значения эквивалентного сопротивления изоляции сети в режимах 1 – 7 (см. табл. 3.2).

3. Сравните полученные данные с результатами измерений переносным мегомметром. Нарисуйте схему замещения измерительной цепи и объясните принцип работы щитового мегомметра.

Измерение сопротивления изоляции сетей двойного рода тока

Основная цель опыта – показать влияние несимметрии сопротивлений изоляции цепей постоянного тока на результат измерений; поэтому во всех режимах сопротивления изоляции фаз сети переменного тока R_A , R_B и R_C остаются неизменными (переключатели S9–S11 устанавливаются по указанию преподавателя, например, в положение 2, а затем в положение 3).

1. Сформируйте сеть двойного рода тока (включите S1, S16, S18).

2. Для режимов, указанных в табл. 3.3, рассчитайте значения фактического эквивалентного сопротивления изоляции сети R_ϕ . В этих же режимах измерьте сопротивление изоляции R щитовым мегомметром.

3. Рассчитайте погрешность измерений (%) по формуле

$$\delta = \frac{(R - R_\phi)}{R_\phi} \cdot 100.$$

4. Подключите вольтметр постоянного тока к клеммам 4 и “Земля”, и в выбранных режимах (см. табл. 3.3) измерьте постоянную составляющую напряжения фаз относительно земли.

5. Сопоставьте результаты измерений и расчётов. Объясните причину возникновения больших погрешностей.

6. В режимах, указанных в табл. 3.3, определите значения эквивалентного сопротивления изоляции с использованием измерительного моста V4. Для этого вольтметром магнитоэлектрической системы измерьте напряжение $U_{ср}$ на выходе моста (клеммы 11 и 12), U_1 – между клеммой 11 и “Земля” и U_2 – между клеммой 12 и “Земля” и рассчитайте искомое значение сопротивления изоляции. Оцените относительную погрешность измерений, и сравните полученные данные с результатами измерений щитовым мегомметром.

Контроль изоляции в сети с заземлённой нейтралью

1. Включите S1, S2, S18; подключите к клеммам ТТНП 1 и 2 миллиамперметр.

2. Измерьте ток во вторичной обмотке ТТНП во всех режимах 1 – 7 (см. табл. 3.2).

3. Проанализируйте результаты измерений и объясните, почему схема не реагирует на симметричные изменения сопротивления изоляции фаз.

3.3. Содержание отчёта

В отчёте должны содержаться следующие данные:

- цель работы;
- описание основных исследуемых физических величин;
- перечень проведённых измерений с результатами в табличной форме;
- электрические схемы исследуемых средств контроля изоляции с описанием принципов работы;
- расчёт параметров сопротивления изоляции и векторные диаграммы напряжений (по указанию преподавателя);
- подробные выводы (объёмом не менее одной страницы) по результатам работы.

3.4. Контрольные вопросы

1. Как работает переносный индукторный мегомметр? Какие предусмотрены меры защиты оператора от поражения током при проведении измерений?
2. Как измерить и рассчитать эквивалентное сопротивление изоляции сети?
3. Как работает схема с асимметром?
4. Как работает схема с вентильми? От каких параметров сети зависят форма кривой и среднее значение тока в цепи обмотки реле?
5. Как работает схема с ТТНП?
6. В каких видах сетей возможно применение рассмотренных методов контроля изоляции?
7. Почему ток в измерительной цепи устройств контроля изоляции, использующих вспомогательный источник оперативного напряжения, является функцией эквивалентного сопротивления изоляции сети?
8. При каких условиях цепи постоянного тока вносят погрешность в работу устройств контроля изоляции?
9. Как измеряется сопротивление изоляции в сетях, содержащих полупроводниковые выпрямители?

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В ОДНОФАЗНЫХ СЕТЯХ

Цель работы: исследование способов защиты от поражения током в однофазной двухпроводной сети, изолированной от земли, и однофазной двухпроводной сети с заземлённым нулевым проводом.

1.1. Общие сведения

Двухпроводные сети применяются для питания осветительной нагрузки, бытовых и других однофазных приёмников электроэнергии. Наиболее широко распространены сети с заземлённым нулевым проводом, так как они являются частью трёхфазных сетей с глухим заземлением нейтрали. Расчётные эквивалентные схемы режима однополюсного прямого и непрямого прикосновений к сети с заземлённым полюсом и к сети с изолированными полюсами приведены на рис. 4.1 и 4.2.

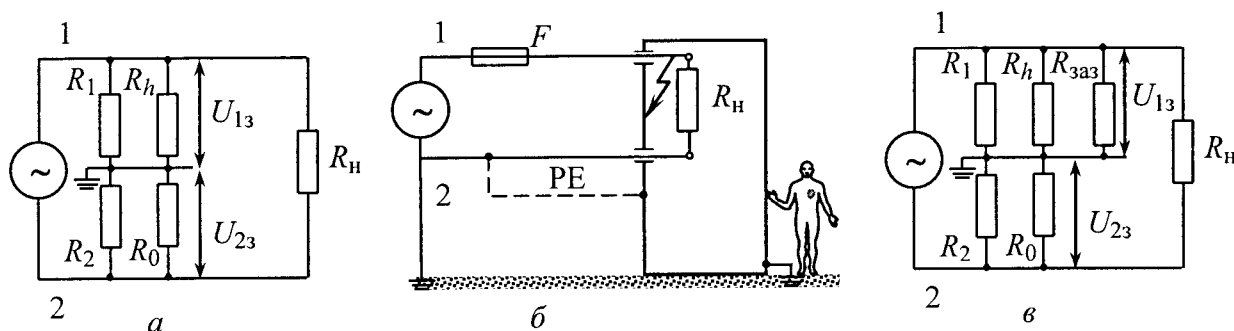


Рис. 4.1. Схемы для анализа опасности в сети с заземлённым полюсом: *а* – при прямом прикосновении, *б* – при непрямом прикосновении условная, *в* – эквивалентная

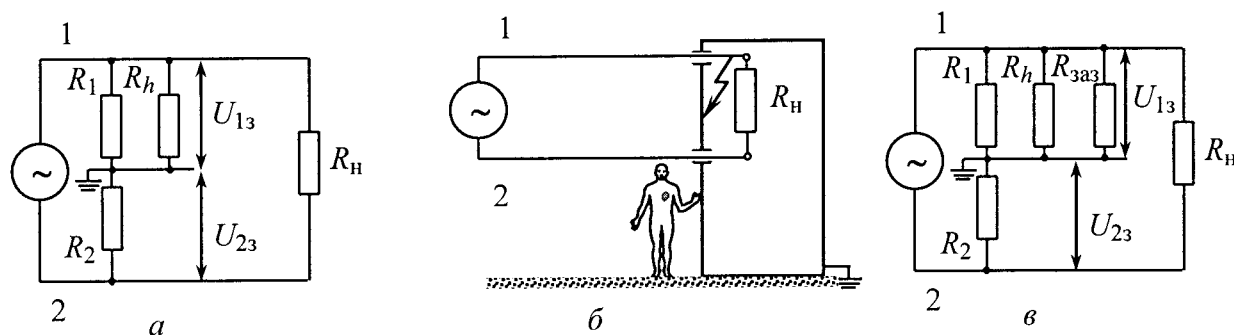


Рис. 4.2. Схемы для анализа опасности в сети с изолированными полюсами: *а* – при прямом прикосновении, *б* – при непрямом прикосновении условная, *в* – эквивалентная

В соответствии со схемой рис. 4.1, *а* из-за небольшого значения сопротивления рабочего заземления $R_0 = 4$ Ом по сравнению с сопротивлениями изоляции полюсов относительно земли R_1, R_2 (десятки килоом) и сопротивлением тела человека R_h (около 1 кОм) напряжение прикосновения человека к полюсу 1 – U_{13} будет близко к напряжению источника питания U :

$$U_{13} = U \left[1 + \frac{R_0 R_2 (R_h + R_1)}{R_1 R_h (R_0 + R_2)} \right]^{-1} \approx U.$$

В случае замыкания фазного провода на корпус электроприёмника напряжение прикосновения к корпусу без использования дополнительной защиты также является опасным для жизни человека. В качестве такой защиты в сети с заземлённым полюсом (система TN) применяют зануление корпусов, то есть соединение их защитными РЕ-проводниками с нулевым проводом (на схеме рис. 4.1, *б* необходимая для безопасности защита показана штриховой линией). При замыкании фазы на корпус возникает режим короткого замыкания, вследствие чего срабатывает максимальная защита, например предохранитель F или автоматический выключатель, отключая питание неисправного потребителя.

Защитное заземление корпусов приёмников электроэнергии, характеризующееся сопротивлением протеканию тока $R_{\text{зaz}}$ (рис. 4.1, *б, в*), в сетях с заземленным полюсом без зануления запрещено, поскольку не обеспечивает условий электробезопасности, так как значение $R_{\text{зaz}}$ соизмеримо с сопротивлением рабочего заземления R_0 или больше его:

$$U_{13} \approx U \frac{R_{\text{зaz}}}{R_0 + R_{\text{зaz}}} \geq 0.5U.$$

Сети, изолированные от земли, безопаснее сетей с заземлённым полюсом, так как напряжение прикосновения к полюсу ограничивается сопротивлениями изоляции R_1 и R_2 , которые значительно больше R_h (рис. 4.2, *а*):

$$U_{13} = U \frac{R_h}{R_2 + R_h(1 + R_2 / R_1)}.$$

Тем не менее при уменьшении сопротивления R_2 значение напряжения прикосновения может быть опасным для жизни человека.

Условия электробезопасности при непрямом прикосновении в системе ИТ обеспечиваются применением защитного заземления, то есть соединением корпуса электроприёмника заземляющим РЕ-проводником с землёй или с её эквивалентом (рис. 4.2, б). Из эквивалентной схемы этого режима (рис. 4.2, в) следует, что при реальных значениях сопротивления заземления можно пренебречь и сопротивлением полюса относительно земли, и сопротивлением тела человека, которые включены параллельно с ним, поэтому напряжение прикосновения

$$U_{13} \approx U \frac{R_{\text{зaz}}}{R_2 + R_{\text{зaz}}} \approx U \frac{R_{\text{зaz}}}{R_2}.$$

При нормальной изоляции полюсов относительно земли это напряжение не превышает предельно допустимого и становится безопасным для жизни человека.

Сети малого напряжения. Опасность поражения людей током в сетях напряжением до 42...50 В связана с возможностью перехода высокого напряжения первичной обмотки питающего трансформатора (220 В) на сторону низкого при повреждении изоляции между обмотками. В этом случае режим прикосновения к полюсу обмотки аналогичен режиму прикосновения к фазному проводу питающей сети. Защитным мероприятием от поражения током в такой ситуации является заземление одного из полюсов вторичной обмотки трансформатора в сети, изолированной от земли (или его зануление в сетях с заземлённым полюсом).

Применение автотрансформатора для питания приёмников низкого напряжения недопустимо, так как режим прикосновения к полюсу сети малого напряжения в этом случае по существу является режимом однополюсного прикосновения к питающей сети.

Работа выполняется на стенде, схема которого приведена на рис. 4.3. В левой части между клеммами 1, 2 и выключателем S9 расположены элементы имитатора сети с заземлённым проводом. В правой части от разделяющего трансформатора Т1 получает питание имитатор сети, изолированной от земли. В средней части через переключатель S11 получает питание имитатор сети малого напряжения (понижающий трансформатор Т2). Питание на стенд подаётся от внешнего источника напряжением 36 В. На лицевой панели стенда установлен вольтметр для выполнения измерений.

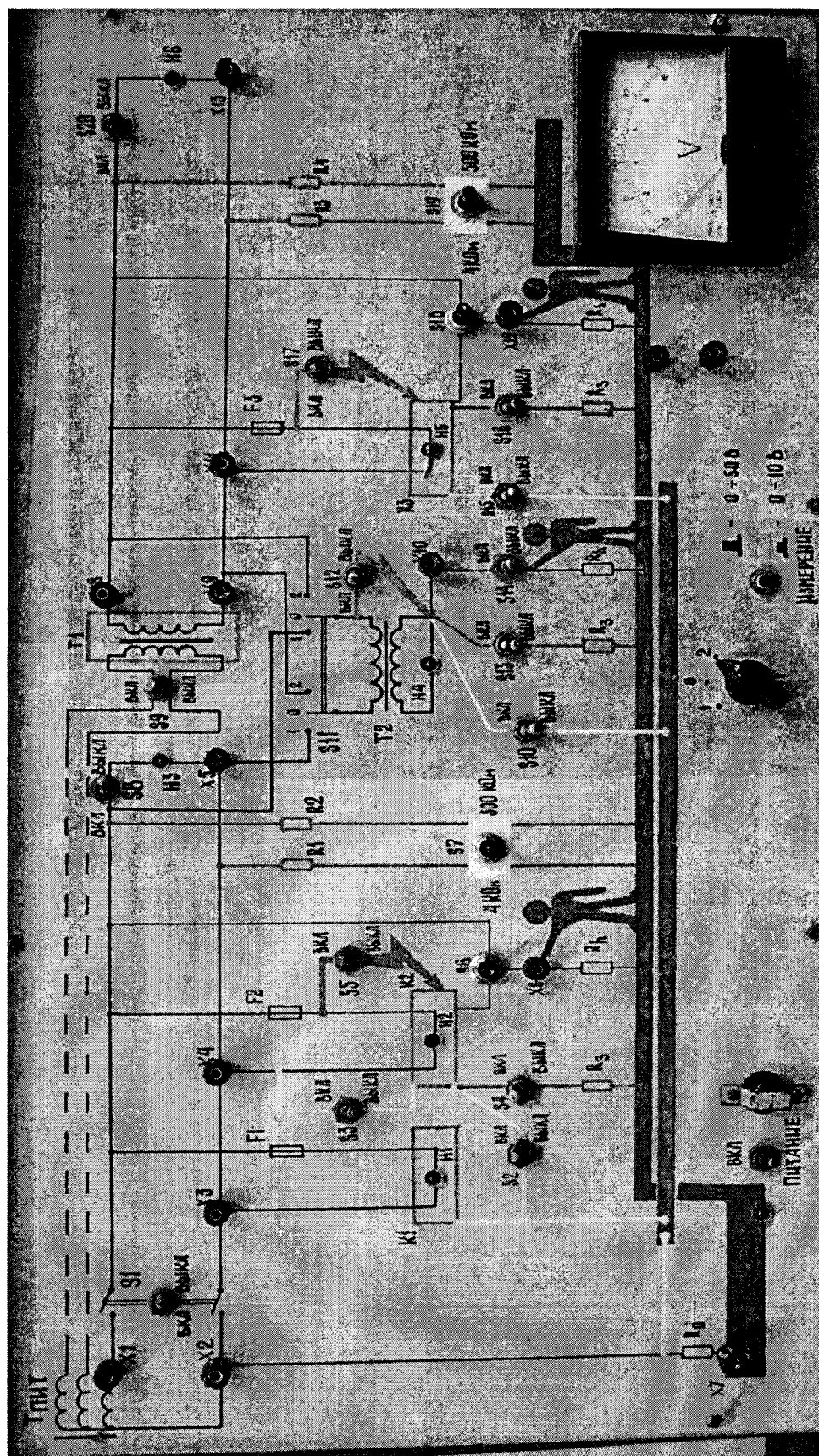


Рис. 4.3. Внешний вид стенда

Имитатор однофазной сети с заземлённым проводом содержит фазный провод (клемма 1), нулевой провод (клеммы 2 – 5) и сопротивления изоляции полюсов сети относительно земли $R_1 = R_2$ (4 или 500 кОм), устанавливаемые переключателем S7. Нулевой провод заземлён через $R_0 = 4$ Ом. Питание на имитатор поступает через выключатель S1.

Выключателем S8 включается нагрузка сети (лампа L13). К сети через имитаторы предохранителей также подключены два приёмника электроэнергии с корпусами K1 и K2. Наличие напряжения на этих приёмниках сигнализируется лампами Н1 и Н2 соответственно. Корпус K1 занулён, то есть соединён с шиной заземления ШЗ, связанной с нулевым проводом. Корпус K2 может быть занулён на шину заземления через выключатель S2, занулён непосредственно на нулевой провод через выключатель S3 или заземлён выключателем S4 через сопротивление $R_3 = 100$ Ом. Выключателем S5 имитируется замыкание фазного провода на корпус приёмника.

Сопротивление $R_h = 1000$ Ом, имитирующее сопротивление тела человека, трёхпозиционным переключателем S6 может быть подключено к фазному проводу (однофазное прикосновение) или к корпусу K2 (прикосновение к корпусу). В среднем положении переключателя S6 сопротивление R_h отключено от элементов сети. Значение напряжения между клеммами 6 и 7 соответствует напряжению прикосновения.

Имитатор однофазной сети, изолированной от земли, содержит разделяющий трансформатор Т1 (разделение сетей или цепей – одно из часто используемых технических средств защиты), первичная обмотка которого получает питание от сети с заземлённым проводом через выключатель S9, провода (клеммы 8, 9, 11, 13), имитатор нагрузки (лампа Н6 с выключателем S20) и сопротивления изоляции полюсов сети R_3 и R_4 (устанавливаются переключателем S19 равными 4 или 500 кОм). К сети через имитатор плавкого предохранителя также подключён приёмник с корпусом K3, наличие напряжения на котором фиксируется лампой Н5. Выключателем S15 корпус K3 может быть соединён с шиной заземления, а выключателем S16 заземлён через сопротивление $R_3 = 100$ Ом. Выключателем S17 имитируется замыкание полюса сети на корпус K3.

Человек переключателем S18 может быть подключён к корпусу K3 (прикосновение к корпусу или косвенное прикосновение), к полюсу сети

(однополюсное прикосновение) либо отключён от элементов схемы (в среднем положении переключателя S18). Клемма 12 предназначена для измерения напряжения прикосновения.

Имитатор сети малого напряжения содержит понижающий трансформатор Т2 (использование малого сверхнизкого напряжения – одно из применяемых технических средств защиты), первичная обмотка которого трёхпозиционным переключателем S11 может быть подключена либо к сети с заземлённым проводом, либо к сети, изолированной от земли, либо отключена (в среднем положении переключателя). Нагрузкой вторичной обмотки трансформатора является лампа Н4. Один полюс вторичной обмотки может быть соединён с шиной заземления (выключатель S10) либо заземлён через сопротивление $R_3 = 100$ Ом (выключатель S13). Выключателем S12 имитируется аварийный режим замыкания между обмотками трансформатора. Сопротивлением $R_h = 1000$ Ом имитируется прикосновение человека к полюсу вторичной обмотки трансформатора. Клемма 10 предназначена для измерения напряжения прикосновения.

4.2. Содержание и порядок выполнения работы

Для записи результатов проводимых измерений подготовьте таблицу по форме табл. 4.1:

Таблица 4.1

Цель опыта	Значение сопротивления изоляции	Напряжение прикосновения	U_h/U	Напряжение между полюсами сети и землёй, В	
	$R_1 = R_2$, кОм	U_h , В		U_{13}	U_{23}

В работе предлагается оценить значения напряжений, под которыми оказывается человек в режиме однополюсного прикосновения к однофазным сетям трёх видов: с заземлённым нулевым проводом, изолированной от земли и низковольтной, а также ознакомиться с основными способами защиты от поражения током.

Условия электробезопасности в сети с заземлённым нулевым проводом

1. Включите S1 и S8. Измерьте и запишите рабочее напряжение.

2. Переключателем S6 установите режим прикосновения человека к фазному проводу. Измерьте напряжение прикосновения при двух значениях сопротивления изоляции (устанавливаются переключателем S7).

3. Переключателем S6 установите режим прикосновения человека к корпусу K2, выключателем S5 замкните фазу на корпус. Измерьте напряжение прикосновения при двух значениях сопротивления изоляции (S7 с левом положении – по 4 кОм, в правом положении – по 500 кОм). Убедитесь, что оно не зависит от качества изоляции.

4. Установите прикосновение человека к корпусу K2 и замкните фазу на корпус. Вначале измерьте напряжение прикосновения без заземления корпуса. Выключателем S4 заземлите корпус K2. Измерьте напряжение прикосновения при двух значениях сопротивления изоляции. Убедитесь, что при заземлении корпусов напряжение прикосновения уменьшается, но недостаточно для обеспечения безопасности. Замерьте напряжение на нулевом проводе относительно земли (клеммы 2 – 5). Пересчитайте полученные результаты на напряжение фазы 220 В и сравните напряжение прикосновения с предельно допустимым. Отключите S4.

5. Для измеренных в пп. 2 – 4 значений рассчитайте отношение $U_{\text{пр}}/U$. С помощью схем замещения объясните превышение полученных результатов над допустимым (20 В) по условиям безопасности в аварийном режиме для промышленных условий ($U_{\text{доп}} \approx 0.09U$ для сетей напряжением $U = 220 \text{ В}$).

6. Выключателем S2 соедините корпус K2 с шиной заземления (занулите), а выключателем S5 замкните фазу на корпус. По погасанию лампы-имитатора нагрузки убедитесь в автоматическом отключении электроприёмника от рабочего напряжения. Нарисуйте схему замещения и объясните работу зануления. Отключите S2.

7. Выключателем S3 соедините корпус K2 непосредственно с нулевым проводом (занулите), а выключателем S5 замкните фазу на корпус. Измерьте и запишите напряжения на нулевом проводе (клеммы 2 – 5) относительно земли. Убедитесь в появлении напряжения на нулевом проводе при неправильно выполненном занулении.

Условия электробезопасности в сети, изолированной от земли

1. Подготовьте схему к работе, включив S1, S9, S20. На клеммах 8 – 9 измерьте рабочее напряжение сети U .

2. Переключателем S18 установите режим прикосновения человека к полюсу сети. Измерьте напряжение прикосновения при двух значениях сопротивления изоляции (переключатель S19). Убедитесь в том, что при сопротивлении фаз 500 кОм напряжение прикосновения становится очень маленьким. Уточните значение напряжения, нажав на кнопку “Измерение 0 – 10 В”.

3. Переключателем S18 установите режим прикосновения человека к незаземлённому корпусу К3 и выключателем S17 замкните полюс на корпус. Измерьте напряжение прикосновения при двух значениях сопротивления изоляции (переключатель S19).

4. По измеренным в пп. 2, 3 значениям рассчитайте отношение $U_{\text{пр}}/U$ и убедитесь в бóльшей безопасности этих сетей по сравнению с сетями с заземлённым нулевым проводом. Нарисуйте схемы замещения и объясните причину уменьшения напряжения прикосновения.

5. Выключателем S15 соедините корпус К3 с шиной заземления ШЗ (заземлите) и включите S17. Измерьте напряжение прикосновения при двух значениях сопротивления изоляции.

6. Повторите опыт по п. 5, соединив корпус К3 непосредственно с заземлителем (отключите S15 и включите S16).

Условия электробезопасности в сетях сверхнизкого напряжения при использовании понижающего трансформатора

1. Подайте питание на трансформатор Т2 от сети с заземлённым полюсом (включите S1, переключатель S11 установите в положение 1). Выключателем S12 произведите замыкание между обмотками, а выключателем S14 установите режим прикосновения человека к полюсу вторичной обмотки.

2. Измерьте напряжение прикосновения при двух значениях сопротивления изоляции в следующих режимах: а) защита отсутствует (S10 и S13 отключены); б) полюс вторичной обмотки занулён выключателем S10; в) полюс вторичной обмотки заземлён выключателем S15 (S10 выключен).

3. Сравните между собой полученные в п. 2 данные. С учётом схем замещения объясните, какими параметрами определяется различие результатов измерений, и укажите наиболее безопасный режим.

4. Подайте питание на трансформатор Т2 от сети с изолированным полюсом (включите S1, S9, переключатель S11 установите в положение 2).

5. Измерьте напряжение прикосновения при двух значениях сопротивления изоляции в следующих режимах: а) защита отсутствует (S10 и S13 от-

ключены); б) полюс вторичной обмотки заземлён выключателем S10; в) полюс вторичной обмотки заземлён выключателем S13 (S10 выключен).

6. Сравните между собой полученные в п. 5 данные. С учётом схем замещения объясните, какими параметрами определяется различие результатов измерений, и укажите наиболее безопасный режим.

4.3. Содержание отчёта

В отчёте должны содержаться следующие данные:

- цель работы;
- описание основных исследуемых физических величин, видов воздействия тока на человека, видов дополнительной защиты от поражения электрическим током;
- перечень проведённых измерений с результатами в табличной форме;
- электрические схемы исследуемых средств защиты с описанием принципов защиты;
- расчётные значения напряжения прикосновения и тока для выборочных вариантов прямого и непрямого прикосновений, оценка погрешности результатов измерений и расчётов;
- подробные выводы (объёмом не менее одной страницы) по результатам работы.

4.4. Контрольные вопросы

1. Как влияют значения сопротивления изоляции на ток, протекающий по телу человека, при однополюсном прикосновении в рассмотренных сетях?
2. Для каких сетей целесообразно применять защитное заземление, а для каких – зануление корпусов приёмников электроэнергии?
3. Почему зануление следует выполнять с помощью шины заземления, а не путём непосредственного соединения с нулевым проводом?
4. Какие меры защиты от поражения током применяются при работе с понижающими трансформаторами?
5. Какие параметры электрической сети определяют опасность поражения током в случае прямого контакта с токоведущими частями?
6. Какие принципы и технические средства защиты от поражения электрическим током реализованы на экспериментальном стенде и изучаются при исследовании условий электробезопасности?

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ЧЕЛОВЕКА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы: ознакомиться с санитарно-гигиеническим нормированием излучения радиочастот и изучить методы защиты персонала от облучения при работе с маломощным СВЧ-генератором.

1.1. Общие сведения

Радиочастотные электромагнитные поля (ЭМП) используются для получения и передачи информации (техника связи, радиолокация, неразрушающий контроль), а также для технологических целей. На человека могут воздействовать высокочастотные ЭМП, создаваемые генераторами, линиями передачи и технологическими устройствами. Облучение персонала возможно как прямым излучением, так и отражённым.

Электромагнитные поля могут вызывать механическое воздействие (силы, возникающие при взаимодействии тока и магнитного поля, которые воздействуют на предметы); тепловое (нагрев тела и отдельных предметов) и нетепловое (информационное и биологическое) воздействия. Взаимодействуя с телом человека, переменное ЭМП вызывает в нём поляризацию, появление вихревых токов и зарядов (эффект слабой ионизации атомов и молекул). В связи с тем, что энергия электромагнитного поля вплоть до частоты 300 ГГц невелика, излучение такого диапазона частот не относят к ионизирующим. Считается, что ЭМП воздействуют только на уже имеющиеся свободные заряды и диполи. Колебания свободных зарядов (ионов) приводят к увеличению токов проводимостей и потере энергии, связанной с электрическим сопротивлением среды. Вращение дипольных молекул влияет на токи смещения и диэлектрические потери, обусловленные вязкостью среды.

Результатом воздействия могут быть заболевания нервной и сердечно-сосудистой систем, электромагнитная катаракта, выпадение волос и другие нежелательные последствия.

Для ограничения вредного воздействия ЭМП радиочастот по требованиям ГОСТ 12.1.006–84 и СанПиН 2.2.4.1191–03 установлены предельно допустимые уровни по значениям напряжённости электрического E , В/м, и магнитного полей H , А/м, для частот 10 кГц...300 МГц (длины волн от 30 км

до 1 м) и по плотности потока энергии (ППЭ) или плотности потока мощности (ППМ), Вт/м², для частот 300 МГц...300 ГГц (длины волн от 1 м до 1 мм).

Для радиочастотного диапазона введён такой нормативный параметр, как энергетическая нагрузка (ЭН), или энергетическая экспозиция (ЭЭ), который характеризует дозу поглощенной человеком электромагнитной энергии. За рубежом нормирование ведётся по удельной поглощённой электромагнитной мощности, которая характеризуется показателем, названным SAR (Specific Absorption Rate).

Энергетические экспозиции (энергетические нагрузки), создаваемые полями – электрическим, магнитным и электромагнитным – равны, соответственно, $\text{ЭЭ}_E = E^2 \tau$; $\text{ЭЭ}_H = H^2 \tau$; $\text{ЭЭ}_{\text{ППЭПД}} = \text{ППЭ} \tau$. Предельно допустимые значения E , H или ППЭ на рабочих местах персонала определяются исходя из допустимой энергетической экспозиции и времени воздействия:

$$E_{\text{ПД}} = \sqrt{\frac{\text{ЭЭ}_{E_{\text{ПД}}}}{\tau}}, H_{\text{ПД}} = \sqrt{\frac{\text{ЭЭ}_{H_{\text{ПД}}}}{\tau}}, \text{ППЭ}_{\text{ПД}} = \text{ЭЭ}_{\text{ППЭПД}} / \tau,$$

где $\text{ЭЭ}_{E_{\text{ПД}}}$, (В/м)²·ч; $\text{ЭЭ}_{H_{\text{ПД}}}$ (А/м)²·ч; $\text{ЭЭ}_{\text{ППЭПД}}$, Вт·ч/м² – допустимые значения энергетической экспозиции в течение рабочего дня; в нижних индексах – предельно допустимые значения напряжённости электрического ($E_{\text{ПД}}$), магнитного ($H_{\text{ПД}}$) полей и плотности потока энергии ($\text{ППЭ}_{\text{ПД}}$); τ , ч – время воздействия.

Нормативное значение $\text{ЭЭ}_{\text{ППЭПД}}$ за рабочий день равно 2 Вт·ч/м² для всех случаев облучения, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 50, которое составляет 20 Вт·ч/м² (2000 мкВт·ч/см²). Максимальное значение $\text{ППЭ}_{\text{ПД}}$ даже кратковременно не должно превышать 10 Вт·ч/м² (1000 мкВт·ч/см²).

Защита человека от сверхвысокочастотного (СВЧ) облучения осуществляется за счёт ограничения расстояния до источника или времени нахождения в зоне облучения, экранирования рабочего места или источника излучения, а также использования средств индивидуальной защиты.

Работы выполняются на установке, показанной на рис. 5.1.

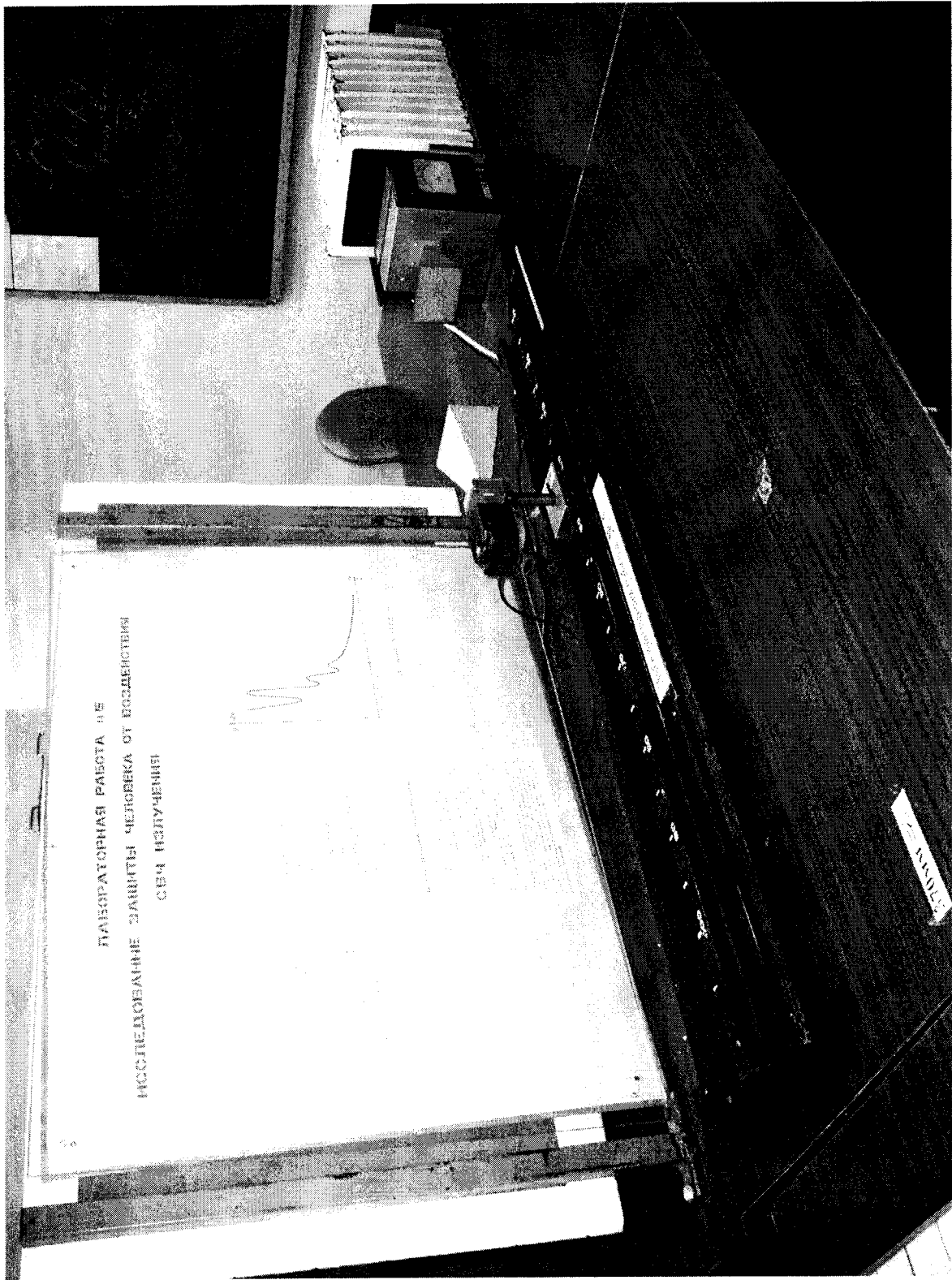


Рис. 5.1. Внешний вид стенда

Она имитирует встречающиеся на производстве условия работы персонала при работе с устройствами СВЧ. В качестве источника СВЧ-излучения используется генератор Ганна, который настроен на частоту 10 ГГц. Выходная мощность генератора 4 мВт, сечение волновода 23×10 мм. Мощность излучения СВЧ измеряется стационарным прибором (милливаттметром) с рупорной приёмной антенной. Для отсчёта расстояния между плоскостями раскрыва рупоров генератора СВЧ и измерителя мощности имеется направляющая со шкалой.

Пространство около излучающей антенны условно делится на ближнюю, переходную и дальнюю зоны (рис. 5.2). В ближней и переходной зонах формируется поле излучения (волновое поле). Здесь наблюдается сложный характер зависимости напряжённостей электромагнитного и магнитного полей от расстояния до плоскости раскрыва антенны.

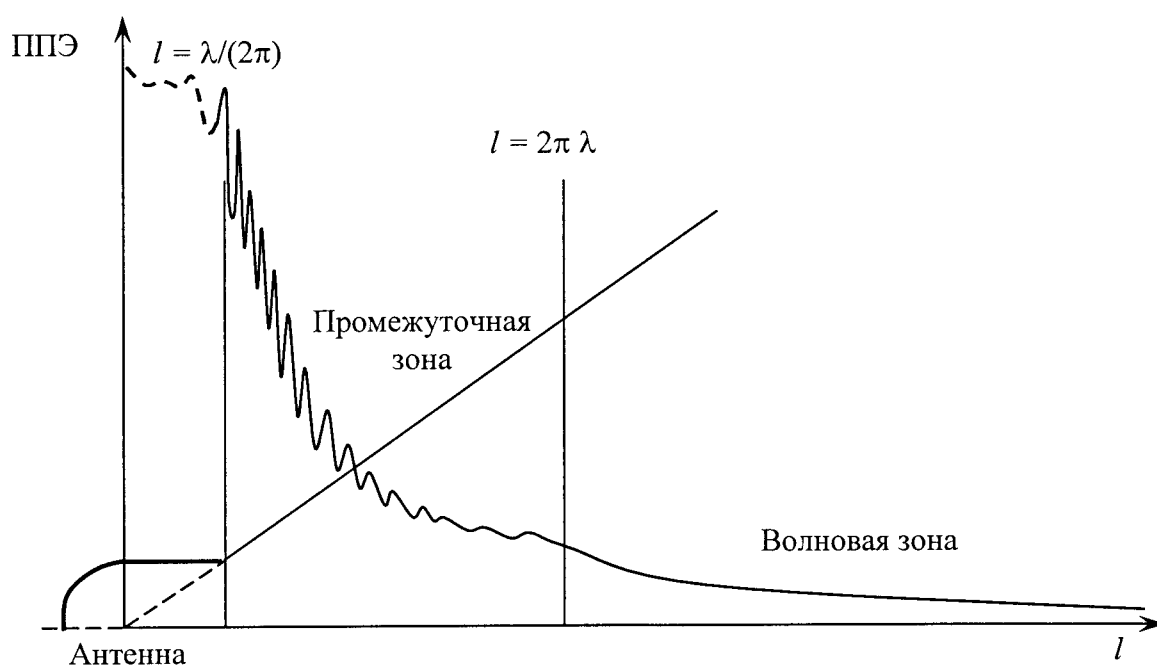


Рис. 5.2. Примерный вид измеренной ППМ (ППЭ) от антенны в зависимости от расстояния до источника

Граница начала дальней зоны излучающей антенны в направлении главного максимума излучения соответствует расстоянию $l_d = L^2/\lambda$, где L — максимальный размер раскрыва антенны; λ — длина волны СВЧ-излучения в воздухе. Для используемой в работе антенны $L = 9$ см, $\lambda = 3$ см и $l_d = 27$ см.

Наиболее характерными для СВЧ-гигиены являются измерения в дальних (волновых) зонах источников СВЧ-излучения. Для оценки интенсивности облучения в интересующих точках исследуемой части пространства (рабочей зоне помещения, территории объекта и т. п.) на выбранном месте используются измерители плотности потока мощности. В лабораторной работе в качестве измерителя установлена рупорная приёмная антенна. Чтобы определить ППЭ_э, необходимо знать мощность излучения $P_{\text{пр}}$ и эффективную площадь приёмной антенны $S_{\text{эф}}$:

$$\text{ППЭ}_э = \frac{P_{\text{пр}}}{S_{\text{эф}}}.$$

Эффективная площадь антенны связана с её коэффициентом усиления $G_{\text{пр}}$ соотношением

$$S_{\text{эф}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{\text{пр}}.$$

Коэффициент усиления антенны $G_{\text{пр}}$ показывает, во сколько раз значение сигнала, созданного этой антенной в дальней зоне в направлении максимума излучения, превышает значение сигнала, который мог быть создан ненаправленной антенной, находящейся на том же расстоянии от места приёма и излучающей ту же мощность. Иногда коэффициент усиления выражают в децибелах:

$$G_{\text{пр}} = 10 \lg \frac{P_{\text{экв}}}{P}.$$

где P – мощность источника излучения, $P_{\text{экв}}$ – эквивалентная мощность направленного источника, приведённая к мощности изотропного источника.

Теоретическая плотность потока энергии ППЭ_т на расстоянии l от антенны в направлении максимума вычисляется по формуле

$$\text{ППЭ}_т = \frac{P_{\text{г}} G_{\text{п}}}{4\pi l^2} F^2,$$

где $P_{\text{г}}$ – выходная мощность генератора; $G_{\text{п}}$ – коэффициент усиления передающей антенны по мощности; F – коэффициент искажения, учитывающий реальные условия облучения, то есть интерференцию прямого луча от антенны и лучей, отражённых от окружающих предметов.

Коэффициент F – сложная колеблющаяся функция расстояния между антеннами. Для данной работы в первом приближении примем $F = 1$. Расчёт ППЭ следует выполнить для $l = 30 \dots 95$ см. В используемом макете коэффициент усиления приёмной и передающей антенн $G_{\text{п}} = G_{\text{пр}} = 55$.

В связи с тем, что средствами защиты от ЭМП, особенно СВЧ-диапазона, на пути их распространения служат мелкая металлическая сетка, металлизированные ткани, специальные радиозащитные очки и другие поглощающие или отражающие материалы, которые выбираются исходя из частоты, вида ЭМП и необходимого коэффициента экранирования, в лабораторной работе предлагается исследовать защитные свойства различных экранов (с резиной, имеющей сложную поверхность; с медными сетками с различным размером ячейки; с металлизированными тканями, которые выпускаются промышленностью; с оргстеклом; с кюветой из оргстекла, наполненной дистиллированной водой, и др.). При выполнении лабораторной работы следует оценить, к какому виду относится экран: поглощающему или отражающему.

5.2. Содержание и порядок выполнения работы

В работе требуется изучить зависимости интенсивности СВЧ-облучения от расстояния до источника, от положения рабочего места по отношению к направлению максимума излучения антенны, а также влияние материала и конструкции защитных экранов на уровень облучения.

Для подготовки приборов к работе следует установить (если необходимо) корректором стрелку измерительного прибора на нулевое деление; включить тумблер на корпусе измерителя мощности (зажигание светодиода на корпусе генератора свидетельствует о работе СВЧ-генератора); убедиться, что после отключения генератора стрелка измерителя возвращается в нулевое положение.

Исследование зависимости уровня облучения от расстояния до источника

1. Заготовьте таблицу произвольной формы, к примеру:

Расстояние, см

Мощность, мВт

2. Снимите зависимость $P_{\text{пр}}(l)$ в ближней и в переходной зонах (на расстояниях до антенны $l < 30$ см). Для этого выполните следующие действия:

- установите стойку генератора напротив измерителя мощности так, чтобы оси волноводов совпадали и расстояние между плоскостями раскрыва рупоров равнялось 5 см;

- произведите измерение мощности излучения, выжидая при каждом измерении 2...3 с, когда показания прибора стабилизируются;

- плавно увеличивая расстояние между излучателем и приёмником до 30 см, снимите зависимость показаний прибора от расстояния, фиксируя максимумы и минимумы мощности, а также расстояния, на которых они находятся. Измерения провести не менее трёх раз.

2. Снимите зависимость $P_{\text{пр}}(l)$ в дальней зоне ($l = 30...90$ см), изменяя расстояние через 5 см. Измерьте мощность в тех же точках, перемещая стойку в обратном направлении (измерения провести не менее трёх раз).

Снятие диаграммы направленности антенны

1. Заготовьте таблицу произвольной формы, к примеру:

Угол поворота, ...°

Мощность, мВт

2. Установите стойку с рупором напротив измерителя мощности так, чтобы оси волноводов совпадали и расстояние между плоскостями раскрыва рупоров равнялось 30...95 см (по указанию преподавателя).

3. Проведите измерения при повороте рупора излучателя на 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40° в направлении “от себя”. Для исключения поворота антенны в направлении “на себя” и облучения во время работы служит ограничитель.

3. Повторите измерения, возвращая рупор в исходное положение.

Исследование защитных свойств экранов из различных материалов

1. Установите по указанию преподавателя стойку генератора с рупором на расстоянии $l = 30...50$ см от плоскости рупора приёмника.

2. Измерьте мощность излучения без экрана.

3. Вставьте в отверстия направляющих экран 1 (резина со сложной поверхностью), измерьте мощность излучения с экраном. Результаты запишите в таблицу произвольной формы. Определите коэффициент ослабления, или экранирования излучения экранами (отношение мощности без экрана P_1 и с экраном P_2) $K_{\text{экp}} = P_1 / P_2$.

4. Повторите измерения мощности по п. 3, устанавливая другие экраны (2 – 10 – по указанию преподавателя). Измерения следует провести не менее трёх раз.

При подготовке отчёта по измеренным значениям мощности облучения для каждого расстояния $P_{\text{пр1}}, P_{\text{пр2}}, P_{\text{пр3}}$ вычислите среднеарифметическое значение $P_{\text{пр}} = (P_{\text{пр1}} + P_{\text{пр2}} + P_{\text{пр3}})/3$. Вычислите экспериментальные значения плотности потока мощности ППЭ_э и теоретические значения ППЭ_т для дальней зоны, расчётные значения сравните с экспериментальными. Ответьте на вопрос, почему экспериментальные и расчётные результаты расходятся. Используя приведённые ранее формулы, рассчитайте безопасное расстояние до антенны без экрана при используемой мощности генератора 4 мВт в направлении максимума излучения при предельно допустимой ППЭ. По указанию преподавателя проведите аналогичный расчёт при другой, повышенной, мощности генератора.

5.3. Содержание отчёта

В отчёте должны содержаться следующие данные:

- цель работы;
- описание основных исследуемых физических величин, видов воздействия ЭМП на человека, видов защиты и их эффективности;
- перечень проведённых измерений с результатами в табличной и графической формах;
- расчётные значения плотности потока мощности, оценка погрешности результатов измерений и расчётов;
- подробные выводы (объёмом не менее одной страницы) по результатам работы.

5.4. Контрольные вопросы

1. Какие параметры электромагнитных полей радиочастот подлежат контролю с целью охраны труда персонала?
2. Как измеряются уровни СВЧ-излучения?
3. Какие организационные и технические мероприятия используются при защите от СВЧ-облучения?
4. Какие нормативные ограничения параметров электромагнитных полей частотой свыше 300 МГц?

Лабораторная работа 6

САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Цель работы: изучение требований к освещённости рабочих мест и методов их обеспечения и контроля.

6.1. Общие сведения

Рациональное освещение при выполнении зрительных работ различных видов является важным вопросом безопасности жизни и деятельности. Неправильно организованное освещение приводит к зрительному и общему утомлению, повышает напряжённость труда, снижает его производительность и качество. Длительная работа при неправильном освещении может привести к снижению остроты зрения и заболеваниям глаз. Особое значение имеет освещение при работе операторов. Плохое освещение помимо повышенного утомления может привести к ошибочным действиям, создающим аварийные ситуации или нарушающим ход технологического процесса. При одновременной зрительной работе в отражённом свете и с самосветящимися объектами, например экранами ЭВМ, являющимися источниками недостаточно хорошего для человека света, требования к качеству освещения ещё больше увеличиваются.

К основным факторам, определяющим высокое качество освещения, относятся достаточная и равномерно распределенная в помещении освещённость, постоянство освещённости во времени, отсутствие слепимости и резких теней на освещаемых поверхностях. Наименьшая освещённость рабочих поверхностей в производственных помещениях, обеспечивающая нормальную работу человека, устанавливается в зависимости от характеристик зрительной работы и регламентируется строительными нормами и правилами СНиП 23-05-95. К характеристикам зрительной работы относится, в частности её разряд, зависящий от размера наименьшего объекта различения, контраста объекта с фоном и вида фона. Таблица зависимости разряда работы и требуемых уровней освещённости приложена к лабораторному стенду. Нормы составлены с учётом того, что основными источниками искусственного света на производстве являются газоразрядные лампы, однако допускается использование ламп накаливания. Следует обратить внимание, что опти-

мальная освещённость от газоразрядных ламп выше, чем от ламп накаливания. Это объясняется различием спектрального состава света ламп и особенностями его зрительного восприятия человеческим глазом. При одной и той же освещённости, равной оптимальной для лампы накаливания, освещённость от лампы дневного света кажется человеку недостаточной (“сумеречный” эффект). Это учитывается в нормах. Значения освещённости указаны для двух систем искусственного освещения – общего и комбинированного, при котором к общему освещению добавляется местное.

Основные светотехнические величины, о которых необходимо знать при выполнении лабораторной работы, приведены далее.

Световой поток Φ , лм, является эффективным потоком и определяется действием на селективный приёмник, спектральная чувствительность которого нормализована функциями относительной спектральной световой эффективности излучения $V(\lambda)$ для длин волн λ от 0.38 до 0.78 мкм:

$$\Phi = 625 \int_{\lambda=0.38}^{\lambda=0.78} \varphi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda,$$

где $\varphi_e(\lambda)$ – спектральная плотность потока излучения, Вт/мкм.

1 лм численно равен световому потоку, излучаемому в единичном телесном угле (стерадиан) равноинтенсивным точечным источником с силой света 1 кд.

Сила света I , кд (1 кд = 1 лм/ср) – пространственная плотность светового потока в заданном направлении:

$$I = d\Phi / d\Omega,$$

где Ω – телесный угол, определяемый отношением площади сферической поверхности, заключённой внутри конуса телесного угла с вершиной в центре сферы, к квадрату радиуса этой сферы.

Освещённость E , лк, равна отношению светового потока к площади освещаемой поверхности S , на которую он падает и равномерно по ней распределяется:

$$E = d\Phi / dS.$$

Единицей освещённости – 1 лк – принято считать освещённость, создаваемую световым потоком в 1 лм, равномерно распределённым по поверхности, площадь которой равна 1 м².

Яркость поверхности $L_{\alpha,\beta}$, кд/м² – отношение силы света излучающего элемента к площади его проекции на плоскость, перпендикулярную заданному направлению α, β :

$$L_{\alpha,\beta} = \frac{dI_{\alpha,\beta}}{\cos \alpha dA}.$$

Для зрительного восприятия человека основное значение имеет интенсивность светового воздействия на глаз. В качестве меры интенсивности принимается яркость воспринимаемого объекта. Для измерения яркости используются яркоммеры. Для диффузных поверхностей, у которых яркость одинакова во всех направлениях, её можно найти по формуле

$$L = \rho \frac{E}{\pi},$$

где E – освещённость, создаваемая сторонним источником света; ρ – коэффициент отражения, определяемый как отношение отражённого поверхностью светового потока к падающему на неё потоку.

Если $\rho > 0.4$, то считается, что поверхность создаёт светлый фон; если $0.4 > \rho > 0.2$ – средний фон; если $\rho < 0.2$ – тёмный фон.

Большое значение для зрительного восприятия имеет соотношение яркостей объекта различения $L_{об}$ и фона $L_{ф}$, характеризующее значение яркостного контраста K . Различают прямой контраст $K_{пр} = (L_{ф} - L_{об})/L_{ф}$, если $L_{об} < L_{ф}$, и обратный $K_{об} = (L_{ф} - L_{об})/L_{ф}$, если $L_{об} > L_{ф}$. При нормировании используют термин “большой” контраст, если значение $K > 0.5$, “средний”, если $0.5 \geq K \geq 0.2$, и “малый”, если $K < 0.2$.

Несмотря на то, что яркость является наиболее объективным параметром, характеризующим условия зрительной работы, нормирование освещения производится обычно по освещённости, которая проще измеряется и более тесно связана с источником света.

При освещении помещения газоразрядными лампами необходимо принимать меры для устранения вредного влияния на человека пульсаций светового потока ламп, питаемых переменным током. Эти пульсации обусловлены безынерционностью процесса электрического разряда и незначительным временем послесвечения люминофора лампы. У ламп накаливания пульсации светового потока обычно невелики из-за тепловой инерции нити накала.

Коэффициент пульсации, % – критерий оценки относительной глубины колебаний освещённости в результате изменения во времени светового потока

$$K_{\text{п}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2E_{\text{ср}}} 100,$$

где E_{max} , E_{min} – максимальное и минимальное значения освещённости за период её колебания; $E_{\text{ср}}$ – среднее значение освещённости за этот же период.

При использовании осветительных установок с газоразрядными источниками света, питаемыми переменным током, может возникнуть стробоскопический эффект – искажение зрительного восприятия о вращающихся и циклически движущихся объектах в мелькающем свете, возникающем при совпадении или кратности частотных характеристик движения объектов и изменения светового потока во времени. При этом вращающийся объект кажется неподвижным или вращающимся в обратном направлении. Искажение восприятия движущихся объектов приводит к увеличению напряжённости труда и росту травматизма. При частоте питающей сети $f = 50$ Гц основная частота пульсаций светового потока ламп составляет 100 Гц. Если вращающийся диск (или маховик) разделён на N одинаковых секторов, стробоскопический эффект наблюдается при $n_{\text{min}} = 100/N$ об/с. В лабораторном макете часть диска разбита на $N = 4$, следовательно, $n_{\text{min}} = 25$ об/с = 1500 об/мин, а другая часть – на $N = 8$, следовательно, $n_{\text{min}} = 12.5$ об/с = 750 об/мин.

Для устранения стробоскопического эффекта применяют включение трёх люминесцентных ламп в разные фазы трёхфазной сети. При этом кривые, соответствующие изменению светового потока каждой из ламп во времени, оказываются сдвинутыми по отношению друг к другу на 120° , что практически устраняет пульсацию суммарного светового потока.

Стенд для исследования освещённости на рабочем месте (рис. 6.2) состоит из двух частей. Первая часть включает в себя светильник с изменяющейся при помощи ручки механизма высотой подвеса, имеющий четыре вида ламп (накаливания, галогенная, компактная люминесцентная со встроенным высокочастотным пускорегулирующим аппаратом и индукционная), которые можно вернуть в обычный электрический патрон. Питание ламп осуществляется с помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТР).

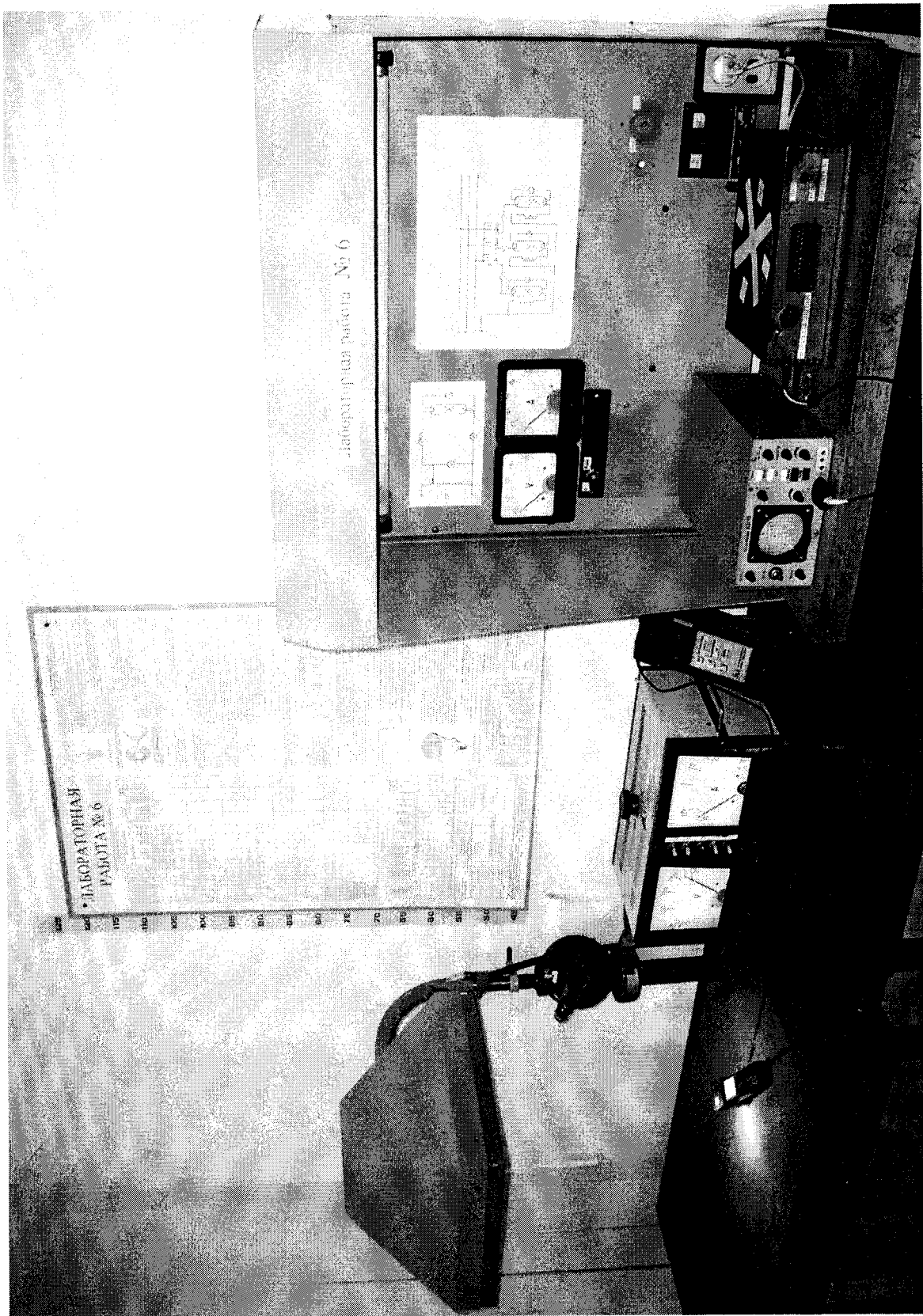


Рис. 6.2. Внешний вид стенда

Вторая часть – установка для исследования параметров освещения, создаваемого трубчатыми люминесцентными лампами. Она состоит из отдельной лампы, подключённой к ЛАТР; трёх ламп, подключаемых на регулируемое напряжение 220 В; переключателей и тумблеров их включения (можно набрать схемы подключения ламп к одной фазе или к разным фазам трёхфазной сети); блока двигателя со стробоскопическим диском и осциллографа. Сигнал на осциллограф подаётся с клемм на боковой стороне блока от фотодиода, вмонтированного в верхнюю часть корпуса.

6.2. Содержание и порядок выполнения работы

В работе требуется изучить характеристики используемых для освещения ламп, зависимости освещённости от напряжения питания, высоты подвеса и расстояния до центра светильника; оценить величину коэффициента пульсации и способы его уменьшения; познакомиться с методикой приближённого расчёта освещённости.

Исследования общего освещения

Измерьте освещённость рабочей поверхности при естественном освещении $E_{\text{ест}}$ (светильники общего освещения выключены). Измерьте освещённость в той же точке при совмещённом освещении $E_{\text{сов}}$, включив светильники общего освещения. Проведите расчёт освещённости помещения (по указанию преподавателя). Для прямоугольной комнаты длиной a , шириной b и расстоянием от рабочей поверхности до источника света h определяется “индекс помещения” $\varphi = ab/(h(a + b))$. В помещении лаборатории $a = 5.2$ м, $b = 5.1$ м, $h = 2$ м. Освещённость при известном числе светильников может быть вычислена по формуле

$$E = N\Phi\eta/(abK_3K_n),$$

где E – требуемая средняя освещённость, лк; Φ – световой поток источника, лм; η – коэффициент использования, зависящий от индекса помещения и отражающих свойств его поверхностей (определяется по табл. 6.1 при коэффициентах отражения светового потока: от потолка $\rho_{\text{пот}} = 0.5$, стен $\rho_{\text{ст}} = 0.3$, пола $\rho_{\text{пол}} = 0.1$), K_3 – коэффициент запаса, учитывающий возможное загрязнение источников света (принимается 1.5), K_n – коэффициент неравномерности освещённости (принимается от 1.1 до 1.2).

Таблица 6.1

Значение коэффициентов отражения $\rho_{\text{пот}}, \rho_{\text{ст}}, \rho_{\text{пол}}$	Значение коэффициента использования η для светильников типа ЛДОР							
	при значениях индекса помещения ϕ , равном							
	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.25	1.50
0.7; 0.5; 0.1	0.25	0.29	0.33	0.36	0.40	0.43	0.47	0.51
0.5; 0.3; 0.1	0.19	0.22	0.26	0.30	0.33	0.36	0.40	0.44
0; 0; 0	0.12	0.16	0.20	0.22	0.25	0.28	0.32	0.35
	при значениях индекса помещения ϕ , равном							
	1.75	2.00	2.25	2.50	3.00	3.50	4.00	5.00
0.7; 0.5; 0.1	0.54	0.56	0.58	0.60	0.62	0.63	0.64	0.67
0.5; 0.3; 0.1	0.47	0.49	0.51	0.53	0.55	0.56	0.58	0.60
0; 0; 0	0.38	0.40	0.42	0.43	0.45	0.46	0.48	0.50

Сравните расчётное и измеренное значения освещённости.

Исследования освещения от светильника с четырьмя видами ламп

1. По указанию преподавателя с помощью тумблера, расположенного на панели ЛАТР, включите лампу накаливания и установите при помощи ЛАТР напряжение 220 В. Светильник расположите на высоте 1.05 м над фотоэлементом люксметра. Измерьте и запишите в таблице произвольной формы показания освещённости под светильником (в точке, соответствующей центру рабочей поверхности), а также через каждые 0.1 м при удалении фотоэлемента от этой точки в направлениях вправо, влево, вперед, назад.

2. Измерьте освещённость в тех же точках при отключённой лампе. В таблице отчёта по лабораторной работе кроме измеренной освещённости рассчитайте и приведите истинную освещённость лампы (как разницу между освещённостями с лампой и без лампы). При оценке распределения освещённости на рабочих поверхностях от светильника принято строить кривые равных освещённостей (изолюксы), характеризующие его параметры. В данном упрощённом исследовании по результатам измерений необходимо построить графики изменения освещённости в продольном и в поперечном направлениях, которые будут являться сечениями изолюксы.

3. С помощью ручки механизма подъёма/опускания измените высоту подвеса светильника над фотоэлементом до 0.90 м и проведите исследования по пп. 1 и 2. Аналогично проведите измерения для значений высоты 0.70; 0.45 и 0.30 м.

4. По указанию преподавателя проведите измерения по пп. 1 – 3 для других типов ламп.

5. По результатам исследований определите среднюю освещённость на рабочей поверхности от каждой из исследованных ламп. Сравните между собой лампы по показателям эффективности и экономичности.

6. По указанию преподавателя включите одну лампу или несколько ламп на номинальное напряжение 220 В. Измерьте ток в цепи. Измерьте освещённость в центральной точке рабочей поверхности (под светильником) при высоте подвеса 0.50 м. Изменяя при помощи ЛАТР напряжение питания светильника от 240 до 60 В, произведите замеры тока, напряжения и освещённости, меняя значения напряжения через 20 В. Фиксируйте напряжение, при котором отдельные лампы гаснут.

7. Установите на рабочей поверхности лист с текстом, написанным различным размером шрифта (кегель от 2 до 14 пунктов). Пользуясь таблицами строительных норм и правил, для каждой из строчек определите характеристику зрительной работы и требуемое значение минимальной освещённости для системы общего освещения. Сравните измеренное значение освещённости с нормативным для общего освещения, необходимым для каждого из объектов различения; сделайте выводы о достаточности освещения.

8. Пользуясь таблицами СНиП 23-05-95, для каждого из исследуемых объектов определите требуемое значение минимальной освещённости для комбинированного освещения. Для этого, регулируя высоту подвеса светильника с лампами и меняя мощность и тип лампы, определите показатели, при которых освещённость, измеренная в центре рабочей поверхности, приближается к нормированной для каждого из объектов. Установите высоту, при которой освещённость значительно меньше нормируемой, и убедитесь в субъективном ухудшении условий зрительной работы с исследуемыми объектами.

Исследования освещения от трубчатых люминесцентных ламп

1. Включите одну лампу и при помощи ЛАТР установите напряжение 220 В. Снижая напряжение питания лампы, установите напряжение, при котором лампа гаснет. Затем, медленно повышая напряжение, установите напряжение, при котором лампа зажигается. Меняя напряжение питания светильника от этого значения до 240 В через 10 В, проведите замеры тока лампы, напряжения и освещённости для каждого из значений напряжения.

2. Включите светильник с тремя люминесцентными лампами на напряжение 220 В (высота подвеса светильника 0,45 м). Измерьте освещённость на рабочей поверхности при включённых одной, двух и трёх лампах.

3. Включите осциллограф и пронаблюдайте на нём кривую освещённости, убедившись в изменении сигнала при затемнении фотодиода. Зарисуйте с экрана кривую сигнала, пропорционального освещённости, при подключении одной лампы и трёх ламп к одной фазе и к разным фазам. Определите коэффициенты пульсации освещённости, приняв минимальные и максимальные значения в клетках осциллографа по отношению к нулю.

4. Включите три люминесцентные лампы на одну фазу трёхфазной сети. Включите двигатель со стробоскопическим диском. Изменяя скорость вращения диска, установите скорость, соответствующую появлению стробоскопического эффекта. Подключите три лампы на три фазы трёхфазной сети. Убедитесь в том, что при этом стробоскопический эффект пропадает или значительно уменьшается.

6.3. Содержание отчёта

В отчёте должны содержаться следующие данные:

- цель работы;
- описание основных исследуемых физических величин;
- перечень проведённых измерений с результатами в табличной и графической формах (зависимость освещённости от высоты подвеса светильника и распределения освещённости на горизонтальной плоскости для разных ламп, зависимость освещённости от напряжения питания);
- расчётные значения освещённости в помещении, оценка погрешности результатов измерений и расчётов;
- кривые сигнала, пропорционального освещённости, при подключении одной лампы и трёх ламп к одной и к разным фазам сети;
- подробные выводы (объёмом не менее одной страницы) по результатам работы.

6.4. Контрольные вопросы

1. Каковы устройство и принцип действия люксметра?
2. В чем состоит сущность стробоскопического эффекта и каковы способы его устранения?
3. От чего зависит разряд зрительной работы?

Лабораторная работа 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ОТ НЕГО

Цель работы: исследование параметров производственного шума на соответствие требованиям санитарных норм и изучение основных принципов по эффективной защите от шума.

7.1. Общие сведения

Мешающий или нежелательный для человека звук, или шум является вредным фактором, влияющим как на органы слуха человека, что вызывает шумовую болезнь, так и на нервную и сердечно-сосудистую системы, что вызывает другие, неспецифические для человека виды болезней. Шум является одним из видов загрязнения окружающей среды. Ограничению его вредного воздействия служит санитарное нормирование шума – установление допустимых его параметров в месте обитания человека. Нормируемыми параметрами шума по ГОСТ 12.1.003–83* и СН 2.2.4/2.1.8.562–96 являются уровень звукового давления и уровень звука.

Уровнем звукового давления L , дБ, называется величина, определяемая выражением

$$L = 20 \lg \frac{P_{\text{ср}}}{P_0},$$

где P_0 – пороговая величина звукового давления, равная $2 \cdot 10^{-5}$ Па (порог слышимости на частоте 1000 Гц).

Допустимые значения уровней звукового давления устанавливаются для частотного интервала, который называется октавой. *Октава* – это частотный интервал, в котором верхняя $f_{\text{в}}$ и нижняя $f_{\text{н}}$ граничные частоты отличаются в два раза ($f_{\text{в}} / f_{\text{н}} = 2$). Определяющей для этих частотных интервалов является среднегеометрическая частота $f_{\text{ср}} = \sqrt{f_{\text{в}} f_{\text{н}}}$.

Как правило, допустимые уровни представляют в виде кривых, называемых предельными спектрами (ПС). Предельный спектр получает номер по числу децибел, которые допускаются в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц (рис. 6.1). В зависимости от вида жизнедеятельно-

сти предельные спектры могут быть от ПС–25 (сон человека или палаты больных) до ПС–75 (работа на шумном производстве). Для того чтобы определить, удовлетворяет ли шум нормативным требованиям, нужно снять спектрограмму шума в октавных полосах и сравнить с допустимым ПС.

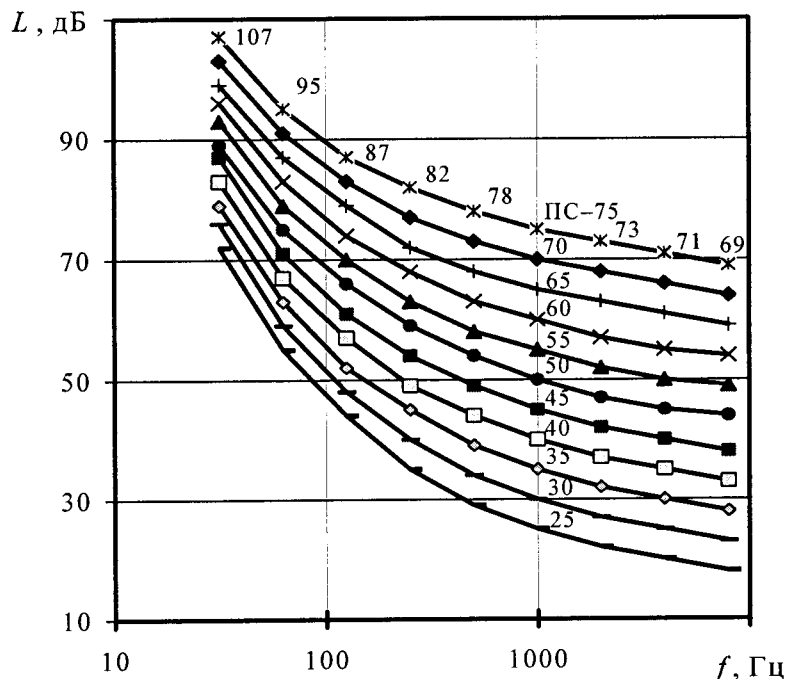


Рис. 6.1. Семейство нормировочных кривых шума (ПС)

В качестве характеристики постоянного широкополосного шума принимается уровень звука L_A , дБА, измеренный на временной характеристике “медленно” шумомера, а непостоянного шума эквивалентный (по энергии) уровень звука, $L_{A_{\text{экв}}}$, определяемые, соответственно, по формулам:

$$L_A = 20 \lg \frac{p_A}{p_0}, \quad L_{A_{\text{экв}}} = 10 \lg \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \left(\frac{p_A(\tau)}{p_0} \right)^2 d\tau,$$

где p_A – среднеквадратическое значение звукового давления с учётом коррекции “А” шумомера.

Уровень звука является скорректированным уровнем звукового давления, измеряемым шумомером с помощью характеристики “А”, в которой снижена чувствительность на низких частотах, так же, как и человеческого уха. С помощью коррекции “А” осуществляется ослабление звуковых сигналов, соответствующее следующим частотным характеристикам:

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Стандартная частотная характеристика "А" шумомера, дБ	-40	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1

Уровень звука позволяет ориентировочно оценить, соответствует ли шум допустимым уровням или нет, не производя спектрального анализа данного шума. Предельному спектру ПС-45 соответствует допустимый уровень звука 50 дБА, предельному спектру ПС-75 – 80 дБА.

Доза шума D , $\text{Па}^2 \cdot \text{ч}$ (допустимая доза для человека за 8 ч работы составляет 1 $\text{Па}^2 \cdot \text{ч}$) – интегральная величина, учитывающая акустическую энергию, воздействующую на человека за определённый период времени τ :

$$D = \int_0^{\tau} p_A^2(\tau) d\tau,$$

где $p_A(\tau)$ – текущее значение среднеквадратического звукового давления с учётом коррекции "А" шумомера.

Структурная схема шумомера (рис. 7.2), как правило, включает в себя микрофон 1, преобразующий звуковые колебания в электрические, которые усиливаются усилителем 2. Прибор должен работать в широком динамическом диапазоне. Чтобы обеспечить достаточное усиление самых слабых сигналов и избежать перегрузки при прохождении наиболее интенсивных, шумомер снабжен аттенюаторами (делителями) 4, позволяющими переключать усиление шумомера ступенями по 10 дБ. Считывание показаний прибора производится сложением показаний аттенюаторов и стрелочного прибора шумомера 6.

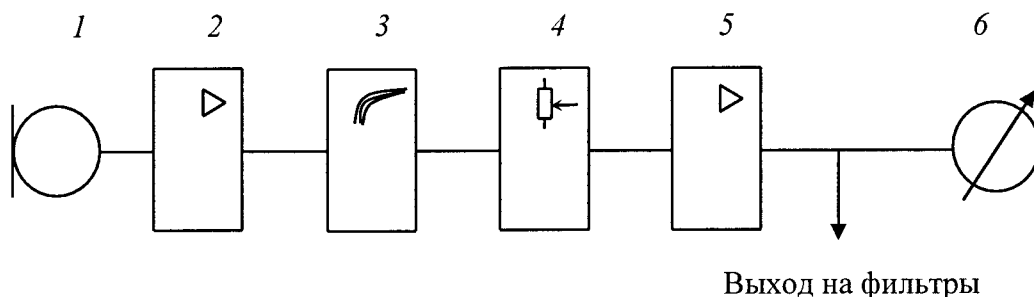


Рис. 7.2. Структурная схема шумомера:

1 – микрофон; 2 – предварительный усилитель; 3 – корректирующие цепи;
4 – аттенюатор; 5 – усилитель; 6 – показывающий прибор

Шумомер имеет четыре частотные характеристики – A , B , C и линейную, которые создаются корректирующими цепями 3. Линейная характеристика используется при подключении к шумомеру набора фильтров для определения распределения уровней звуковых давлений по частотам. Характеристика “ A ” шумомера предназначена для измерений уровней звука по шкале A (дБА).

Снижение шума на рабочем месте до соответствующего требованиям нормативных документов может быть обеспечено различными путями.

Наиболее эффективным является снижение шума в самом источнике шумообразования. Общими рекомендациями по ограничению шума в источнике являются разнесение частот собственных колебаний деталей от частот возмущающих сил; замена металлических деталей деталями из пластмасс; установка гибких связей (упругих прокладок, пружин) между деталями и узлами агрегата, возбуждающими вибрации; демпфирование вибраций соударяющихся деталей путём сочленения их с материалами, имеющими большое внутреннее трение (резина, пробка, асбест).

Другим способом борьбы с шумом является звукопоглощение.

Звукопоглощение. Звукопоглощающие материалы и конструкции служат для поглощения звука как в объёме, где расположен источник звука, так и в соседних объёмах. В качестве звукопоглощающих материалов, как правило, используются материалы, в которых происходит процесс перехода звуковой энергии в тепловую. Чаще всего в качестве звукопоглощающих материалов применяются пористые материалы (например, маты из супертонкого стекловолокна, базальтового волокна, плиты “Акмигран”). Падающие звуковые волны вызывают колебания воздуха в порах вещества. Вследствие вязкости воздуха колебания его в таких порах сопровождаются трением и кинетическая энергия колеблющегося воздуха переходит в тепловую.

Звукопоглощающие конструкции характеризуют коэффициентом звукопоглощения α , который равен отношению энергии поглощенной к энергии падающей. Он зависит от частоты звуковой волны и от угла её падения. Поэтому звукопоглощающие конструкции принято характеризовать частотной характеристикой так называемого диффузного (реверберационного) коэффициента звукопоглощения. Последний получается усреднением коэффициентов звукопоглощения по разнообразным углам падения.

Увеличение толщины материала приводит к увеличению коэффициента звукопоглощения на более низких частотах. Объясняется это тем, что для звукопоглощения важна не абсолютная длина пути звука в материале L , а длина пути по отношению к длине звуковой волны L/λ . При увеличении толщины звукопоглощающего материала понижается частота, на которой сохраняется то же отношение L/λ .

Снижение шума в зоне прямого звука в области средних частот (от 100 до 800 Гц) не превышает 4...5 дБ, в зоне отражённого звука это значение составляет 10...12 дБ. При необходимости снижения шума на большую величину звукопоглощающие облицовки следует применять совместно с другими мероприятиями по шумоглушению.

Звукоизоляция. Для звукоизоляции применяют твёрдые материалы, рассчитанные на то, чтобы не пропустить звук из одного объёма в другой за счёт отражения звука. Простейшим видом звукоизолирующего ограждения является однородная стена (перегородка), разделяющая два помещения с различным шумом.

Собственная звукоизоляция, или звукоизолирующая способность стены $R_{\text{соб}}$, дБ, определяется соотношением

$$R_{\text{соб}} = 10 \lg \frac{1}{\tau}.$$

где τ — коэффициент звукопроводности, равный отношению энергии, прошедшей через стену, к энергии падающей.

Для снижения шума машины могут быть использованы звукоизолирующие кожухи на шумный узел или на всю машину в целом. Эффективность кожуха (фактическая звукоизоляция) оценивается разностью уровней звуковых давлений, создаваемых в помещении до и после устройства кожуха.

Фактическая звукоизоляция кожуха $R_{\text{ф}}$, дБ, изготовленного из одного звукоизоляционного материала (металла, дерева, твёрдых пластмасс) и покрытого изнутри звукопоглощающим материалом, имеющим один и тот же диффузный коэффициент звукопоглощения $\alpha_{\text{диф}}$ для всей внутренней поверхности, определяется соотношением

$$R_{\text{ф}} = R_{\text{соб}} + 10 \lg \alpha_{\text{диф}}.$$

$R_{\text{ф}} \cong R_{\text{соб}}$ при $\alpha_{\text{диф}} = 1$, поэтому эффект звукоизоляции полностью реализуется.

Поскольку обычно $\alpha_{\text{диф}} < 1$, $R_{\text{ф}} < R_{\text{соб}}$. Физически это объясняется тем, что при заключении машин в кожух за счёт многократных отражений от стенок кожуха уровни звукового давления возрастают.

Наличие щелей и отверстий звукоизоляцию существенно ухудшает. В лабораторной работе предлагается исследовать перегородку со щелями.

Акустическое экранирование. Акустический экран – это преграда ограниченных размеров с определённой звукоизолирующей способностью, устанавливаемая между источником шума и защищаемым от шума местом.

При распространении прямого звука от источника шума за экраном возникает звуковая тень, то есть снижение уровней звукового давления. Экраны наиболее эффективны для снижения шума высоких и средних частот и плохо снижают низкочастотный шум, который легко огибает экраны за счёт эффекта дифракции. Снижение уровня звукового давления прямого звука $\Delta L_{\text{экр}}$ в расчётной точке, расположенной за экраном, называется акустической эффективностью экрана.

Акустические экраны целесообразно применять, когда в рассматриваемой точке уровень звукового давления прямого звука существенно выше, чем уровни звукового давления, создаваемого в той же точке отражённым звуком.

Экраны обычно изготавливаются из оргстекла, стальных или алюминиевых листов толщиной 1.5...2 мм. Эффективность экрана зависит от его геометрических размеров, частоты звука, взаимного расположения источника, экрана и точки измерения. В помещениях, где вклад отражённых сигналов велик, применение акустических экранов малоэффективно. В этом случае они должны применяться совместно с акустической обработкой помещения.

Эффективность любого мероприятия по шумоглушению L_3 , дБ, определяется как

$$L_3 = L_1 - L_2,$$

где L_1 – уровень звукового давления в рабочей зоне до проведения мероприятия по шумоглушению; L_2 – уровень звукового давления в рабочей зоне после проведения мероприятий по шумоглушению.

Работа проводится на лабораторном стенде, внешний вид которого представлен на рис. 7.3. Он состоит из звукоизолирующего бокса с микрофоном и источником шума, шумомера и набора средств защиты от шума.

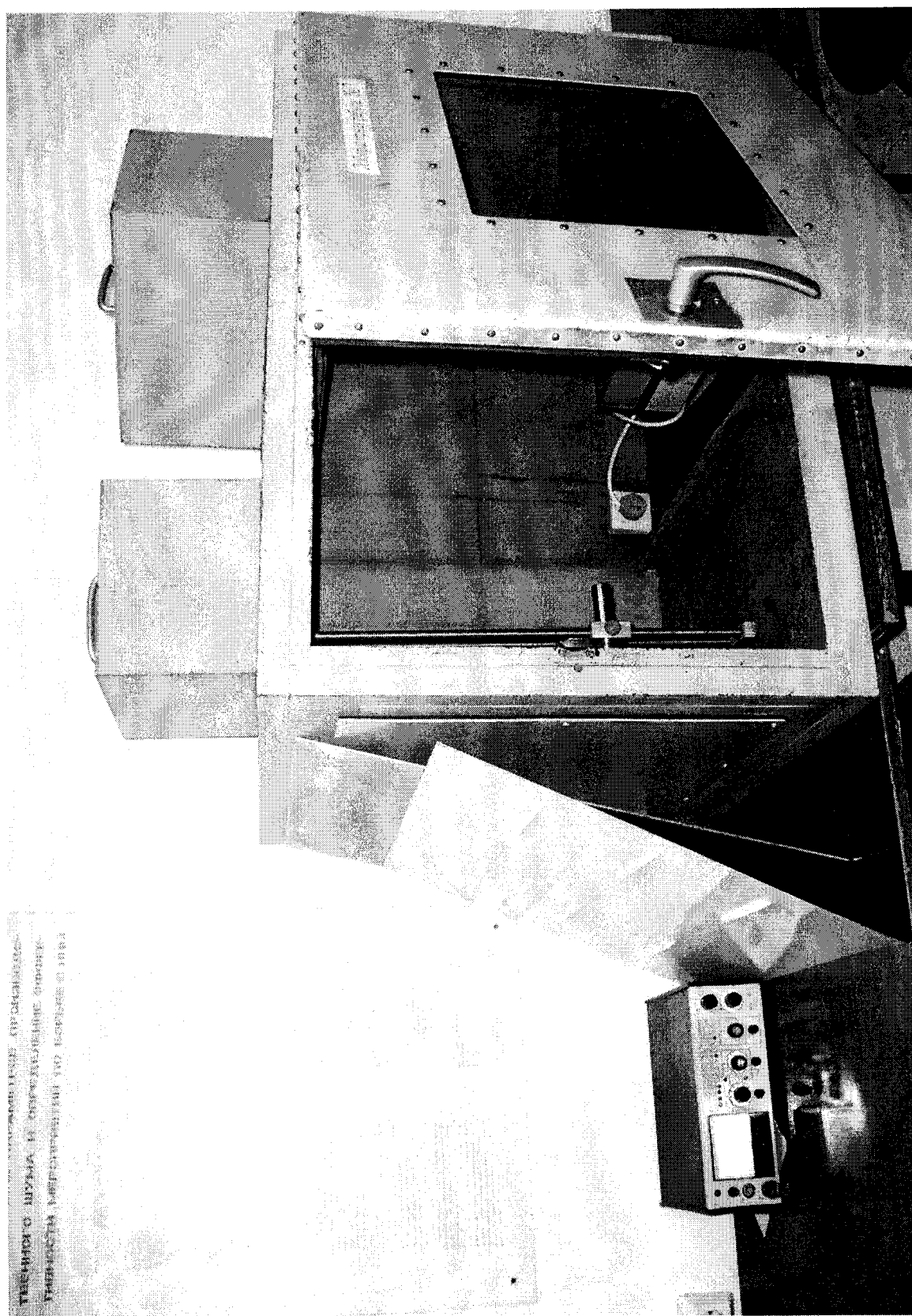


Рис. 7.3. Внешний вид стенда

В качестве средств защиты используются звукоизолирующий кожух; звукоизолирующий кожух, облицованный звукопоглощающим материалом; набор акустических экранов и перегородок.

7.2. Содержание и порядок выполнения работы

В работе предлагается исследовать параметры шума на рабочем месте (внутри бокса) при отсутствии и при наличии мероприятий по шумоглушению и определить частотные зависимости эффективности этих мероприятий.

Заготовьте таблицу записи и обработки результатов по форме табл. 7.1.

Таблица 7.1

№ п/п	Условия опыта и необходимые для обработки результаты	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со средне- геометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
		31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Шумовой фон										
2	Источник шума без средств защиты										
3	Предельно допустимые уровни звукового давления и уровень звука										
4	Превышение над предельно допустимым уровнем звукового давления и над уровнем звука										
5	Источник шума в кожухе без звукопоглотителя										
6	То же в кожухе со звукопогло- тителем										
7	Источник шума с экраном №1										
8	То же с экраном №2										
9	Эффективность кожуха без зву- копоглотителя										
10	То же со звукопоглотителем										
11	Эффективность экрана №1										
12	То же экрана №2										
13	Превышение над предельно допустимым уровнем звукового давления и уровнем звука по пп. 5 – 8										

Исследование зависимости параметров шумовой помехи

Включите шумомер. Ознакомьтесь с его работой и порядком измерений. Не включая источник шума, снимите распределение уровней звукового давления от частоты и уровень звука шумовой помехи (проникающих помех) на рабочем месте. Измерение повторите три раза. Вычислите среднее значение в каждой октавной полосе. Сделайте вывод о характере шума (низко-, средне- или высокочастотный).

Исследование зависимости параметров шума от частоты

1. Включите источник шума. Измерьте уровни звуковых давлений в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31.5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц и уровень звука. Каждое измерение произведите не менее трёх раз. Определите в каждой октавной полосе среднее измеренное значение и среднее значение параметров шума источника с учётом поправки на шумовой фон, используя следующие данные:

Разность двух вычитаемых источников, дБ (дБА)	10	6 – 9	5 – 4	3	2	1
Поправка к более высокому уровню (Δ), дБ (дБА)	0	–1	–2	–3	–5	–7

2. Оцените погрешность измерений (методика оценки погрешности приведена на лабораторном стенде).

3. Сравните параметры шума на рабочем месте с предельным спектром, указанным преподавателем, и определите, нужна ли дополнительная защита.

Исследование средств защиты от шума

1. Если требуется дополнительная защита, заключите источник шума в звукоизолирующий кожух и включите его. Измерьте уровни звуковых давлений в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31.5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц и уровень звука. Снимите кожух при включённом источнике шума и субъективно (на слух) оцените эффективность его защиты. Сопоставьте результаты измерений с полученными при исследовании параметров шума без средств защиты, определите эффективность исследованного средства защиты и объясните принцип его работы.

2. Заключите источник шума в звукоизолирующий кожух со звукопоглотителем и проведите измерения, аналогичные указанным в п. 1. Определите эффективность звукоизолирующего кожуха со звукопоглотителем. Объясните, почему на высоких частотах эффективность звукоизолирующего кожуха со звукопоглотителем выше, чем без звукопоглотителя.

3. Снимите с источника шума кожух. Установите между источником шума и микрофоном экран или перегородку (по указанию преподавателя). Произведите измерения, аналогичные указанным в п. 1. Из сопоставлений результатов измерений с допустимыми сделайте вывод о соответствии измеренных параметров допустимым. Определите эффективность акустического экрана. Объясните физические принципы действия акустического экрана и перегородки.

4. Выберите средства защиты, обеспечивающие параметры шума на рабочем месте, не превышающие предельный спектр, номер которого указывается преподавателем. Если параметры шума от одного средства защиты не удовлетворяют требованиям указанного ПС, проведите исследования с двумя средствами защиты (например, экран + кожух).

7.3. Содержание отчёта

В отчёте должны содержаться следующие данные:

- цель работы;
- описание основных исследуемых физических величин, видов воздействия шума на человека, принципов защиты от шума;
- перечень проведённых измерений с результатами в табличной и в графической формах (зависимости измеренных уровней звукового давления от частоты источника шума без средств защиты и при наличии кожухов и экранов как с учётом, так и без учёта шумового фона);
- графики зависимостей эффективности исследованных средств защиты от частоты;
- оценка погрешности результатов измерений и расчётов;
- подробные выводы (объёмом не менее одной страницы) по результатам работы, включая анализ эффективности средств шумоглушения на разных частотах и соответствия уровней звукового давления и уровней звука на рабочем месте предельно допустимым.

7.4. Контрольные вопросы

1. Какая величина называется уровнем звукового давления?
2. Каково устройство шумомера?
3. По каким параметрам нормируется шум?
4. Чем эффект звукоизоляции отличается от звукопоглощения?

Лабораторная работа 8 (10)*

ЭРГНОМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОСПРИЯТИЯ ЧЕЛОВЕКОМ ЗРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Цель работы: исследование влияния параметров предъявления зрительной информации на характеристики деятельности человека.

8.1. Общие сведения

Распространение автоматизированных систем управления выдвинуло в число актуальных проблем разработку методов проектирования операторских пунктов и в первую очередь систем и средств отображения информации (СОИ). Остро стоит вопрос о психофизиологической оценке индикаторов телевизионного типа, о принципах, методах и средствах контроля над состоянием человека-оператора, в частности над функциональным состоянием зрительного анализатора.

Операторы систем управления и контроля на видеотерминалах в течение рабочего дня выполняют сложную, зрительно напряжённую работу, вызывающую как зрительное, так и общее утомление, которое свидетельствует о неадекватности средств отображения информации (в данном случае светотехнических параметров телевизионных экранов) особенностям процессов, определяемых психофизиологическими характеристиками зрения человека. В связи с этим в настоящее время первостепенное значение приобретает психофизиологический подход к решению вопросов оптимизации взаимодействия оператора с видеотерминалами (ВДТ), оценки качества отображаемой информации и её количественных характеристик. Такой подход подразумевает исследование функционального состояния зрительного анализатора и установление динамики зрительных функций в конкретных условиях операторской деятельности.

Специфика работы с телевизионным экраном или экраном монитора заключается в том, что оператор должен воспринимать информацию не в проходящем свете, как это обычно бывает при использовании знаковой индикации, и не в отражённом, а с экранов электронно-лучевых трубок или жидкокристаллических мониторов и плазменных панелей, которые сами являются источниками света.

* В скобках указан сквозной номер лабораторных работ по учебному плану.

По данным психофизики зрения оптимальными условиями работы глаза являются такие, при которых достигаются наивысшие значения основных функций зрения: контрастной и световой чувствительностей, быстроты и остроты различения. Многочисленными экспериментами определены оптимальные значения угловых размеров α , яркости L , контраста K , времени различения τ для основных функций зрения. Однако количественные характеристики α , L , K , τ – раздражителей, включённых в процесс оперативной работы, оказываются иными, чем при оценке основных функций зрения. Это связано с тем, что в реальных условиях оператор имеет дело с классом объектов другого уровня сложности, чем объекты классической психофизики, и условия их опознавания сильно отличаются от лабораторных.

Современные способы предъявления зрительной информации (на телевизионных экранах, дисплеях), особые требования к эффективности её обработки в процессе трудовой деятельности делают психофизические проблемы особенно актуальными, а определения оптимальных условий отображения – необходимыми. Таким образом, проблема оптимизации условий предъявления информации на средствах отображения включает исследование психофизических зависимостей в процессе содержательной деятельности оператора и психофизиологическую оценку телевизионного способа предъявления информации.

На эффективность приёма зрительной информации с экрана ВДТ влияют также такие факторы, как уровень освещённости в помещении, наличие шума и т. д. В процессе эксперимента, как правило, проявляется влияние тренировки (улучшение результатов после нескольких серий в начале работы), а также влияние зрительного утомления (ухудшение результатов в конце эксперимента). Важным фактором являются и индивидуальные характеристики человека и его зрительного анализатора.

Конструктивно визуальные СОИ могут быть разных типов: стрелочные СОИ, СОИ на электронно-лучевых трубках, СОИ коллективного пользования, мнемосхемы. Для каждого из типов разработаны специфичные эргономические рекомендации. Для отображения информации на дисплее следует учитывать следующие рекомендации: должны соответствовать психологическим характеристикам яркость и цвет свечения экрана дисплея, контраст, частота мелькания изображения, величина буквенно-цифровых знаков и скорость предъявления информации. Необходимо оптимальным образом выби-

рать цвет свечения экрана, высвечивания знаков жёлто-зелёного спектра; эти цвета характеризуются максимальной видностью и не утомляют глаз.

Наибольшее влияние на результаты деятельности оператора оказывает интенсивность поступающей к нему информации. Фактические характеристики деятельности оператора не должны превышать соответствующих предельно допустимых значений. Превышение их повлечёт за собой напряжённость в работе оператора, его переутомление, а значит, повысит вероятность ошибок, несчастных случаев и аварийных ситуаций.

В соответствии с приведёнными положениями задачей данной лабораторной работы является исследование влияния условий предъявления визуальной информации на эффективность её приёма и переработки пользователем. В качестве исследуемых взаимосвязанных параметров изображения выбраны цвет символов, окна и фона, время экспозиции символов, их угловой размер знаков, местоположение окна для предъявления символов на экране индикатора и др.

Деятельность оператора разделяется на следующие основные этапы.

Восприятие информации – процесс, включающий качественно различные операции: обнаружение объекта восприятия; выделение в объекте отдельных признаков, отвечающих стоящей перед оператором задаче; ознакомление с выделенными признаками и опознавание объекта восприятия.

Оценка информации, её анализ и обобщение на основе заранее заданных или сформированных критериях оценки. Оценка проводится на основе сопоставления воспринятой информационной модели со сложившейся у оператора внутренней образно-концептуальной моделью обстановки (системы управления).

Объём воспроизведённого материала определяется не столько объёмом восприятия, сколько *объёмом памяти* – в зрительном образе может отражаться значительно большее число объектов. Основными процессами памяти являются запоминание, забывание и воспроизведение.

Запоминание. Приняв поступившую информацию, оператор её анализирует, преобразует и запоминает. Основные формы памяти: *кратковременная* (обеспечивает хранение поступившей информации в течение секунды и минуты) и *долговременная* (в течение дня, месяца, года). Оператор иногда допускает ошибки не потому, что не запомнил необходимую информацию, а потому, что не забыл ненужную, уже использованную.

Основными характеристиками оперативной памяти являются объём, точность и длительность сохранения информации. Объём оперативной памяти определяется тем количеством сигналов (стимулов), которые оператор способен запомнить после одного кратковременного предъявления. Необходимо различать объёмы памяти на статические и на динамические сигналы. В первом случае оператор должен запомнить и воспроизвести неизменяемую последовательность сигналов. Объём памяти составляет при этом в среднем 5...9 символов, причём чем меньше длина алфавита символов, тем больше объём памяти, и наоборот.

Оперативная память, обеспечивая решение текущих задач оператором, играет важную роль в его деятельности. Установлено, что часть ошибок операторов связана с процессами памяти, большое влияние она оказывает и на пропускную способность оператора.

Забывание (исключение информации из памяти) – сложный и неравномерный процесс. Кривая забывания характеризуется “стремительным падением вниз” – сразу же, в первые часы после запоминания материала. Усвоенная информация наиболее значительно уменьшается за первые девять часов: она падает со 100 до 35 %, то есть процент сбережения усвоенного материала обратно пропорционален логарифму времени.

Воспроизведение – процесс извлечения информации, хранящейся в памяти. Преднамеренное воспроизведение – это процесс осознанного восстановления хранимой информации. Непреднамеренное воспроизведение – это процесс, при котором информация как бы всплывает сама собой. Пространственные характеристики зрительного анализатора определяются воспринимаемыми глазом размерами предметов и их месторасположением в пространстве. К ним относятся острота зрения, поле зрения и объём зрительного восприятия.

Острота зрения – способность глаза различать мелкие детали предметов. Она оценивается величиной, обратной тому минимальному размеру предмета, при котором он различим глазом. Размеры предметов выражаются в угловых величинах, которые связаны с линейными размерами:

$$h = 2l \operatorname{tg} \alpha/2, \quad \alpha/2 = \operatorname{arctg}\left(\frac{h}{2l}\right),$$

где h и α – соответственно, линейный и угловой размеры предмета (или знака); l – расстояние от глаза до предмета.

Угловой размер знака – угол между линиями, соединяющими крайние точки знака по высоте и глаз наблюдателя. Предельные его значения в угловых минутах (от максимума до минимума) составляют 16...60'. Угол зрения, равный 1', соответствует единице остроты зрения. Минимально допустимые размеры элементов изображения, предъявляемого оператору, должны быть не менее 15'.

Каждый человек по-своему воспринимает, запоминает и мыслит. Различают два основных вида зрительной памяти – сенсорную и иконическую.

Сенсорная память обладает малым промежутком хранения информации. Её функция ограничивается отражением и запечатлением объекта во всей полноте его признаков, доступных воспринимающей системе, то есть находящихся в зоне её разрешающей способности. Время хранения информации в сенсорной памяти невелико – порядка 100 мс, так как при работе зрительной системы в динамическом режиме (постоянная смена точек фиксации) она всё время должна освобождаться для приёма новой порции информации. В сенсорной памяти фиксируется пространственная локализация объектов. Благодаря своему огромному объёму эта память выполняет функции контроля за изменениями, происходящими в объекте или в окружающей среде. Изменения, регистрируемые в сенсорной памяти, являются поводом для включения других уровней переработки информации, ответственных за обнаружение, поиск, опознание, а также других форм переработки массивов “сырой” сенсорной информации.

Иконическая память. Если сенсорная память хранит всю предъявленную информацию независимо от того, организована она или нет, то в иконической памяти происходят преобразование и хранение объектной информации в виде сенсорных и перцептивных эталонов, которые впоследствии могут быть переработаны. Объём хранимой в иконической памяти информации очень велик. По имеющимся оценкам в иконической памяти хранится до 12 символов в течение 800...1000 мс. Основными функциями этого вида памяти являются сохранение зрительного “оригинала” и обеспечение связи ранее зафиксированных следов с последующими. Итак, в иконической памяти присутствуют как динамические (преобразования), так и консервативные (сохранение) компоненты.

Опасность несчастных случаев возрастает при воздействии следующих неблагоприятных факторов: *информационных помех и информационной пе-*

регрузки (человек не смог верно принять нужную информацию, и это привело к ошибке) либо *информационной недогрузки* (информация отсутствовала или была недостаточна для выбора правильного действия либо человек потерял бдительность в монотонных условиях отсутствия значимой информации), выступающих как факторы риска при приёме информации; *факторов риска при обработке информации* (неадекватность восприятия, отрицательные установки, предубеждения); *факторов риска при принятии решений и реализации решений* (недостаток информации, лимит времени на принятие решения, неадекватность сенсомоторных реакций, затруднённость действий вследствие неудобного оборудования, неудобного рабочего места и т. д.).

Указанные факторы могут играть не только временную роль в повышении риска несчастных случаев, но порой и длительно усиливать риск вследствие эргономического несоответствия оборудования, техники, средств отображения информации, объёма информационного потока и пр. психологическим возможностям и способностям человека по приёму, переработке информации, реализации действий. Для повышения надёжности работы человека и техники, а также для снижения несчастных случаев необходимо осуществить эргономическую оптимизацию оборудования, рабочего места, оптимизацию информационной нагрузки.

На скорость и точность восприятия информации влияет *выбранный способ кодирования информации*, то есть способ представления информации с помощью условных символов. Способ кодирования информации может быть цифровым, буквенным, с помощью геометрических форм, размеров, а также частотой мельканий, цветом и т. д. Выбор способа кодирования зависит от характера решаемой задачи: так, при задаче поиска информации эффективно кодирование цветом, а буквы лучше использовать для передачи информации о назначении объекта, цифры – для информации о его количественных характеристиках, геометрические фигуры (мнемознаки) – для кодирования информации в тех случаях, когда оператору необходима наглядная картина о технологическом процессе управляемого объекта.

Время выполнения оператором отдельных действий складывается из времени приёма информации, её анализа и переработки, осуществления управляющих воздействий, а также времени срабатывания технических звеньев (например, время считывания показания цифрового СОИ на базе газоразрядных ламп – 0.73 с; восприятие семизначного числа – 1.2 с; чтение слова из *n*

букв $\tau = 22 + 0.9n$ (мс); набор на клавиатуре дисплея одного знака $\tau = 0.6$ с; простейшее арифметическое вычисление – 1 с; решение комбинированной логической задачи при числе условий $n = 2$ $\tau = 4$ с, при $n = 5$ $\tau = 20$ с, при $n = 8$, $\tau = 60$ с; нажатие кнопки – 1.6 с; поворот переключателя – 0.7 с; вращение рукояток – 0.6 с; выдача команды голосом (5 – 6 слов) – 3 с).

Основную информацию глаз получает во время относительно неподвижного положения зрачка, а во время его резкого перемещения (скачка) он почти не получает никакой информации. Продолжительность скачка в среднем составляет 0.025 с, а продолжительность фиксации – 0.25...0.65 с и более. Временные характеристики определяются временем, необходимым для возникновения зрительного ощущения. Основные из них – *время адаптации*, *скрытый период зрительной реакции* и *длительность инерции ощущения*. Для большинства людей *скрытый период зрительной реакции* лежит в пределах 160...240 мс. *Время сохранения ощущения* обычно равно 0.2...0.6 с.

Все поле зрения можно разбить на три зоны: центрального зрения ($\approx 4^\circ$), где возможно наиболее чёткое различение деталей; ясного видения ($30...35^\circ$), где при неподвижном зрачке можно опознать предмет без различных мелких деталей, и периферического зрения ($75...90^\circ$). В процессе поиска размеры зоны ясного видения составляют примерно 10° . Характеристики объёма: *число объектов*, которые может охватить человек в течение одной зрительной фиксации (при предъявлении не связанных между собой объектов объём восприятия составляет 4...8 элементов). В итоге под *объёмом восприятия* следует понимать то количество предметов (но не более 4...8), которое одновременно попадает в зону, ограниченную углом 10° в горизонтальной и в вертикальной плоскостях.

8.2. Содержание и порядок выполнения работы

В работе предлагается исследовать влияние параметров выводимой зрительной информации (размера, набора символов, способа их вывода и стабильности или неопределённости позиционирования на экране монитора) на эффективность её восприятия человеком и определить, в каких случаях человек может ошибаться при воспроизведении зрительной информации, а ошибаясь, создавать аварийную ситуацию при работе с СОИ.

1. Запустите программу на компьютере. В появившейся на экране форме (рис. 8.1) можно менять окно ввода и параметры выводимой информации.

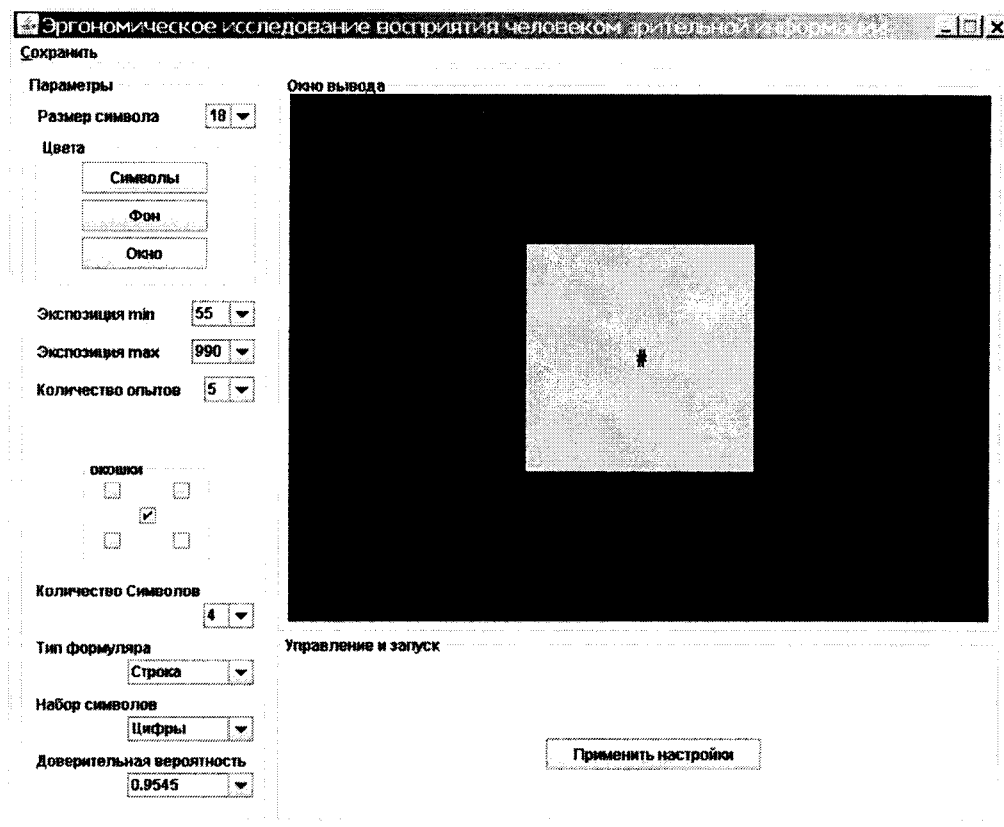


Рис. 8.1. Экранная форма программы

2. В экранном “меню” установите исходные значения параметров предъявления информации: размер символа 8; цвета фона, окна и символа – по своему усмотрению (например, фон – чёрный, окно – белое, символ – чёрный); минимальная и максимальная экспозиции, соответственно, 55 и 330 мс; количество опытов 5; количество окон 1; набор символов “цифры”; тип формуляра – строка, число символов 5. Количество окон для первой серии экспериментов можно взять одно. Если вы желаете, чтобы информация выводилась в середине окна, установите “галочку” в центральной части окошка.

3. Проведите первую серию опытов для первого испытуемого, нажимая кнопку “Провести опыт”. При этом на экране предъявляются формуляры, содержащие случайные последовательности из пяти цифр. В программе через каждые пять предъявлений предусмотрено последовательное увеличение времени экспозиции, которое принимает следующие значения: 55; 110; 165; 220; 275; 330 мс. Задачей испытуемого является набор на клавиатуре предъявленной последовательности цифр и подтверждение их нажатием клавиши “Ввод”. После проведения 30 опытов появится сообщение: “Первая очередь закончена. Будет ли работать следующий испытуемый?”.

4. Нажмите кнопку “Да” и проведите вторую серию опытов со вторым испытуемым. При необходимости серия опытов может быть продолжена и третьим человеком.

5. После завершения первой серии или серий экспериментов и нажатия кнопки “Нет” на экран выводится таблица полученных результатов, которую необходимо занести в протокол.

6. После того, как будут получены результаты в виде таблиц и графиков, можете перейти к следующей серии экспериментов. Условия экспериментов вы можете получить у преподавателя. При этом следует изменить значение только **одного** из параметров информации (например, значение размера символа можно менять с варианта “8” на вариант “12”).

7. При новом варианте значений параметров информации проведите ещё две (или три) серии опытов с теми же испытуемыми. Порядок проведения аналогичен описанному в пп. 2 – 5.

8. По указанию преподавателя проведите дополнительные серии опытов при изменении какого-либо из остальных параметров информации. К примеру, могут быть рекомендованы серии экспериментов, в которых изучается влияние стабильности или неопределённости вывода информации на экран монитора. Для этого нужно поставить необходимое число “галочек” в поле “окошки”. Можно изменить тип формуляра на столбец, матрицу или крест, проанализировав в результате проделанного опыта, как это влияет на правильность ответов. Можете протестировать свои индивидуальные способности по запоминанию максимального числа символов за какое-либо фиксированное время представления информации на экране и т. д. Для того чтобы иметь целостное представление о причинах ошибок при работе человека-оператора с СОИ или о неудобстве работы пользователя программного обеспечения, которое не отвечает некоторым эргономическим требованиям, а также, чтобы ответить на вопросы при защите лабораторной работы, необходимо провести как можно больше исследований.

8.3. Содержание отчёта

В отчёте должны содержаться следующие данные:

- цель работы;
- перечень проведённых измерений с результатами в табличной и в графической формах (например, результаты для испытуемых № 1 и 2 при

размере символа 8, то же при размере 12; графики, соответствующие значениям этих размеров для первого испытуемого, то же для второго испытуемого, и т. д.);

– подробные выводы по результатам работы (об индивидуальных различиях в процессе восприятия и опознания зрительной информации; о влиянии изменения значений исследуемых параметров на эффективность приёма зрительной информации; о влиянии изменения времени экспозиции; о влиянии дополнительных факторов, таких, как утомление, тренировка, отвлечение внимания и др., на появление отдельных результатов, отличных от ожидаемых) и теоретические сведения о влиянии на эффективность приёма зрительной информации остальных факторов, перечисленных в “меню”.

8.4. Контрольные вопросы

1. Что такое экспозиция при выводе информации на средство её отображения?
2. Какой критерий используется в лабораторной работе для оценки эффективности приёма информации?
3. Как зависит вероятность правильного восприятия информации от способа зрительного кодирования информации при одинаковом времени ее предъявления?
4. Как зависит вероятность правильного восприятия информации от размера символов, кодирующих информацию?
5. Как зависит вероятность правильного восприятия информации от способа представления информации (цифровой или буквенный код) при одинаковом количестве предъявляемых символов?
6. Как влияет форма выведения информации (столбик, строка, матрица и т. д.) на вероятность правильного опознавания информации?
7. Какова динамика изменения показателей эффективности восприятия информации в процессе продолжительного опыта?
8. Как влияет стабильность или неопределенность нахождения ожидаемого места появления информации на экране монитора на эффективность правильного восприятия информации?
9. Как влияет вид информации – смысловая или бессмысленная – на эффективность восприятия информации, представленной буквенным кодом?

Лабораторная работа 9 (23)*.

ЛИЧНОСТЬ И СТРЕСС

Цель работы: исследование психологического портрета и стрессоустойчивости человека на основе тестовых методик.

9.1. Общие сведения

Стресс – это *неспецифическая* реакция организма на стрессор (фактор, вызывающий стресс). Любые воздействия на человека, сколь разными они ни были бы (как вредные, так и полезные физические, химические, биологические и психофизиологические факторы), обуславливают определённые требования к адаптации или приспособлению организма к новым условиям. Крайне приятное и крайне неприятное эмоциональное возбуждение, наступающее от обычно относительно “расслабленного” состояния, характеризующегося низким уровнем стресса, может привести к дистрессу (неприятному или вредоносному стрессу), иногда оканчивающемуся крупными неприятностями для здоровья человека или даже его смертью.

Исследования влияния стрессовых ситуаций на здоровье человека показали, что вероятность возникновения серьёзных заболеваний (в частности, кардиологических) в значительной степени зависит от его индивидуально-психологических характеристик. В связи с этим было введено понятие *стрессоустойчивости* человека в качестве фактора, существенно влияющего на результат воздействия на него стрессовых ситуаций.

Как показывает анализ результатов ряда клинических исследований, стрессоустойчивость человека связана в первую очередь со следующими его психологическими характеристиками:

- Характеристика по шкале “гибкость – жёсткость”. В одном из клинических исследований доля людей с характеристикой “недостаточно гибкая стратегия поведения при преодолении стрессовых ситуаций” составила 92 % от общего числа исследованных больных ишемической болезнью сердца.
- Характеристика “тревожность”. В ряде исследований отмечаются большая подверженность людей с повышенной “тревожностью” эмоциональным стрессам и увеличение у них физиологических реакций при стрессах.

* В скобках указан сквозной номер лабораторных работ по учебному плану.

Представители поведенческой модели типа “Б” более расслаблены, склонны к сотрудничеству, не столь спонтанны в работе и выглядят более удовлетворенными повседневной жизнью и окружением.

9.2. Содержание и порядок выполнения работы

В работе на базе разработанной компьютерной программы предлагается исследовать параметры стрессоустойчивости человека и проанализировать его психологические и поведенческие характеристики с помощью тестовых методик и обработки полученных результатов.

Программа включает следующие тестовые методики:

1. Тест Кейрси (анализ психологических характеристик по шкале “гибкость – жёсткость”).
2. Тест Айзенка (анализ темперамента и характеристики по шкале “экстраверсия – интроверсия”).
3. Тест Спилбергера (анализ характеристики “тревожность”).
4. Тест на выраженность поведенческой характеристики типа “А”.

В результате обработки данных для каждого человека могут быть получены балльные показатели характеристик по каждому из тестов, а также показатели “комплексных” характеристик “Темперамент” и “Адаптивность”.

“Комплексные” характеристики могут быть получены при обработке по специальной методике результатов по тестам Айзенка (“Темперамент”) и по тестам Кейрси и Спилбергера (“Адаптивность”).

Совместный анализ данных по характеристикам “Темперамент”, “Адаптивность” и “Выраженность поведенческого типа “А”” позволяет сделать вывод о степени стрессоустойчивости данного человека.

Для людей с низкими показателями стрессоустойчивости могут быть рекомендованы занятия психологического тренинга с элементами арттерапии.

Основные индивидуальные задания

1. Запустите программу предъявления четырёх тестов.
2. Ответьте на вопросы каждого теста и запишите количество баллов, полученное по каждой из психологических характеристик. В качестве примера формы записи в программе приведены данные условного испытуемого “Бабошина”. Не путайте эти данные со своими результатами.

до 1 м) и по плотности потока энергии (ПТЭ) или плотности потока мощности (ПМ), Вт/м², для частот 300 МГц...300 ГГц (длины волн от 1 м до 1 мм).

Для радиочастотного диапазона введён такой нормативный параметр, как энергетическая нагрузка (ЭН), или энергетическая экспозиция (ЭЭ), который характеризует дозу поглощенной человеком электромагнитной энергии. За рубежом нормирование ведётся по удельной поглощённой электромагнитной мощности, которая характеризуется показателем, названным SAR (Specific Absorption Rate).

Энергетические экспозиции (энергетические нагрузки), создаваемые полями – электрическим, магнитным и электромагнитным – равны, соответственно, $ЭЭ_E = E^2 \cdot \tau$; $ЭЭ_H = H^2 \cdot \tau$; $ЭЭ_{ПТЭ} = ПТЭ \cdot \tau$. Предельно допустимые значения E , H или ПТЭ на рабочих местах персонала определяются исходя из допустимой энергетической экспозиции и времени воздействия:

$$E_{ПД} = \sqrt{\frac{ЭЭ_E}{\tau}}, \quad H_{ПД} = \sqrt{\frac{ЭЭ_H}{\tau}}, \quad ПТЭ_{ПД} = ЭЭ_{ПТЭ} / \tau,$$

где ЭЭ $E_{ПД}$, (В/м)²·ч; ЭЭ $H_{ПД}$, (А/м)²·ч; ЭЭ $ПТЭ_{ПД}$, Вт·ч/м² – допустимые значения энергетической экспозиции в течение рабочего дня; в нижних индексах – предельно допустимые значения напряжённости электрического ($E_{ПД}$), магнитного ($H_{ПД}$) полей и плотности потока энергии ($ПТЭ_{ПД}$); τ , ч – время воздействия.

Нормативное значение ЭЭ $ПТЭ_{ПД}$ за рабочий день равно 2 Вт·ч/м² для всех случаев облучения, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважность не менее 50, которое составляет 20 Вт·ч/м² (2000 мкВт·ч/см²). Максимальное значение ПТЭ $ПД$ даже кратковременно не должно превышать 10 Вт·ч/м² (1000 мкВт·ч/см²).

Защита человека от сверхвысокочастотного (СВЧ) облучения осуществляется за счёт ограничения расстояния до источника или времени нахождения в зоне облучения, экранирования рабочего места или источника излучения, а также использования средств индивидуальной защиты.

Работы выполняются на установке, показанной на рис. 5.1.

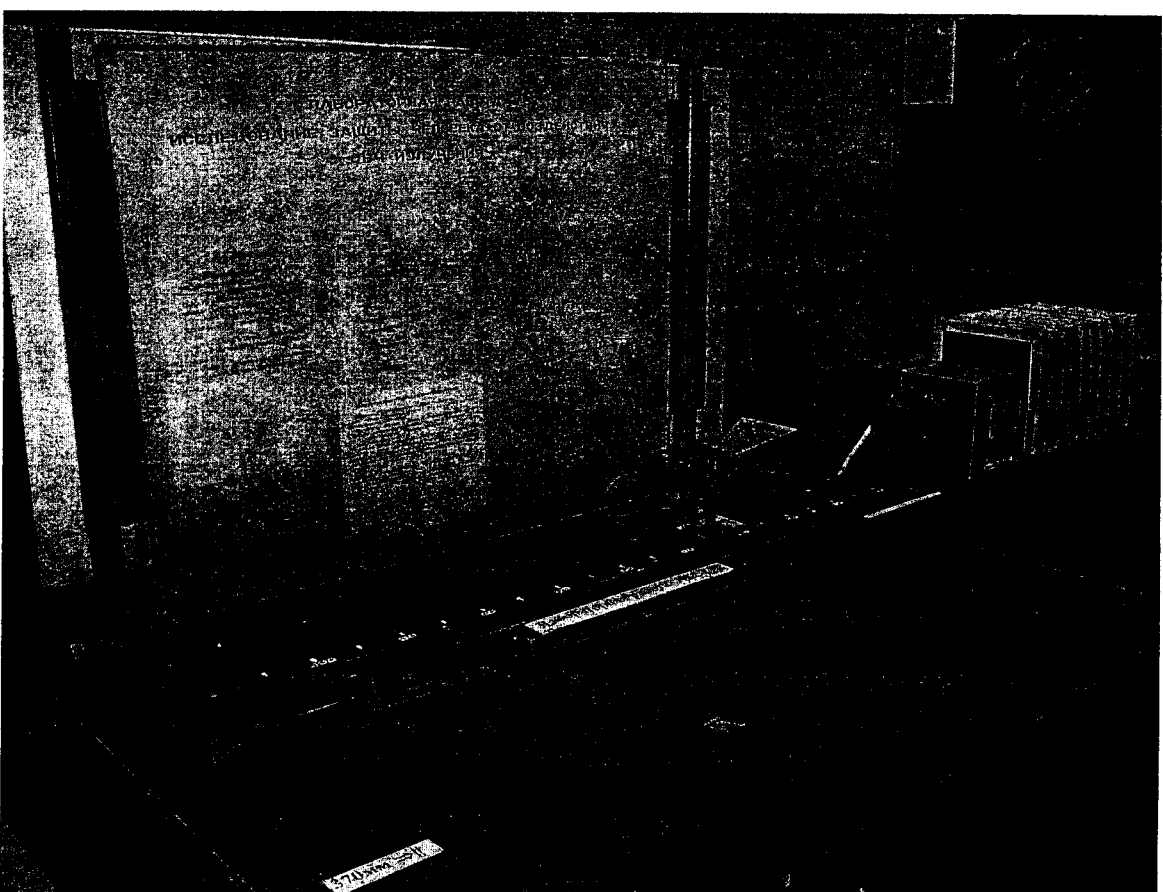
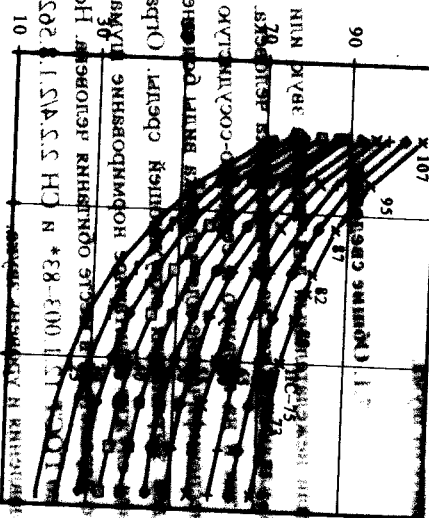


Рис. 5.1. Внешний вид стенда

1977, 2, 2



105-5018-1cb

(название) и т.п.

$L_A = 2018 \frac{m}{s^2}$, $L_B = 1019 \frac{m}{s^2}$

следующим частотным характеристикам:

[illegible]

Замечание. Приняв некоторую информацию, оператор ее анализирует, преобразует и записывает. Основные формы памяти: кратковременная (обеспечивает хранение поступающей информации в течение секунды и минуты) и долговременная (в течение дня, месяца, года). Оператор иногда допускает ошибку не потому, что не запомнил необходимую информацию, а потому, что не забыл ненужную, уже использованную.

Рис. 2.2.2. Внешний вид стелла

3. Обработайте полученные данные следующим образом:

- а) Составьте таблицу данных, полученных по всем характеристикам при работе с тестами (в баллах) для каждого участника исследования, по форме табл. 9.1.

Таблица 9.1

Характеристика	Результат теста (баллы)		
1. Выраженность поведенческой стрессовости А (А)	0 – 35	36 – 44	45 и выше
2. Экстравертированность (Е)	15 – 24	10 – 14	0 – 9
3. Нефротизм (по Айзенку) (N)	0 – 9	10 – 14	15 – 24
4. Жесткость (SJ)	0 – 17	18 – 22	23 – 40
5. Личностная зрелость (ЛТ)	0 – 29	30 – 44	45 – 75
Интервальные баллы (ИБ)	1	2	3

б) Пользуясь табл. 9.1, проведите оценку данных по исследуемым характеристикам в “интервальных баллах”.

в) Определите показатель интегральной стрессоустойчивости (ИС), подставив полученные интервальные баллы в следующую формулу:

$$ИС = 10 \cdot \left[X_{\max} + \frac{6 - X_{\max}}{6(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} X_i \right],$$

где X_{\max} – наивысший из полученных интервальных баллов; n – число исследуемых характеристик; X_i – интервальный балл по i характеристике.

г) Определите категорию стрессоустойчивости (КС) для данного человека:

Категория стрессоустойчивости	1	2	3
Диапазон показателей ИС	18...27	28...34	35...46

д) По данным табл. 9.1 постройте график “Психологический профиль личности” по отдельным психологическим характеристикам (пример графика приведен на рис. 9.1).

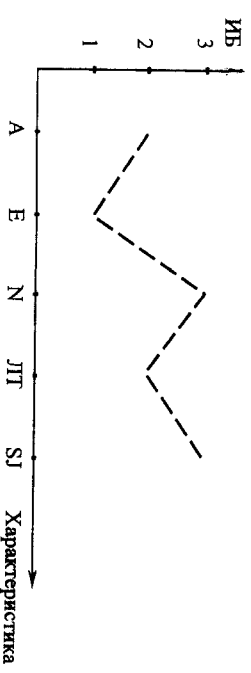


Рис. 9.1. График “Психологический профиль личности”

Рис. 1.2. Внешний вид стенда

183310' С-Петербург, ул. Проф. Попова' 2
Национальное агентство "НЭПН",

Губинская, Лилия Иосифовна, 1970 экз. 15'
Римская, Ольга. Письма о семье. Пет. л. 252'
Полное в печать 15'03' 2008. Формат 60x84 1/16'

Беляков Н. Е. Сыншова

по выполнению образовательных работ
Методические указания

РЕЗЮМЕ ПОСЛЕДСТВИЙ

Список рекомендуемой литературы	83
Образовательная работа 8 (53) "Личность и семья"	18
Образовательная работа 8 (53) "Личность и семья"	98
Образовательная работа 8 (10) "Образовательные ресурсы образовательной системы"	28
Образовательная работа 1. Исследования по развитию личности	40
Образовательная работа 6. Социально-личностная оценка личности	41
СВН-издания	35
Образовательная работа 2. Исследования личности человека от рождения до старости	50
Образовательная работа 4. Исследования личности человека в отношении к себе с точки зрения личности	15
Образовательная работа 5. Исследования личности человека в отношении к другим	3
Образовательная работа 1. Исследования личности человека в отношении к себе	3

Содержание

электронный университет "НЭПН",
Санкт-Петербургский государственный

Федеральное агентство по образованию