

**Н. В. Мозговой, В. П. Асташкин, Э. Х. Милушев,  
Л. Н. Звягина**

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**Лабораторный практикум**

**Воронеж 2020**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

**Н. В. Мозговой, В. П. Асташкин, Э. Х. Милушев, Л. Н. Звягина**

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Лабораторный практикум

2-е издание, переработанное и дополненное

Воронеж 2020

УДК 614.8.001.25(07)  
ББК 74.266.89я73  
Б40

***Рецензенты:***

*кафедра безопасности жизнедеятельности и правовых отношений  
Воронежского государственного лесотехнического университета  
имени Г. Ф. Морозова (зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. В. Ф. Асмнин);  
канд. техн. наук В. Д. Винокуров*

**Безопасность жизнедеятельности:** лабораторный практикум /  
Н. В. Мозговой, В. П. Асташкин, Э. Х. Милушев, Л. Н. Звягина. – 2-е  
Б40 изд., перераб. и доп.; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
технический университет». – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2020. – 62 с.

ISBN 978-5-7731-0904-4

Издание содержит теоретические сведения, описания лабораторных установок и приборов, методику проведения экспериментов и необходимые справочные сведения.

Предназначено для студентов технических направлений и специальностей всех форм обучения.

Ил. 10. Табл. 24. Библиогр.: 4 назв.

**УДК 614.8.001.25(07)  
ББК 74.266.89я73**

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

ISBN 978-5-7731-0904-4

© Мозговой Н. В., Асташкин В. П.,  
Милушев Э. Х., Звягина Л. Н., 2020  
© ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный технический  
университет», 2020

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» (БЖД), «Охрана труда» (ОТ) призваны объединить знания и умения необходимые для создания среды обитания с необходимой совокупностью факторов обеспечивающих комфортное состояние и безопасность человека во взаимодействии с окружающей средой. Базой дисциплин являются знания и умения, полученные при изучении технических, естественнонаучных, общепрофессиональных и специальных дисциплин.

Авторы проработали и систематизировали обширный круг инженерно-прикладных вопросов, формирующих необходимую базу практических знаний в области обеспечения безопасности жизнедеятельности.

В практикуме дана методика проведения лабораторных работ, в основу которой лег опыт преподавания курса «Безопасность жизнедеятельности» специальностям радиотехнического профиля. Шесть лабораторных работ охватывают основные разделы курса.

Изложенный материал носит универсальный характер и содержит сведения необходимые будущему специалисту в независимости от своей конкретной специализации для обеспечения безопасности производственной деятельности.

Лабораторные работы позволяют систематизировать теоретические знания и практические навыки при формировании безопасной производственной среды. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных работ для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с методическим указанием, проработать дополнительную литературу, найти ответы на контрольные вопросы.

Комплекс полученных представлений, знаний, умений в сфере обеспечения безопасности, позволит справиться с растущими угрозами в техносфере и проблемами в системе «человек – производство – окружающая среда».

Издание соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта высшего образования для всех технических специальностей.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В СЕТЯХ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

### 1.1. Цель работы

Изучить влияние различных факторов и параметров сети на исход поражения человека электрическим током в сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью.

### 1.2. Подготовка к выполнению лабораторной работы

При подготовке к выполнению лабораторной работы студент должен изучить следующие вопросы:

- факторы, влияющие на исход поражения электрическим током человека;
- действие электрического тока на организм человека и виды возможных электротравм;
- анализ электробезопасности сетей с различным режимом нейтрали.

### 1.3. Сущность работы

Электрические сети и электроустановки принято разделять на две группы: напряжением до 1000 В и напряжением свыше 1000 В.

По количеству токонесущих проводов электросети подразделяются на однопроводные, двухпроводные, трехпроводные и четырехпроводные.

Трехпроводные сети переменного тока – сети трехфазного тока с изолированной нейтралью; четырехпроводные сети – сети трехфазного тока с заземленной нейтралью и нулевым проводом.

В сетях с напряжением до 1000 В величина тока, протекающего через человека, зависит, прежде всего, от режима нейтрали цепи, активной и емкостной проводимости проводов относительно земли, а также условий прикосновения и параметров электрической сети.

Ток, протекающий через тело человека, при прикосновении к одной из фаз сети с изолированной нейтралью в период ее нормальной работы (рисунок, а) определяется по формуле

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + Z_{\text{C}}},$$

где  $Z_{\text{C}}$  – © комплекс полного сопротивления изоляции по отношению к земле.

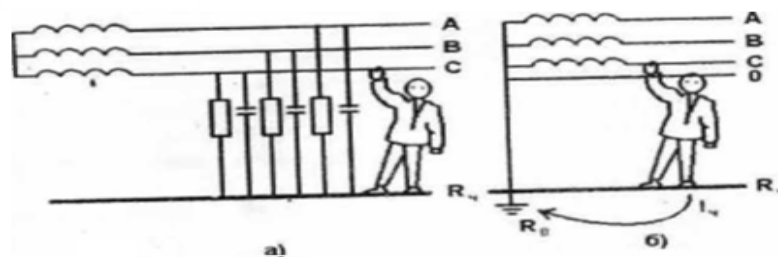


Рисунок. Сети с изолированной (а) и глухозаземленной (б) нейтралью

При симметричной изоляции фаз, т.е. при

$$Z_A = Z_B = Z_C = Z. \quad (1.1)$$

Получим

$$I_{\text{ч}} = \frac{3U_{\Phi}}{3R_{\text{ч}} + Z}. \quad (1.2)$$

Ток, проходящий через человека, тем меньше, чем больше сопротивление между проводами и землей.

Если емкостью фаз пренебречь, что возможно для сетей напряжением до 1000В и протяженностью до 1 км, и принять, что сопротивление фазы равно активному сопротивлению, то величину тока через человека можно определить по формуле

$$I_{\text{ч}} = \frac{3U_{\Phi}}{3R_{\text{ч}} + r}. \quad (1.3)$$

При большой емкости фаз, т.е. при большой протяженности сети, ток через человека определяется по формуле

$$I_{\text{ч}} = \frac{3U_{\Phi}}{\sqrt{9R_{\text{ч}}^2 + (1/\omega c)^2}}. \quad (1.4)$$

Из формулы видно, что в сети с изолированной нейтралью, при емкости фаз равной или близкой к нулю, ток через человека при однополосном прикосновении зависит от величины  $r$ . При большом  $r$  ток через человека может не превышать значения порогового неотпускающего тока (ГОСТ 12.1.038-82) и при хорошей изоляции фазных проводов ( $r$ ), но больших значениях емкости между фазами и землей может достигать опасных для жизни значений. Следовательно, чтобы сеть с изолированной нейтралью считалась относительно безопасной, должно выполняться условие: сопротивление изоляции проводов относительно земли должно иметь максимальное значение, а емкость минимальное.

При замыкании одной из фаз на землю (т.е. аварийный режим) в сетях с изолированной нейтралью опасность поражения резко возрастает. При этом напряжение поврежденной фазы составляет небольшую часть от фазного напряжения, напряжение исправных фаз резко возрастает до линейного значения. В этом случае ток через человека при его прикосновении к исправной фазе определяется по формуле

$$I_{\text{ч}} = \frac{\sqrt{3} \times U_{\Phi}}{R_{\text{ч}} + Z}. \quad (1.5)$$

При нормальном режиме работы сети с глухозаземленной нейтралью сила тока, проходящего через тело человека при прикосновении к одной из фаз сети (см. рисунок, б) будет равна

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\Phi}}{R_{\text{ч}} + R_0},$$

где  $R_0$  – сопротивление заземления нейтрали.

По ГОСТ 12.1.030-81 сопротивление заземления нейтрали составляет несколько Ом, сопротивление тела человека не ниже 1000 Ом. Следовательно, без большой ошибки сопротивлением  $R_0$  можно пренебречь и считать, что человек оказывается под фазным напряжением.

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}}}.$$

Тогда и ток, проходящий через человека, не зависит от сопротивления изоляции и емкости относительно земли и может достигнуть величины, опасной для жизни человека.

При аварийном режиме, когда одна из фаз замкнута на землю через относительно малое сопротивление, ток, проходящий через человека, касающегося нормальной фазы, определяется следующим уравнением

$$I_{\text{ф}} = \frac{r_{\text{з}} + r_0 \sqrt{3}}{r_{\text{з}} \times r_0 + R_{\text{з}}(r_{\text{з}} + r_0)}, \quad (1.6)$$

где  $r_{\text{з}}$  – сопротивление замыкания.

При этом напряжение фаз относительно земли мало изменяется. Напряжение, приложенное к человеку, определяется по формуле

$$U_{\text{ч}} = \sqrt{U_{\text{ф}}^2 + U_0^2 + U_{\text{ф}}U_0}, \quad (1.7)$$

и мало отличается по величине от фазного напряжения источника.

#### 1.4. Описание лабораторного стенда

Работа проводится на универсальном лабораторном стенде путем моделирования основных параметров исследуемых сетей и определения величины тока, протекающего через человека. На стенде используются сопротивления и емкости, которые можно изменять по величине. Сопротивление тела человека моделируется активным сопротивлением.

#### 1.5. Порядок выполнения работы

По формулам (1.3) и (1.4) рассчитать ток, протекающий через тело человека при однополосном прикосновении. Данные для расчетов получить из табл. 1.1 по заданию преподавателя.

Таблица 1.1

Варианты											
Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
г, кОм	1	1	5	2	10	10	5	2	10	5	400
С, мкФ	0.1	0	0	0.5	0.5	0	1.0	0	0	1.5	0

Поставить переключатели " $r_a$ ", " $r_b$ ", " $r_c$ ", " $R_q$ " в положение " $\infty$ ", а переключатели " $C_a$ ", " $C_b$ ", " $C_c$ " - в положение " $0$ ", тумблер  $R_0$  в положение «ВЫКЛ».

Включить на стенде тумблер «СЕТЬ», а на вертикальной панели нажать кнопку «СЕТЬ». О готовности стенда к работе сигнализирует лампочка на блоке, а на вертикальной панели загорается светодиод.

Измерить с помощью вольтметра  $V$  напряжение " $U_{Л}$ " сети.

Включить на вертикальной панели тумблер «ЗАМЫКАНИЕ». О появлении напряжения на корпусе электродвигателя свидетельствует загорание светодиода.

**ВНИМАНИЕ!** При включении сети с глухозаземленной нейтралью переключатель " $R_q$ " поставить в положение " $\infty$ ", включить тумблер " $R_0$ ". После включения тумблера " $R_0$ " переключатель " $R_q$ " поставить в положение **1 кОм** и снять зависимость  $I_q = f(r)$ .

Снять зависимость величины протекающего через человека тока для трехпроводной сети с изолированной нейтралью (А) и с глухозаземленной нейтралью (Б) от следующих величин:

а) величины сопротивления изоляции фаз  $r_a = r_b = r_c$  при  $C_a = C_b = C_c = 0$  и  $R_q = const$ . Результаты измерений занесены в табл. 1.2.

Построить графики зависимости  $I_q = f(r)$ .

Таблица 1.2

Зависимость  $I_q = f(r)$

$r$ , кОм	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>400</b>	$\infty$
А $I_{\dot{q}} = f(r)$ , мА; $C = 0$ ; $R_{\dot{q}} = 1$ кОм						
Б $I_{\dot{q}} = f(r)$ , мА; $C = 0$ ; $R_{\dot{q}} = 1$ кОм						

б) величины емкости фаз  $C_a = C_b = C_c$  относительно земли при  $r_a = r_b = r_c = \infty$  и  $R_q = const$ . Результаты измерений занести в табл. 1.3. Построить график зависимости  $I_q = f(C)$ .

Таблица 1.3

Зависимость  $I_q = f(C)$

$C$ , мкФ	<b>0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>
А $I_{\dot{q}} = f(\tilde{N})$ , мА; $r = \infty$ ; $R_{\dot{q}} = 1$ кОм						
Б $I_{\dot{q}} = f(\tilde{N})$ , мА; $r = \infty$ ; $R_{\dot{q}} = 1$ кОм						



в) сопротивления тела человека.

Переключатели "r" фаз и "C" поставить в положение в соответствии с вариантом задания. Снять зависимость величины протекающего через человека тока  $I_r = f(R_q)$  от сопротивления  $C_a = C_b = C_c = const$  и  $r_a = r_b = r_c = const$ . Результаты измерений занести в табл. 1.4. Построить графики зависимости  $I_r = f(R_q)$ .

Таблица 1.4

Зависимость  $I_q = f(R_q)$

<b>R, мкФ</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	$\infty$
<b>А</b> $I_{\dot{+}} = f(R_{\dot{+}})$ , мА; $r = const$ ; <b>C = const.</b>						
<b>Б</b> $I_{\dot{+}} = f(R_{\dot{+}})$ , мА; $r = const$ ; <b>C = const.</b>						

Закончив измерения, все переключатели поставить в исходное положение. Тумблеры "ЗАМЫКАНИЕ", "  $R_0$  " поставить в положение "ВЫКЛ". На вертикальной панели кнопку "СЕТЬ" отключить, на стенде тумблер "СЕТЬ" выключить. На основании полученных результатов проанализировать степень опасности прикосновения человека к корпусу электрооборудования для различных режимов нейтрали сети.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение сетей с изолированной нейтралью.
2. От каких параметров сети с изолированной нейтралью зависит исход поражения человека электрическим током?
3. Дайте определение сетей с глухозаземленной нейтралью.
4. Какими параметрами определяется исход поражения человека электрическим током в сети с глухозаземленной нейтралью?
5. В каких случаях используют сети с изолированной и глухозаземленной нейтралью?
6. Дайте сравнительную оценку опасности сетей с изолированной и заземленной нейтралью в случае нормального состояния изоляции фаз.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ

### 2.1. Цель работы

Изучить методы контроля изоляции.

Приобрести практические навыки измерения сопротивления изоляции.

### 2.2. Подготовка к выполнению лабораторной работы

Ознакомиться: с причинами, вызывающими изменения (ухудшение) состояния изоляции; со способом постоянного контроля изоляции в трехфазных сетях с изолированной нейтралью методом трех вольтметров, его достоинствами и недостатками; с методом измерения сопротивления изоляции электрических сетей, не находящихся под напряжением, его достоинствами и недостатками.

Изучить принципиальную схему лабораторного макета.

### 2.3. Сущность работы

Основным требованием электробезопасности является хорошая изоляция токоведущих проводов. Высокое сопротивление изоляции создает безопасные условия для обслуживающего персонала, предупреждает возможность пожаров от электрического тока, снижает токи утечки.

Рабочая изоляция – это электрическая изоляция токоведущих частей электроустановки, обеспечивающая ее нормальную работу и защиту от поражения электрическим током.

Состояние изоляции в значительной мере определяет степень безопасности электрических сетей. Сопротивление изоляции в сетях с изолированной нейтралью определяет величину тока замыкания на землю, а значит, и тока через человека.

$$I_{\times} = \frac{3U_{\phi}}{3R_{\times} + r} ; \quad I_{\times} = \frac{U_{\phi}}{R_{\times}} .$$

В сетях с заземленной нейтралью ток замыкания на землю и ток через человека не зависят от величины сопротивления изоляции.

Но при плохом состоянии изоляции часто происходят ее повреждения, что приводит к глухим замыканиям на землю (корпус) и к коротким замыканиям. При замыкании на корпус возникает опасность поражения людей электрическим током, так как нетоковедущие части, с которыми человек имеет контакт, оказываются под напряжением.

В процессе работы установки состояние электрической изоляции ухудшается, она стареет за счет снижения электрической и механической прочности. Основными причинами ухудшения состояния изоляции являются: нагревание от электрического тока при прохождении его по проводам, от токов короткого замыкания; механические повреждения в результате некачественного монтажа,

вибрации и чрезмерно растягивающих усилий при прокладке проводов и кабелей; влияние климатических условий и производственной среды: химически активных веществ и кислот, температуры, давления, влажности (выше 80 %), чрезмерной сухости.

При низком сопротивлении изоляции возможно замыкание токонесущих проводов на землю, при этом в сетях с изолированной нейтралью резко ухудшаются условия эксплуатации, а в сетях с глухозаземленной нейтралью происходят перерывы в электроснабжении.

Состояние изоляции характеризуется ее сопротивлением току утечки. Регулярный контроль над состоянием изоляции является одной из основных мер защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током.

Контроль состояния изоляции проводится: при приемке электроустановки после монтажа или ремонта; периодически в процессе эксплуатации, но не реже 1-2 раза в год в зависимости от производственных условий (в сырых помещениях 2-3 раза в год); постоянно при эксплуатации установки при помощи специальных приборов контроля изоляции.

Для объектов малой мощности (электрические машины) применяется испытание повышенным напряжением переменного тока промышленной частоты. При исследовании качества изоляции установлено, что с увеличением времени испытания прочность изоляции падает и наступает ее пробой. Во избежание повреждений хорошей изоляции время воздействия испытательного напряжения не должно быть длительным – не более 1 мин.

Для объектов с большой емкостью изоляции (кабели) применяется испытание повышенным напряжением постоянного тока.

По ПУЭ сопротивление изоляции сети на участке между любым проводом и землей, а также между любыми двумя проводами должно быть не менее 0.5 МОм.

Если во время испытания вновь смонтированных объектов повышенным напряжением 1000 В в течение 1 мин отсутствуют разряды и если сопротивление на участке сети между двумя предохранителями не менее 0.5 МОм, то изоляция считается удовлетворительной.

Контроль изоляции подразделяется на приемо-сдаточный, периодический и постоянный. Приемо-сдаточный контроль изоляции производится при вводе в эксплуатацию вновь смонтированных или вышедших из ремонта электрических сетей и электроустановок. Периодический контроль изоляции состоит в измерении ее сопротивления в действующей электрической сети или электроустановке периодически, в сроки, установленные ПУЭ, или при обнаружении дефектов. Измерение согласно ПУЭ должно производиться при выключенной электроустановке или участка сети. Измеряют сопротивление изоляции каждой фазы относительно земли и между фазами (рис. 2.1) на каждом участке между двумя последовательно установленными предохранителями, аппаратами защиты и другими устройствами или за последним предохранителем.

Для периодического контроля изоляции применяют мегомметры Ф4101 на напряжение 100, 500, 1000 В и МС-06 на напряжение 2500 В.

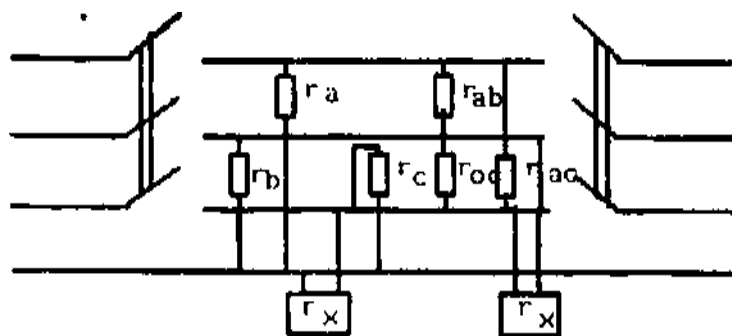


Рис. 2.1. Схема измерения сопротивления изоляции мегомметром:  
 $r_x$  - клеммы мегомметра

Чтобы получить представление о величине сопротивления изоляции всей сети, измерение надо производить под рабочим напряжением с подключенными потребителями. Самой простой схемой является схема трех вольтметров (рис. 2.2), которые включаются в звезду с заземленной нейтральной точкой.

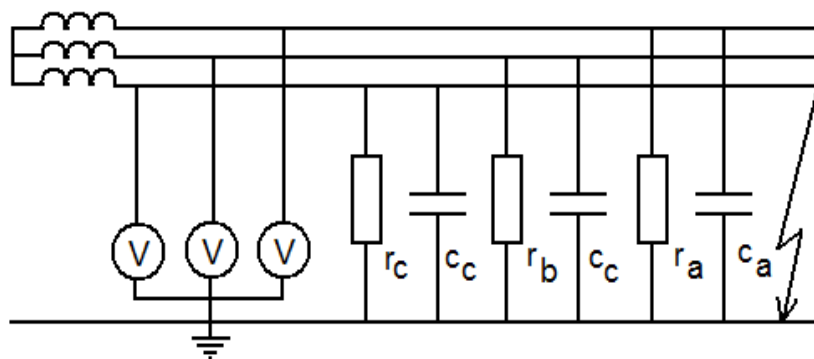


Рис. 2.2. Схема трех вольтметров

Каждый вольтметр показывает напряжение относительно земли той фазы, к которой он подключен. Проводимости исправной изоляции приблизительно симметричны, и поэтому напряжение смещения нейтрали невелико и напряжения фаз относительно земли, которое показывают вольтметры, приблизительно равно фазному напряжению источника.

При глухом замыкании на землю одной из фаз (допустим, фазы С) напряжение поврежденной фазы С относительно земли определяется из выражения

$$U_{N\zeta} = 3U \frac{R_{\zeta}}{Z} \rightarrow 0,$$

так как  $|Z| \gg R_{\zeta}$ , где  $U_{C\zeta}$  – напряжение замкнутой фазы С;  $U$  – фазное напряжение источников;  $Z$  – полное сопротивление изоляции других фаз;  $R_{\zeta}$  – сопротивление замыкания.

Напряжение исправных фаз больше фазного и приближается к линейному:  $U_{03} = U_{C3} = 1/3U$ . При исправной изоляции вольтметры показывают напряжение, приблизительно равное фазному; при глухом замыкании на землю один из них показывает нуль, а два других – линейное напряжение.

Такая схема осуществляет самоконтроль, так как неисправный вольтметр показывает нуль, как и при глухом замыкании на землю.

## 2.4. Описание лабораторной установки

Макет позволяет имитировать трехфазную трехпроводную сеть с изолированной нейтралью и исследовать некоторые методы контроля изоляции сети. Электрическая емкость сети относительно земли при исследовании на макете не учитывается.

Переключателями "УТЕЧКА", " $r_A$ ", " $r_B$ ", " $r_C$ " производится имитация утечки в различных фазах сети и подключение вольтметров к этим фазам.

## 2.5. Порядок выполнения работы

2.5.1. Исследование методов трех вольтметров. Исходное состояние лабораторного стенда:

- тумблер СЕТЬ универсального блока в нижнем положении;
- кнопки СЕТЬ, УТЕЧКА АВС лабораторного стенда в отжатом состоянии;
- переключатели " $r_A$ ", " $r_B$ ", " $r_C$ " в положении 1;
- переключатель " $r_{ABC}$ " в положении "0".

Исследовать явления, возникающие при ухудшении изоляции одной из фаз по варианту, заданному преподавателем (табл. 2.1), для чего выполнить следующие операции:

- тумблер «СЕТЬ» блока перевести в верхнее положение;
- нажать кнопку сеть лабораторного стенда, контролировать наличие напряжения по сигнальной лампе и показаниям вольтметров;
- имитировать утечку в изоляции одной из фаз нажатием соответствующей кнопки «УТЕЧКА» и переключением соответствующего переключателя сопротивления изоляции фаз последовательно в положения "1", "2", "3", "4", "5" (в соответствии с вариантом задания); показания вольтметров занести в табл. 2.2;

Таблица 2.1

Варианты учебного задания

Номер варианта задания	Утечка	Положение переключателей		
		$r_A$	$r_B$	$r_C$
1	ФА	1,3,5	1	1
2	ФА	1,2,5	1	1
3	ФА	2,3,5	1	1
4	ФА	2,4,5	1	1

Номер варианта задания	Утечка	Положение переключателей		
		$r_A$	$r_B$	$r_C$
5	ФВ	1	2,4,5	1
6	ФВ	1	2,3,5	1
7	ФВ	1	1,2,5	1
8	ФВ	1	1,3,5	1
9	ФС	1	1	1,3,5
10	ФС	1	1	2,3,5
11	ФС	1	1	1,2,5
12	ФС	1	1	2,4,5

Таблица 2.2

Показания вольтметров при изменении сопротивления изоляции одной из фаз

Номер варианта	Положение переключателей			Показания вольтметров		
	$r_A$	$r_B$	$r_C$	$V_A$	$V_B$	$V_C$

– восстановить исходное состояние лабораторного стенда.

Исследовать явления, возникающие при симметричном снижении сопротивления изоляции трех фаз, для чего выполнить следующие операции:

- тумблер «СЕТЬ» универсального блока перевести в верхнее положение;
- нажать кнопку «СЕТЬ» лабораторного стенда; контролировать наличие напряжения в сети по сигнальной лампе и показаниям вольтметров;
- имитировать одновременную утечку в изоляции трех фаз нажатием кнопки «УТЕЧКА АВС» и последовательным переключением переключателя " $r_{ABC}$ " в положения, "1", "2", "3", "4", "5";
- показания вольтметров занести в табл. 2.3;
- восстановить исходное состояние лабораторного стенда.

Таблица 2.3

Показания вольтметров при одновременной утечке в изоляции трех фаз

Положение переключателя $r_{ABC}$	Показания вольтметров, В		
	$V_A$	$V_B$	$V_C$
1			
2			
3			
4			
5			

2.5.2. Измерение сопротивления изоляции участка сети мегомметром.  
Исходное состояние лабораторного стенда то же, что в задании 2.5.1.

**ВНИМАНИЕ! НЕ ПРИСТУПАЙТЕ К ИЗМЕРЕНИЯМ, НЕ УБЕДИВШИСЬ В  
ОТСУТСТВИИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ПРОВЕРЯЕМОМ УЧАСТКЕ СЕТИ!**

Проверить с помощью вольтметра отсутствие напряжения на участке сети, поочередно подключая его ко всем фазам относительно земли (гнезда "А", "В", "С" на вертикальной панели) и убедиться в отсутствии напряжения на участке сети.

Переключатели " $r_A$ ", " $r_B$ ", " $r_C$ " поставить в положение согласно варианту, заданному преподавателем (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Варианты заданий

Номер варианта задания	Положение переключателей		
	$r_A$	$r_B$	$r_C$
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	2	4	5
7	5	2	3
8	2	3	4

**ВНИМАНИЕ!** При работе с мегаомметром не прикасайтесь к соединительным проводам, токопроводящим элементам мегаомметра и измеряемого участка сети.

Измерить мегаомметром сопротивление изоляции участка сети - фаз относительно земли и между фазами по схеме рис. 2.3, для чего выполнить следующие операции:

– соединить корпус мегаомметра (клемма 3) с корпусом универсального лабораторного блока;

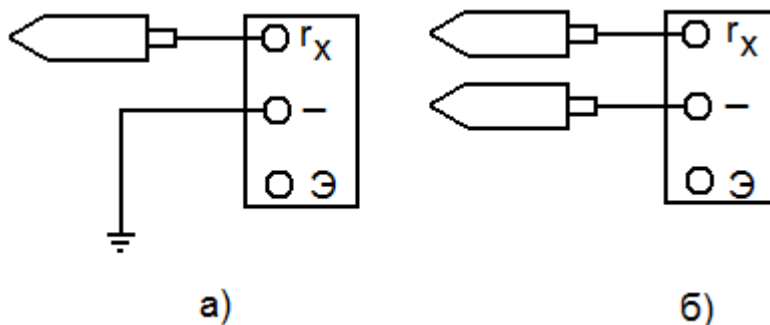


Рис. 2.3. Схема подключения мегаомметра: а) относительно земли;  
б) между двумя проводами

– включить мегаомметр нажатием кнопки «ВКЛ.», при этом должен загореться световой индикатор;

– установить переключатель рабочих напряжений на 500 В;

– установить переключатель диапазонов измерений в положение "I", при разомкнутых зажимах  $r_x$ , нажав кнопку «ИЗМЕР.», установить ручкой «УСТ.  $\infty$ » стрелочный указатель на отметку " $\infty$ ";

– замкнуть зажимы  $r_x$  и, нажав кнопку «ИЗМЕР.», ручкой «УСТ.» установить стрелочный указатель на отметку "0" шкалы "I" (калибровка);

– убедившись в отсутствии напряжения на участке сети, подключить его к зажиму  $r_x$ , и "-" - по схеме рис. 2.3;

– во избежание перегрузок мегаомметра измерения начинать с первого диапазона измерения, установив переключатель диапазонов измерения в положение "I";

– нажать кнопку «ИЗМЕР.», подав тем самым на участок сети высокое напряжение;

– во время измерения держать кнопку «ИЗМЕР.» нажатой;

– при приближении стрелочного указателя к отметке " $\infty$ " переключатель диапазонов последовательно установить в положение, при котором указатель установится в рабочей части шкалы, после этого сделать отсчет величины измеренного сопротивления, по соответствующей шкале, умножая полученный



результат на множители, соответствующие данному пределу измерения и рабочему напряжению;

– по окончании измерения отпустить кнопку «ИЗМЕР.». переключатель диапазонов измерения установить в положение "I".

**ВНИМАНИЕ!** После отпущения кнопки «ИЗМЕР.» напряжение на зажимах  $r_x$  снижается до безопасной величины за 5... 10 с;

- результаты измерений занести в табл. 2.5;
- выключить мегаомметр;
- восстановить исходное состояние лабораторного стенда.

Таблица 2.5

**Результаты измерений**

Номер варианта	Положение переключателей			Сопротивление изоляции, Мом						
				Между фазами и землей			Между фазами			
	$r_A$	$r_B$	$r_C$	A	B	C	A-B	A-C	B-C	

В отчете привести таблицы и схемы измерений.

Построить векторные диаграммы по данным табл. 2.2.

Сделать выводы по результатам измерений (табл. 2.2 – 2.4), обратив внимание на выявленные достоинства и недостатки исследованных методов контроля.

### Контрольные вопросы

1. Какое значение для электробезопасности имеет состояние изоляции сети?
2. Каковы причины ухудшения состояния изоляции?
3. Какими способами производится контроль состояния изоляции?
4. Каким должно быть минимальное сопротивление изоляции?
5. Основные меры безопасности при измерении сопротивления изоляции мегаомметром.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ. НАПРЯЖЕНИЕ ПРИКОСНОВЕНИЯ И ШАГА

#### 3.1. Цель работы

Исследовать закон распределения потенциала на поверхности земли при стекании тока с заземлителя; определить величины напряжения прикосновения, шага и выяснить опасные зоны.

#### 3.2. Указания по подготовке к выполнению лабораторной работы

При подготовке к выполнению лабораторной работы студент должен изучить следующие вопросы:

- закон распределения потенциала на поверхности земли при стекании тока в землю через одиночный заземлитель;
- электрическое сопротивление земли и заземлителя растеканию тока;
- напряжение прикосновения к заземленным нетоковедущим частям оборудования, оказавшимся под напряжением;
- напряжение шага и способы уменьшения опасности поражения им в зоне растекания тока.

#### 3.3. Сущность работы

Стеkanie тока в землю происходит при замыкании токоведущих частей электроустановки на заземленный корпус или при касании земли оборванным проводом, находящимся под напряжением.

При этом на заземлителе и на поверхности земли вокруг него или оборванного провода возникает потенциал, который может представлять опасность для жизни человека.

Закон распределения потенциала на поверхности земли в зависимости от формы заземлителя может быть достаточно сложным.

Наиболее просто его оценить, если рассмотреть случай стекания тока  $I_3$  в грунт с удельным сопротивлением  $\rho$  через одиночный заземлитель полусферической формы радиусом  $r$ .

В этом случае потенциал точки  $A$  определяется по формуле:

$$\varphi_A = \frac{I_3 \rho}{2\pi x} = \frac{K}{x}. \quad (3.1)$$

Это выражение является уравнением гиперболы и, следовательно, потенциалы на поверхности земли распределены по одноименному закону.

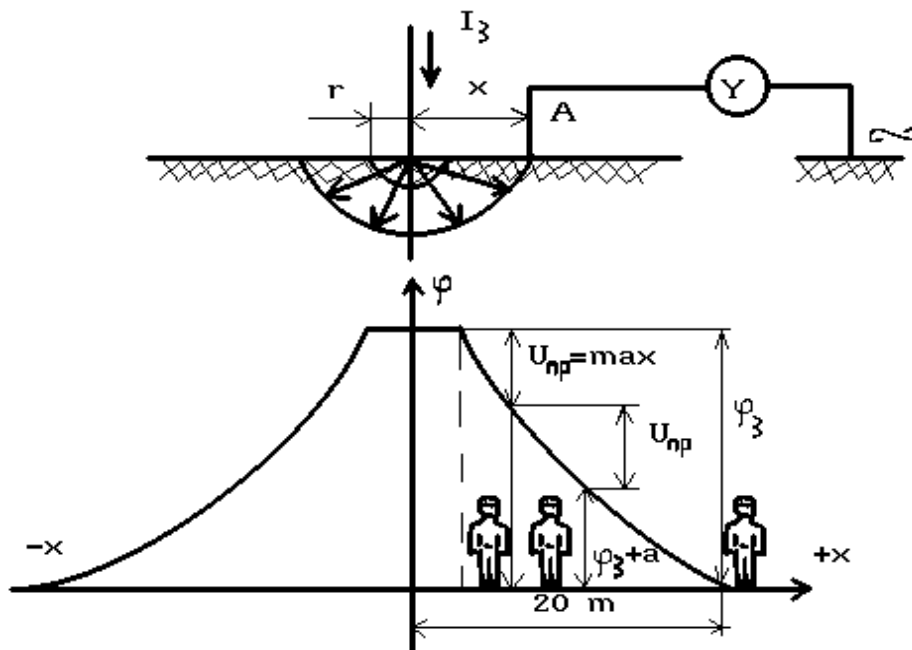


Рис. 3.1. Распределение потенциала и напряжение шага при одиночном заземлителе

Если в зоне растекания тока окажется человек, то он может попасть под воздействие шагового напряжения, а если он касается заземленной части электрооборудования, то и под действие напряжения прикосновения.

Напряжение прикосновения может быть определено из выражения:

$$U_{пр} = \varphi_P - \varphi_H, \quad (3.2)$$

где  $\varphi_P = \varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi x}$  – потенциал руки или корпуса;

$\varphi_H = \varphi_{ОСН} = \frac{I_3 \rho}{2\pi x}$  – потенциал ног или грунта.

Поэтому выражение (3.2) можно записать так:

$$U_{пр} = \frac{I_3}{2\pi r} \times \frac{x-r}{x} = \frac{I_3}{2\pi r} \times \alpha = \varphi_3 \alpha, \quad (3.3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий форму потенциальной кривой.

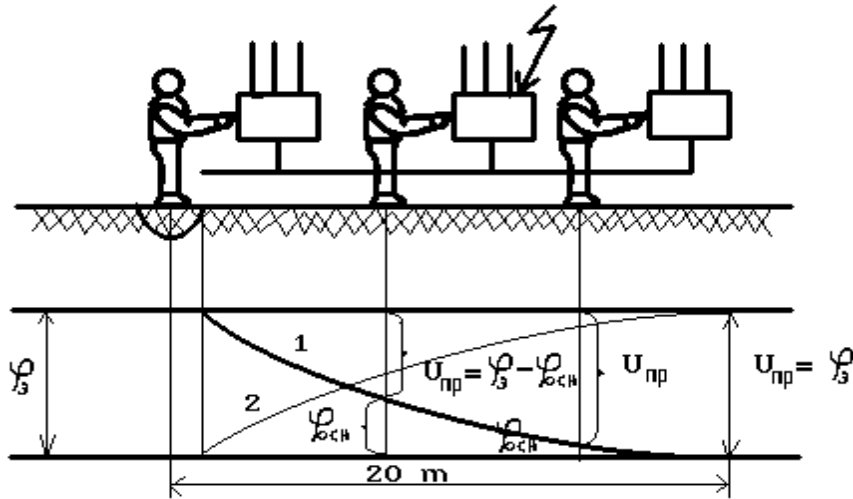


Рис. 3.2. Напряжение прикосновения при одиночном заземлителе:  
1 – потенциальная кривая; 2 – кривая распределения напряжения прикосновения

По мере удаления от заземлителя напряжение прикосновения возрастает и на расстоянии более 20 м оно равно напряжению  $\varphi_3$ , потому что человек стоит в точке, потенциал которой  $\varphi_{ОСН} = 0$ .

При групповом заземлителе, когда все точки поверхности земли на участке между отдельными заземлителями имеют потенциалы, отличные от нуля, в любом месте этого участка  $U_{пр} < \varphi_3$  и  $\alpha < 1$ .

Между двумя точками земли, находящимися на расстоянии шага человека, в зоне растекания тока существует некоторая разность потенциалов, которая именуется шаговым напряжением (рис. 3.1). Таким образом,

$$U_{Ш} = \varphi_x - \varphi_{x+a}, \quad (3.4)$$

где  $\varphi_x$  и  $\varphi_{x+a}$  – потенциал точек, на которых стоит человек;  
 $a = 0.8$  м – длина шага.

Выражение (3.4) можно записать также следующим образом:

$$U_{Ш} = \frac{I_3 \rho}{2\pi x} - \frac{I_3 \rho}{2\pi(x+a)} = \frac{I_3 \rho}{2\pi} \times \frac{a}{x(x+a)} = \varphi_3 \beta, \quad (3.5)$$

где  $\beta = \frac{a \times r}{x(x+a)}$  – коэффициент напряжения шага.

Коэффициент  $\beta$  учитывает форму потенциальной кривой и зависит от формы и конфигурации заземлителя, а также от положения относительно заземлителя.

Максимальные значения  $U_{III}$  и  $\beta$  будут при наименьшем расстоянии от заземлителя. По мере удаления от заземлителя они уменьшаются и на расстоянии более 20 м  $U_{III} = 0$  и  $\beta = 0$ .

При групповом заземлителе в пределах площади, на которой размещены электроды, напряжение шага значительно снижается. Однако по краям контура за пределами заземляющего устройства, если не принять меры по выравниванию потенциалов, может возникнуть крутой спад потенциальной кривой и опасные шаговые напряжения.

### 3.4. Описание лабораторной установки

Стенд позволяет моделировать замыкание на землю вследствие контакта между токоведущими частями и заземленными корпусами 1; 2; 3. Ток стекает в землю через одиночный заземлитель  $R_3$ . Максимальное удаление от заземлителя точки почвы, потенциал которой можно измерить на стенде – 42 см, что соответствует 20 м в реальных условиях.

Вид грунта и значение его электрического сопротивления устанавливаются нажатием соответствующей кнопки (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Значения удельных сопротивлений грунтов

Номер кнопки	Грунт	Удельное сопротивление, Ом*м
1	Песок	700
2	Суглинок	100
3	Глина	40
4	Чернозем	20

### 3.5. Порядок выполнения работы

3.5.1. Исследование электрического поля при стекании тока в землю через одиночный заземлитель.

Поставить переключатель U СЕТИ в положение, соответствующее варианту задания.

Нажать кнопку  $\rho$  ГРУНТ, согласно варианту задания (табл. 3.2).

Включить на стенде тумблер СЕТЬ, а на вертикальной панели нажать кнопку СЕТЬ. О готовности стенда к работе сигнализирует лампочка на блоке и на вертикальной панели загорается светодиод.

Включить на вертикальной панели тумблер ЗАМЫКАНИЕ. О появлении напряжения на корпусе электродвигателя свидетельствует загорание красного светодиода.

Таблица 3.2

## Варианты заданий

Варианты задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
U сети, В	20	18	14	10	6	20	16	14	10	20	18	14
Номер кнопки $\rho$ грунта	1	2	3	4	4	2	3	4	3	3	4	2
$U_{\rho}$ , В	380	440	520	660	620	480	540	380	720	280	380	440

По миллиамперметру определить стекающий через заземлитель в землю ток.

Определить общее сопротивление заземляющего устройства:

$$R_3 = \frac{U_{сет и}}{I_{\rho}}$$

Данные занести в табл. 3.3.

Таблица 3.3

$U_{сет и}$ , В	$I_{\rho}$ , мА	$R_3$ , Ом

Снять зависимость величины потенциала точек почвы от расстояния до заземлителя в опыте -  $\varphi_{ОП}$ , для чего с помощью вольтметра измерить потенциал точек 0; 3; 6; ... 42 относительно точки земли с нулевым потенциалом "+".

Результаты измерений занести в табл. 3.4.

Таблица 3.4

## Зависимость величины потенциала почвы от расстояния до заземлителя

$L_{ОП}$ , см	0	3	6	9	12	16	18	21
$\varphi_{ОП}$ , В								
$L_p$ , см	0	1.4	2.8	4.3	5.7	7.1	8.6	10
$\varphi_p$ , В								
$L_{ОП}$ , см	24	27	30	33	36	39	42	
$\varphi_{ОП}$ , В								
$L_p$ , см	11.4	12.8	14.3	15.7	17.1	18.6	20	
$\varphi_p$ , В								

Произвести перерасчет потенциалов, полученных на моделирующей установке, на их значение в реальных условиях:

$$\varphi_p = \frac{U_p}{U_{сет и}} \times \varphi_{ОП},$$

где  $\varphi_p$  – потенциал точки в реальных условиях, В;

$\varphi_{ОП}$  – потенциал точки в опыте, В;

$U_p$  – напряжение заземлителя в реальных условиях (согласно заданному варианту, табл. 3.2), В;

$U_{сет и}$  – напряжение заземлителя в опыте, В.

Расчетные данные занести в табл. 3.4 и построить кривую распределения потенциалов  $\varphi_p = f(L_p)$ .

### 3.5.2. Определение напряжения прикосновения.

Исходное положение базового стенда и вертикальные панели согласно описанию, приведенному в подразд. 3.1.

С помощью вольтметра измерить напряжение прикосновения в точках 0; 3; 6; ... 42. Результаты измерений занести в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Значения напряжения прикосновения

$L_{ОП}$ , см	0	3	6	9	12	16	18	21
$U_{прОП}$ , В								
$L_p$ , см	0	1.4	2.8	4.3	5.7	7.1	8.6	10
$U_{прОР}$ , В								
$L_{ОП}$ , см	24	27	30	33	36	39	42	
$U_{прОП}$ , В								
$L_p$ , см	11.4	12.8	14.3	15.7	17.1	18.6	20	
$U_{прОР}$ , В								

Проведением контрольных измерений напряжений прикосновения убедиться, что оно не зависит от того, к какому корпусу прикасается человек (корпус 1; 2; 3), а зависит только от расстояния до заземлителя.

Произвести перерасчет измеренного напряжения прикосновения в опыте  $U_{прОР}$  на его значение в реальных условиях:

$$U_{\text{пр}OP} = \frac{U_p}{U_{\text{сет и}}} \times U_{\text{пр}OП}$$

Расчетные данные занести в табл. 3.5 и построить кривую напряжения прикосновения в реальных условиях

$$U_{\text{пр}OP} = f(L_p)$$

### 3.5.3. Определение напряжения шага.

По графику  $\varphi_p = f(L_p)$ , построенному по данным табл. 3.4, определить потенциалы ног человека  $\varphi_x$  и  $\varphi_{x+a}$  последовательно для пяти положений (табл. 3.6). Данные занести в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Значение напряжения шага

Номер шага	1	2	3	4	5
Расстояние ног от заземлителя, м	0 / 0.8	0.8 / 1.6	1.6 / 2.4	2.4 / 3.2	4.0 / 4.8
Потенциал ближней ноги $\varphi_x$ , В					
Потенциал дальней ноги $\varphi_{x+a}$ , В					
Напряжение шага $U_{III}$ , В					

Определить величину напряжения шага. Определить и обозначить на графике величину опасной зоны в реальных условиях (допустимую величину напряжения шага считать равной 25 В). Сравнить величину опасной зоны с требованиями ПУЭ для закрытых помещений. Сделать выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. По какому закону происходит распределение потенциала на поверхности земли при стекании тока в землю через одиночный заземлитель?
2. Что такое напряжение прикосновения?
3. Что такое напряжение шага?
4. Как изменяются напряжения прикосновения и шага при удалении от заземлителя?
5. Почему все оборудование практически получает один и тот же потенциал при замыкании фазы на один из корпусов?
6. Как зависит напряжение шага от вида грунта?
7. Как в реальных условиях уменьшить значение  $U_{III}$ ?
8. На какое расстояние разрешается приближаться к месту обрыва провода на открытой местности и в помещениях?



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ

### 4.1. Цель работы

Освоить методику исследования метеорологических условий (температуры, влажности, скорости движения воздуха) и научиться оценивать микроклимат на рабочем месте.

### 4.2. Теоретические сведения

Большое значение для обеспечения необходимых условий жизнедеятельности человека, здорового и высокопроизводительного труда, имеет создание и поддержание, оптимальных метеорологических условий на рабочих местах.

Организм человека постоянно находится в процессе теплового взаимодействия с окружающей средой. При этом для нормального теплового самочувствия человека необходимо соблюдение теплового баланса между количеством тепла, вырабатываемого организмом, и количеством тепла, отдаваемого окружающей среде. При соблюдении равенства такого баланса среду определяют как комфортную, а при несоблюдении – как дискомфортную. В последнем случае, если тепловыделения организма не могут быть полностью переданы окружающей среде, то происходит рост температуры внутренних органов и такое тепловое самочувствие характеризуется понятием «жарко». Когда окружающая среда воспринимает больше теплоты, чем её воспроизводит человек, то происходит охлаждение организма. Такое тепловое самочувствие характеризуется понятием «холодно».

Количество тепла  $Q$ , передаваемого человеком в окружающую среду, можно определить следующим уравнением:

$$Q = \pm Q_T \pm Q_K \pm Q_{ИЗ} \pm Q_B - Q_{ИС},$$

где  $Q_T$  – теплопередача (теплоприход) за счет теплопроводности через одежду;  $Q_K$  – теплопередача (теплоприход) за счёт конвекции;  $Q_{ИЗ}$  – теплопередача (теплоприход) за счёт инфракрасного излучения;  $Q_B$  – теплопередача (теплоприход) за счёт согревания (охлаждения) вдыхаемого воздуха;  $Q_{ИС}$  – теплоотдача за счёт испарения влаги с поверхности кожи и слизистых оболочек.

Анализ вышеперечисленных процессов тепло- и тепломассообмена позволяет сделать вывод, что тепловой баланс в системе «человек-среда обитания» зависит от таких факторов среды, как температура, подвижность и относительная влажность воздуха, атмосферное давление, а также от температуры окружающих предметов и интенсивности физической нагрузки организма:  $Q = f(t_{oc}; v; \varphi; B; t_{ол}; J)$ . Так,  $Q_K$  тем больше, чем ниже температура окружающей среды  $t_{oc}$  и чем выше скорость движения воздуха  $v$ . Заметное влияние оказывает и относительная влажность  $\varphi$ , поскольку коэффициент теплопроводности воз-

духа является функцией атмосферного давления  $B$  и влагосодержания воздуха.  $Q_{ис}$  повышается с увеличением интенсивности работы  $J$ , температуры  $t_{oc}$  и скорости движения и окружающего воздуха, а также с уменьшением относительной влажности  $\varphi$ .  $Q_{из}$  зависит от температуры окружающих предметов  $t_{оп}$  и т.д.

Такие параметры, как температура окружающих предметов  $t_{оп}$  и интенсивность физической нагрузки организма  $J$ , характеризуют конкретную производственную обстановку и могут отличаться большим разнообразием. Они учитываются при нормировании параметров микроклимата.

Остальные параметры – температура  $t_{oc}$ , скорость  $v$ , относительная влажность воздуха  $\varphi$  и атмосферное давление – относятся к параметрам микроклимата. Эти параметры в значительной мере характеризуют охлаждающую способность окружающей среды и непосредственно влияют на тепловое самочувствие человека.

Преобладание того или иного процесса теплоотдачи также зависит от параметров микроклимата. Так, при  $t_{oc}=18^{\circ}\text{C}$  доля  $Q_k$  составляет около 30% всей отводимой теплоты,  $Q_{из}=45\%$ ,  $Q_{ис}=20\%$ ,  $Q_B=5\%$  ( $Q_T=0$  вследствие малого коэффициента теплопроводности тканей одежды человека), т. е. основной отвод тепла осуществляется за счёт излучения и конвекции. При  $t_{oc}=30^{\circ}\text{C}$   $Q_{ис}$  возрастает, и становится равной суммарной отдаче теплоты излучением и конвекцией. При дальнейшем увеличении температуры до  $36^{\circ}\text{C}$  доля  $Q_{ис}=100\%$ , а при более высоких температурах теплообмен идёт в обратном направлении – от окружающих предметов к человеку.

Воздействие параметров микроклимата человек ощущает комплексно, при этом состояние теплового комфорта может наблюдаться при разных сочетаниях параметров. Поэтому можно говорить о некоторой зоне комфорта, т.е. о таком комплексе комбинаций параметров микроклимата, при котором у человека возникают одинаковые теплоощущения.

Измерить комфортность какими-либо физическими единицами невозможно, поскольку это не физическая величина, а ощущения человека. Поэтому для оценки общего влияния метеорологических факторов на организм человека ввели условные единицы измерения в виде так называемых эффективной и эффективно-эквивалентной температур.

Эффективной называется температура, которая при неподвижном воздухе и 100% относительной влажности создаёт те же тепловые ощущения, что и комплекс метеорологических условий с заданными значениями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Эффективно-эквивалентная температура учитывает еще и скорость движения воздуха.

Для нахождения эффективной и эффективно-эквивалентной температуры и зоны комфорта на основе большого количества опытов и наблюдений построены специальные номограммы.

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата в производственных помещениях устанавливаются ГОСТ 12.1.005-88 и санитарными нор-

мами СН 2.2.4.548-96 для всех производств и климатических зон. Оптимальные показатели распространяются на всю рабочую зону, а допустимые устанавливают отдельно для постоянных и непостоянных рабочих мест в случаях, когда по технологическим, техническим или экономическим причинам невозможно обеспечить оптимальные нормы.

Оптимальные микроклиматические условия – это такое сочетание количественных показателей микроклимата, которое при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивает ощущение теплового комфорта и создаёт предпосылки для высокой работоспособности.

Допустимые микроклиматические условия – такое сочетание количественных показателей микроклимата, которое при длительном и систематическом воздействии на человека может вызвать преходящие и быстро нормализующиеся изменения теплового состояния его организма, сопровождающиеся напряжением механизма терморегуляции, не выходящие за пределы физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникает ухудшения или нарушения состояния здоровья, но могут наблюдаться дискомфортные теплоощущения, ухудшение самочувствия и снижение работоспособности.

При нормировании метеорологических условий учитываются время года и интенсивность производимой работы.

Различают тёплый и холодный период года. Тёплый период характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха  $+10^{\circ}\text{C}$  и выше, холодный – ниже  $+10^{\circ}\text{C}$ .

При учёте интенсивности труда все виды работ, исходя из общих энергозатрат организма, делятся на три категории: лёгкие, средней тяжести и тяжёлые.

К лёгким работам с затратами энергии до 174 Вт относятся работы, выполняемые сидя, или стоя, не требующие систематического физического напряжения (работа контролёров, конторские работы и др.) Лёгкие работы подразделяются на категорию Ia (затраты энергии до 139 Вт) и категорию Ib (затраты энергии  $140\div 174$  Вт).

К работам средней тяжести относятся работы с затратами энергии  $175\div 232$  Вт (категория IIa) и  $233\div 290$  Вт (категория IIб). В категорию IIa входят работы, связанные с постоянной ходьбой, выполняемые стоя или сидя, но не требующие перемещения тяжестей, в категорию IIб – работы, связанные с ходьбой и переноской небольших (до 10 кг) тяжестей (механические цехи, текстильное производство, обработка древесины и др.).

К тяжёлым работам (категория III) с затратой энергии более 290 Вт относятся работы, связанные с систематическим физическим напряжением, в частности с постоянным передвижением, переноской значительных (более 10 кг) тяжестей.

### 4.3. Экспериментальная установка

Экспериментальная установка состоит из лабораторного стола и вертикальной панели, на которой смонтированы приборы для измерения параметров микроклимата в помещении (рисунок).

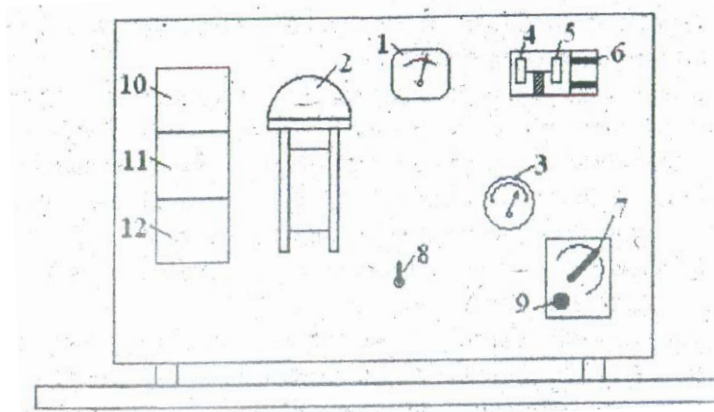


Рисунок. Схема экспериментальной установки

В комплект приборов входят: 1 – барометр-анероид, 2 – аспирационный психрометр и 3 – волосяной гигрометр, а также крыльчатый – 4 и чашечный – 5 анемометры, закреплённые на задней стенке вертикальной панели. Там же смонтирован осевой вентилятор – 6, создающий направленный поток воздуха в камерах анемометров. Скорость вращения вентилятора (скорость движения воздуха) регулируется переключателем – 7. Вентилятор психрометра включается тумблером – 8, подача электропитания на стенд осуществляется нажатием кнопки – 9.

Для изучения изменений во времени относительной влажности, давления и температуры воздуха в помещении могут быть использованы самопишущие гигрограф – 10, барограф – 11 и термограф – 12. В комплект установки также входят секундомер, колба с водой и пипетка.

1. Измерение атмосферного давления. Атмосферное давление при выполнении лабораторной работы измеряется барометром-анероидом – 1. Чувствительным элементом анероида служит гофрированная металлическая коробочка, внутри которой создаётся разрежение. При изменении атмосферного давления происходит деформация металлической коробочки (она сжимается или растягивается), которая через передаточный механизм передаётся стрелке, передвигающейся по шкале прибора. Чувствительность анероида до 10 Па (~0,1 мм.рт.ст).

Для автоматической записи изменений атмосферного давления используют анероидный барограф – 11.

2. Измерение температуры воздуха. При измерении температуры воздуха в производственных помещениях применяют ртутные и спиртовые термометры. Ртутные термометры обычно используют при температурах воздуха выше 0°C, спиртовые – при температурах ниже 0°C. При выполнении лабораторной

работы температура воздуха измеряется «сухим» ртутным термометром, входящим в состав аспирационного психрометра – 2.

Для записи колебаний температуры воздуха применяют термограф – 12, чувствительным элементом которого является биметаллическая пластина, деформирующаяся при изменении температуры воздуха.

3. Измерение относительной влажности воздуха. Влажность воздуха определяется содержанием в нём водяных паров. Различают абсолютную, максимальную и относительную влажность воздуха.

Абсолютная влажность воздуха определяется количеством водяного пара в единице объёма воздуха ( $\text{г/м}^3$ ) либо его парциальным давлением (Па). Максимальная влажность характеризуется максимально возможным содержанием, водяных паров в единице объёма воздуха либо наибольшим парциальным давлением водяных паров при данной температуре (состояние насыщения). Относительная влажность  $\varphi$  - отношение абсолютной влажности  $P$  к максимальной  $P_H$ , выраженное в процентах:

$$\varphi = \frac{P}{P_H} \cdot 100\% . \quad (4.1)$$

Относительная влажность воздуха в помещении измеряется аспирационным психрометром – 2 и волосяным гигрометром – 3.

Основными элементами психрометра являются два одинаковых ртутных термометра. Поверхность баллончика одного из них сухая, а поверхность другого заключена в тканевый чехол и искусственно увлажняется.

Принцип действия психрометра основан на зависимости скорости испарения влаги с поверхности увлажнённого термометра от влажности и скорости движения окружающего воздуха. При этом скорость испарения тем больше, чем меньше парциальное давление водяных паров в воздухе и наоборот.

Процесс испарения влаги с поверхности увлажнённого термометра сопровождается понижением температуры его резервуара с ртутью за счёт расхода тепла на фазовый переход воды в пар. В результате чего термометр будет фиксировать так называемую температуру «мокрого» термометра, которая всегда меньше температуры «сухого» термометра, за исключением, когда наблюдается 100% влажность.

В аспирационном психрометре баллончики ртутных термометров («влажного» и «сухого») для защиты от внешнего теплового облучения помещены в двойные латунные трубки с никелированной зеркальной наружной поверхностью, которые обладают большой отражающей способностью. Одновременно эти трубки служат воздухопроводными каналами, через которые вентилятор, установленный в верхней части психрометра, прогоняет воздух и создаёт вокруг баллончиков термометров стандартный воздушный поток.

Относительную влажность воздуха определяют по специальной психрометрической таблице по разности показаний «сухого» и «влажного» термометров или расчётным путём по формуле:

$$\varphi = \left( P_B - 0,5(t_c - t_B) \frac{B}{755} \right) \cdot \frac{100}{P_C}, \quad (4.2)$$

где  $P_C$  – парциальное давление насыщенных водяных паров в воздухе при температуре «сухого» термометра, мм.рт.ст.;  $P_B$  – парциальное давление насыщенных водяных паров в воздухе при температуре «влажного» термометра, мм.рт.ст.;  $t_C$  – показания «сухого» термометра, °С;  $t_B$  – показания «влажного» термометра, °С;  $B$  – барометрическое давление, мм.рт.ст.; 755 – среднее барометрическое давление, мм.рт.ст.; 0,5 – постоянный психрометрический коэффициент.

Волосной гигрометр 3 представляет собой прибор, в котором в качестве чувствительного элемента используется обезжиренный человеческий волос, обладающий свойством изменять длину в зависимости от содержания водяного пара в воздухе. Шкала прибора отградуирована непосредственно в единицах относительной влажности.

Для непрерывной записи параметров влажности воздуха используют самопишущий прибор гигрограф – 10.

4. Измерение скорости движения воздуха. Скорость движения воздуха измеряют чашечным – 5 или крыльчатым – 4 анемометрами. У чашечного анемометра на оси насажена крестовина с полыми полусферами. Под воздействием воздушного потока приёмная часть прибора вращается. Это вращение через систему зубчатых колес приводит в движение стрелки счётчиков оборотов. Скорость движения воздуха пропорциональна показаниям счётчиков, которые характеризуют длину пути, пройденного потоком воздуха через приёмную часть прибора за определенное время. Чашечный анемометр позволяет измерять скорость движения воздуха в пределах от 1 до 20 м/с.

В крыльчатом анемометре чашечки заменены алюминиевыми крыльями, расположенными под углом 45° к плоскости, перпендикулярной оси колеса. Применяют крыльчатые анемометры при Скорости движения воздуха от 0,4 до 10 м/с.

#### **4.4. Методика проведения эксперимента и интерпретация его результатов**

1. Измерить параметры микроклимата на рабочем месте.

Включить установку в сеть напряжением 220 В и, нажав кнопку 9, подать питание на стенд. При этом должна загореться сигнальная лампочка.

1.1. Барометром-анероидом – 1 замерить атмосферное давление в помещении.

Результат замера занести в табл. 4.1.

Результаты измерений параметров микроклимата

Атмосферное давление В, мм.рт.ст.	Показания термометров психрометра, °С		Относительная влажность $\varphi$ , %			Скорость движения воздуха $v$ , м/с	Эффективная температура $t_{\text{э}}$ , °С
	$t_{\text{С}}$	$t_{\text{В}}$	по таблице	расчётная	по гигрометру		

1.2. Измерить температуру и относительную влажность воздуха аспирационным психрометром – 2. Подготовить прибор к работе, произвести визуальный контроль его исправности.

Перевести корпус прибора в наклонное положение и с помощью пипетки смочить тканевый чехол «влажного» термометра дистиллированной водой. Затем вернуть корпус прибора в прежнее положение и включить вентилятор психрометра тумблером – 8.

Спустя 1-2 минуты начать наблюдение за понижением показаний температуры «влажного» термометра. Отсчёт значений температуры по «влажному» и «сухому» термометрам произвести через 4-5 минут, когда показания «влажного» термометра стабилизируются (достигнут минимума). По психрометрической таблице (прил. 1) определить относительную влажность воздуха. Полученные значения  $t_{\text{С}}$ ,  $t_{\text{В}}$  и  $\varphi_{\text{табл}}$  занести в табл. 4.1.

1.3. Используя формулу (2) определить относительную влажность расчётным путём. Данные расчёта занести в табл. 4.1. Парциальные давления насыщенных водяных паров в воздухе при температуре «сухого»  $P_{\text{С}}$  и «влажного»  $P_{\text{В}}$  термометров определить по таблице (прил. 2).

1.4. Снять показания относительной влажности воздуха по волосяному гигрометру 3 и результат занести в табл. 4.1. Сделать анализ полученных значений относительной влажности различными методами, при этом расхождения в результатах не должны превышать 5%.

1.5. Измерить скорость движения воздуха анемометром, тип которого определяется вариантом задания (табл. 4.2).

Установить переключатель 7 скорости вращения вентилятора в положение, соответствующее варианту задания. После чего необходимо подождать 2-3 минуты, пока установится постоянная скорость вращения лопаточного колеса. Затем с помощью секундомера определить время, в течение которого стрелка

анемометра по большому циферблату счётчика сделает полный оборот (100 делений), и рассчитать скорость воздушного потока в делениях шкалы счётчика за секунду. Скорость воздуха в м/с определить по специальному графику, расположенному на столе стенда. Такие графики заполняются на заводах-изготовителях и отражают индивидуальные качества каждого анемометра. Результаты измерения занести в табл. 4.1.

Таблица 4.2

Варианты задания для выполнения работы

Номер варианта	1	2	3	4	5	6
Температура наружного воздуха, С	>10	>10	<10	<10	>10	<10
Категория работ по тяжести	лёгкие Ia	средние IIб	тяжё- лые	лёгкие Iб	средние IIa	тяже- лые
Положение переключателя 7 скорости движения воздуха	4	5	6	7	8	9
Тип анемометра	Скорость воздуха определяется по чашечному анемометру			Скорость воздуха определяется по чашечному анемометру •		

2. Оценить комплексное воздействие параметров микроклимата на организм человека.

2.1. Определить эффективную температуру  $t_{э}$  и сравнить её с зоной комфорта для заданной категории работ по тяжести. Для определения  $t_{э}$  по номограмме (прил. 3) отметить показания  $t_c$  и  $t_b$  термометров и соединить их прямой линией. Точка пересечения её с кривой, соответствующей скорости воздуха в помещении, показывает величину  $t_{э}$  и её положение относительно зоны комфорта. Значение  $t_{э}$  занести в табл. 4.1.

Зона комфорта для лёгкой работы находится в пределах  $t_{э} = 17,2 \div 21,7$  °С; для работ средней тяжести  $t_{э} = 16,2 \div 20,7$  °С; для тяжёлого труда  $t_{э} = 14,7 \div 19,2$  °С.

2.2. Установить пути создания комфортных условий на рабочем месте. Если значение  $t_{э}$  находится в пределах зоны комфорта, то весь исследуемый комплекс метеорологических условий обеспечивает нормальный тепловой обмен. Если значение  $t_{э}$  находится вне пределов зоны комфорта, то по номограмме определить изменение каких параметров ( $t_c$ ,  $t_b$ ,  $v$ ,  $\varphi$ ) может привести к созданию комфорта.

3. Определить оптимальные и допустимые параметры микроклимата в соответствии с вариантом задания. Используя таблицу (прил. 4) установить опти-



мальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне помещения с учётом периода года и категории работы. Полученные данные занести в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Нормативные значения параметров микроклимата

Период года	Метеорологические условия	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения, м/с
Категория работ	Оптимальные			
	Допустимые			

Сделать выводы о соответствии исследованных параметров микроклимата оптимальным и допустимым нормам по ГОСТ 12.1.005-88, внести предложения по приведению параметров микроклимата к зоне комфорта.

### Контрольные вопросы

1. Перечислите параметры, характеризующие микроклимат в рабочей зоне производственных помещений.
2. Как влияют различные метеорологические параметры на теплообмен человека с окружающей средой?
3. В чём отличие оптимальных микроклиматических условий от допустимых?
4. Какие факты учитываются при нормировании параметров микроклимата?
5. В чём разница между абсолютной и относительной влажностью воздуха?
6. С помощью каких приборов определяется относительная влажность воздуха? Каков принцип их действия?
7. Когда показания «влажного» термометра будут меньше – при большей, или меньшей относительной влажности и почему? Могут ли показания «сухого» и «влажного» термометров быть равными?
8. Что представляет собой эффективная температура? Что с её помощью определяют?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЕРЦИОННОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА**

#### **5.1. Цель работы**

Освоить методику экспериментальной оценки профессиональных качеств человека-оператора в системе «человек-машина».

#### **5.2. Теоретические сведения**

Одной из особенностей труда в современных условиях является интенсификация технической деятельности человека, т.е. ускорение темпов работы и повышение уровня напряжённости его психической деятельности для достижения большей результативности. Одним из показателей результативности деятельности является снижение количества ошибок, допускаемых оператором в системе «человек-машина». При этом ошибка человека определяется как невыполнение поставленной задачи (или выполнение запрещённого действия), которое может явиться причиной повреждения оборудования или имущества либо нарушения нормального хода запланированных операций.

О роли человеческого фактора говорит статистика: только 8-10% работающих в промышленности, соответствуют по своим психофизиологическим характеристикам профессиональным требованиям. Этим обстоятельством, в частности, обусловлено более 40% автодорожных происшествий, в результате которых на планете ежегодно погибают более 250 тысяч и получают травмы более 7 миллионов человек; 65% производственных травм в шахтах; до 90% нарушений режимов работы тепловых электростанций и т.д. По мнению большинства специалистов в области безопасности, по вине человека (а не техники) происходит 60-90% всех случаев производственного травматизма. Так, специальные исследования одного из производств в нашей стране показали, что в 76,5% производственных травм виновниками были сами пострадавшие, а в 6,1% случаев – их коллеги и лишь в 10,7% случаев несчастье происходило в результате неполадок технических систем.

Таким образом, можно с достаточной уверенностью утверждать, что существенным резервом повышения безопасности и эффективности трудовой деятельности на производстве является психологическое совершенствование системы защитных мероприятий с учётом возможностей и специфических закономерностей поведения человека в различных ситуациях.

Разработка машин и систем, полностью использующих, но не превышающих возможностей человека, является сложной технической задачей, решением которой занимаются специалисты (инженеры и психологи), владеющие методами качественного и количественного анализа процессов взаимодействия человека и машины.

Любая задача, с которой сталкивается человек при взаимодействии с окружающим его миром, оказывается заданной во времени. В трудовой деятельности показатель времени выступает в качестве главного критерия производи-

тельности и эффективности. Особое значение он приобретает в деятельности человека-оператора, где несоблюдение временного критерия расценивается как не достижение цели со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Наиболее скоростными операторскими профессиями на сегодняшний день считаются различные транспортные профессии как водительские (летчик, шофер, машинист и т.д.), так и диспетчерские (систем управления движением). Жесткие временные параметры типичны и для деятельности операторов по управлению технологическими процессами, энергетическими системами, атомными установками и т.п.

Для авиадиспетчера обычно достаточным является темп поступления информации около 4 и выше бит/мин. Причем эта информации требует немедленной переработки и формирования управляющего воздействия. Если учесть, что каждое полученное сообщение требует до 10 элементарных действий по его обработке, то жесткие временные рамки деятельности авиадиспетчера станут еще более очевидны.

Столь же высокий принудительный темп характеризует и деятельность железнодорожных диспетчеров и операторов. При работе сортировочной горки главная операция – роспуск отцепов (80 вагонов за 6-8 мин, интервал между вагонами 4-5с). При этом оператору необходимо в течение 2-3 с осмыслить последовательность и выполнить до 5-6 переключений по управлению замедлителями. Промедление управляющих действия на 0,5-0,7 с может привести к крушению.

Еще более остро проблема дефицита времени стоит в аварийных ситуациях по сравнению с обычными условиями деятельности. Например, при сбоях в функционировании сортировочной горки динамическая интенсивность работы оператора увеличивается на 30-35%, а логическая сложность в целом на 50%.

Очень высок принудительный темп и сложен характер работы летчика. Временные характеристики отдельных этапов действия летчика в условиях реального полета для ряда аварий составляют: время обнаружения аварии - 0,8-1,2 с, считывание информации с табло – 1,7-2,4 с и общее время принятия решения – 2,5-3,6 с. При этом необходимо учитывать, что летчику нередко приходится работать в условиях таких скоростей, которые превосходят возможность его восприятия. Так при полете со скоростью 3М у пилота возникает иллюзия. Пилот видит те предметы, которые находятся на расстоянии 100м позади самолета. Это обусловлено несоизмеримостью временных характеристик зрительного восприятия и движения сверхскоростного самолета.

Дефицит времени при вождении автомобиля часто является причиной дорожно-транспортных происшествий. Поэтому быстрота реакций, как один из важнейших навыков водителя, во многом обеспечивает безопасность движения. Время реакций водителя на неожиданно возникающий тормозной сигнал может колебаться в широких пределах от 0,4 до 1,5с в зависимости от профессионального опыта и индивидуальных психофизиологических особенностей водителя. Следовательно, и длина тормозного пути автомобиля при всех прочих равных

условиях может значительно изменяться. Так, при скорости движения автомобиля 60 км/ч длина тормозного пути увеличивается от 6,8 м для времени реакции 0,4 с до 28,8 м для времени реакции 1,5 с. Водители, время двигательных реакций у которых превышает установленные нормы, к управлению автомобилем допускаться не должны.

Для того чтобы отреагировать на тот или иной сигнал, оператор должен, прежде всего, его воспринять. Возможность получать и оценивать информацию об окружающей среде человеку обеспечивают анализаторы (сенсорные системы). Анализатор – это специальная подсистема центральной нервной системы, включающая три анатомически и функционально связанных между собой элемента: рецепторы (периферийный отдел анализатора), нервные проводящие пути (проводниковый отдел) и мозговой центр (центральный отдел).

Рецепторы являются датчиками сенсорных систем. Они представляют собой специальные клетки или окончания чувствительных нервных волокон, способные возбуждаться при действии раздражителя. Полученная рецепторами информация, закодированная в нервных импульсах, передается по нервным путям в центральные отделы соответствующих анализаторов коры головного мозга, где она анализируется и осуществляется выбор или разработка программы ответной реакции. Таким образом, обнаружение стимула осуществляется в результате преобразования процесса возбуждения в процесс ощущения и осознания.

Основной характеристикой любого анализатора является его чувствительность. Для того чтобы стимул вызвал процесс его ощущения, должен быть создан такой уровень физического раздражения рецептора, при котором физиологическое возбуждение анализатора превысит его внутренние – биологические шумы. Минимальную интенсивность физического раздражителя, при достижении и превышении которой появляется его ощущение, называют нижним, или абсолютным, порогом ощущения. В зависимости от вида раздражителя абсолютный порог измеряется в единицах давления, энергии, температуры, концентрации и т.п.

Если интенсивность раздражителя, превысив абсолютный порог, будет продолжать увеличиваться, то после достижения ею какого-то предельного значения адекватное ощущение стимула станет невозможным. В этом случае человек получает ощущение боли. Максимальную интенсивность раздражителя, которую возможно адекватно ощущать и сверх которой такое ощущение становится невозможным, называют верхним порогом ощущения.

Наряду с нижним и верхним порогом широко используются такие понятия, как дифференциальный порог ощущения и латентный период. Дифференциальный (различительный) порог чувствительности – это минимальное изменение интенсивности раздражителя, которое возможно распознать по разнице в ощущениях. Различают абсолютные и относительные дифференциальные пороги, характеризуемые соответственно значениями  $\Delta J$  и  $\Delta J/J \cdot 100\%$ , где  $J$  – исходная интенсивность.

Латентный период – время, проходящее от начала воздействия раздражителя до возникновения ощущений. Этот показатель характеризует инерционность анализаторов, т.е. запаздывание ощущений человека по отношению к внешнему воздействию.

Кроме названных характеристик, в инженерной психологии находят применение показатели спектральной, чувствительности, пространственного и временного порогов.

Диапазон спектральной чувствительности определяется для анализаторов, чувствительных к изменению частотных характеристик сигнала (зрительного, слухового, вибрационного), как все переходные значения от нижнего до верхнего порога ощущений по частоте или длине волны.

Показатели пространственного порога устанавливают минимальные размеры раздражителя, площадь рецепторов, на которые он воздействует, и их взаимное расположение; временного порога – минимальную длительность воздействия, необходимую для возникновения ощущения.

Функционирование анализаторов существенно изменяется под влиянием неблагоприятных для человека условий. Низкая и высокая температуры, вибрации, перегрузки, интенсивные потоки информации, утомление, вызванное длительной работой, состояние стресса и т.п. – все эти факторы вызывают различные изменения характеристик анализаторов.

Чтобы обеспечить достаточную надёжность деятельности человека-оператора при приёме и анализе сигналов в любых условиях, для практических расчётов рекомендуется использовать не абсолютные и дифференциальные пороги чувствительности к различным сигналам, а оперативные пороги, характеризующие некоторую оптимальную различимость сигналов. Обычно оперативный порог в 10÷15 раз выше соответствующего абсолютного и дифференциального.

Психофизическими опытами установлено, что величина ощущений человека изменяется медленнее, чем интенсивность раздражителя. Количественное соотношение между интенсивностью ощущений и интенсивностью раздражителя устанавливает закон Вебера-Фехнера, который выражается уравнением:

$$E = k \lg \left( \frac{J}{J_0} \right) + C,$$

где  $E$  – интенсивность ощущений,  $J$  – интенсивность раздражителя;  $J_0$  – абсолютный порог;  $k$  и  $C$  – константы, определяемые данной сенсорной системой.

Закон утверждает, что при линейном увеличении интенсивности ощущений ( $E$ ) интенсивность раздражителя ( $J$ ) растёт логарифмически.

Являясь звеном в системе «человек-машина», оператор чаще всего реагирует на сигналы с помощью слухового и зрительного анализаторов. Рассмотрим работу зрительного анализатора.

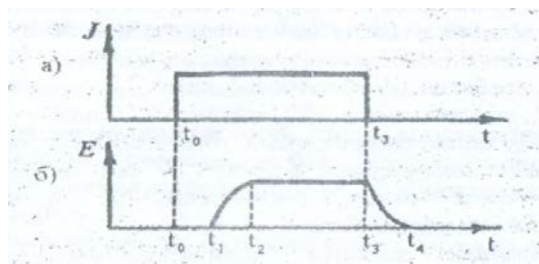


Рис. 5.1. Временная диаграмма работы зрительного анализатора:  
а) входной сигнал; б) принятый сигнал

Как следует из рис. 5.1, в промежутке времени  $t_0 - t_3$  на глаз человека действует световой сигнал. Но зрительное ощущение этого возникает не в момент  $t_0$ , а в момент  $t_1$ . Промежуток времени  $t_0 - t_1$  представляет собой латентный (скрытый) период. Для большинства людей этот период составляет в среднем  $0,15 \div 0,22$  с.

Возникнув в момент времени  $t_1$ , зрительное ощущение развивается не сразу, а постепенно, и достигает своего максимума в момент времени  $t_2$ , после чего оно сохраняется в течение всего времени действия светового сигнала. После окончания воздействия раздражителя (момент  $t_3$ ) зрительное ощущение исчезает не сразу, а также постепенно и заканчивается лишь в момент времени  $t_4$ . Промежуток времени  $t_3 \div t_4$  – это время инерции ощущения.

Что касается длительности латентного периода для слухового анализатора, то она зависит как от уровня силы звука, так и от его частоты и составляет в среднем  $0,12 \div 0,18$  с.

В общем виде деятельность человека-оператора характеризуется быстродействием и надёжностью.

Критерием быстродействия (инерционности) является время решения задачи, т.е. время от момента появления сигнала (стимула) до момента окончания управляющих воздействий. Обычно это время прямо пропорционально количеству преобразуемой человеком информации:

$$t_{0П} = a + bH = a + \left(\frac{H}{V_{0П}}\right),$$

где  $a$  – скрытое время реакции, т.е. промежуток времени от момента появления сигнала до реакции на него оператора ( $a \approx 0,2 \div 0,6$  с);  $b$  – время переработки одной единицы информации ( $b \approx 0,15 \div 0,35$  с);  $H$  – количество перерабатываемой информации;  $V_{0П}$  – средняя скорость переработки информации ( $V_{0П} = 2 \div 4$  ед/с) или пропускная способность.  $V_{0П}$  характеризует время, в течение которого оператор постигает смысл информации; зависит от его психологических особенностей, типа задач, технических и эргономических особенностей систем управления.

Время реакции является количественным показателем максимальной скорости, с которой протекают у данного человека-оператора нервные процессы при разрешении рассматриваемой задачи. Вместе с тем, поскольку скорость

реагирования зависит от физического и психологического состояния человека, она может служить также показателем этих состояний.

Наиболее элементарной разновидностью реакции оператора является сенсомоторная реакция, которая осуществляется в виде восприятия информации оператором и совершении заданного ему движения (нажатия кнопки, перемещения, рычага и т.п.). Основным показателем такой реакции – время складывается в основном из двух составляющих: латентного периода и моторного акта.

Простая сенсомоторная реакция (типа А) заключается в ответе заранее заданным простым движением на внезапно появляющийся, но заранее известный, сигнал. Подобным образом оператор реагирует на аварийный сигнал в тех случаях, когда такой сигнал требует срочной и однозначной реакции.

Другим типом сенсомоторной реакции является сложная реакция (типа В), в которой осуществляется предельно быстрое различение поступившего сигнала среди ряда возможных и выбор из имеющихся способов ответных действий такого, который соответствует этому сигналу.

Третий тип сенсомоторной реакции (тип С) возникает в тех случаях, когда испытуемому предъявляют два или несколько сигналов и ему следует реагировать на какой-либо из них, оставляя без внимания остальные.

На основании статистики для элементарного сенсомоторного акта время реакции оператора составляет  $0,3+0,5$  с.

Применительно к системе управления, элементом которой является человек, требуемое быстродействие оператора определяется продолжительностью цикла управления:

$$T_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n t_i + t_{\text{оп}}, \quad (5.1)$$

где  $T_{\text{ц}}$  – общая продолжительность цикла управления;  $t_i$  – время задержки сигнала в  $i$ -м звене машины;  $n$  – число машинных звеньев;  $t_{\text{оп}}$  – время пребывания информации на обслуживании (т.е. время реакции оператора).

При заданных значениях  $T_{\text{ц}}$  и известных  $t_i$  (обычно приводятся в паспортных данных на устройство) от оператора требуется быстродействие:

$$t_{\text{оп}} \leq T_{\text{ц}} - \sum_{i=1}^n t_i. \quad (5.2)$$

Постоянная времени оператора  $t_{\text{оп}}$  при реализации принятых им решений является одним из важнейших профессиональных качеств. В связи с этим возникает необходимость количественной оценки этого показателя, как на стадии предварительного профессионального отбора, так и в процессе нормирования труда оператора.

Надёжность человека-оператора определяет его способность выполнять в полном объёме возложенные на него функции при определенных условиях работы. Надёжность деятельности оператора характеризуют безошибочность, готовность, восстанавливаемость, своевременность и точность.

Безошибочность оценивается вероятностью безошибочной работы, которая определяется как на уровне отдельной операции, так и в целом на уровне всего объема работы.

Вероятность  $P_j$  безошибочного выполнения операции  $j$ -го вида и интенсивность ошибок  $\lambda_j$ , допущенных при этом, применительно к фазе устойчивой работы определяется на основе статических данных:

$$P_j = \frac{N_j - C_j}{N_j} ;$$

$$\lambda_j = \frac{C_j}{N_j \cdot T_j} ,$$

где  $N_j$  – общее число выполняемых операций  $j$ -го вида;  $C_j$  – число допущенных при этом ошибок;  $T_j$  – среднее время выполнения операции  $j$ -го вида.  $P_j = 0.9 \div 0.995$ .

Коэффициент готовности характеризует вероятность включения оператора в работу в любой произвольный момент времени:

$$K_{OP} = 1 - \left( \frac{T_B}{T} \right),$$

где  $T_B$  – время, в течение которого, человек не может принять поступившую к нему информацию;  $T$  – общее время работы человека-оператора.

Восстанавливаемость оператора оценивается вероятностью исправления им допущенной ошибки:

$$P_B = P_K P_{OBH} P_{II},$$

где  $P_K$  – вероятность выдачи сигнала контрольной системой;  $P_{OBH}$  – вероятность обнаружения сигнала оператором;  $P_{II}$  – вероятность исправления ошибочных действий при повторном выполнении всей операции

Этот показатель позволяет оценить возможность самоконтроля оператором своих действий и исправления допущенных им ошибок.

Своевременность действий оператора оценивается вероятностью выполнения задачи в течение заданного времени:

$$P_{CB} = P(t \leq t') = \int_0^{t'} f(t) dt,$$

где  $f(t)$  – функция распределения времени решения задачи оператором;  $t'$  – лимит времени, превышение которого рассматривается как ошибка.

Эта же вероятность может быть определена и по статистическим данным как:

$$P_{CB} = \frac{N - N_{ИС}}{N},$$

где  $N$  и  $N_{ИС}$  – общее и несвоевременно выполненное число задач.

Точность – степень отклонения измеряемого оператором количественного параметра системы от его истинного, заданного или номинального значения. Количественно \* этот параметр оценивается погрешностью, с которой оператор измеряет, оценивает, устанавливает или регулирует этот параметр:



$$\Delta A = A_{И} - A_{ОП} ,$$

где  $A_{И}$  – истинное или номинальное значение параметра;  $A_{ОП}$  – фактически измеренное или регулируемое оператором значение этого параметра.

Значение погрешности, превысившее допустимые пределы, является ошибкой и её следует учитывать при оценке надёжности.

### 5.3. Лабораторная установка

В качестве лабораторного оборудования используется рефлексометр, позволяющий измерять время реакции оператора на аудио- и видеосигналы. Функционально прибор позволяет:

а) демонстрировать появление одного из восьми сигналов, в том числе и комбинированного, а именно:

- включение красного светодиода;
- включение зеленого светодиода;
- одновременное включение светодиодов;
- тональный сигнал частотой 1 кГц;
- тональный сигнал частотой 0,2 кГц;
- одновременное включение обоих светодиодов и тонального сигнала частотой 0,2 кГц;
- включение красного светодиода одновременно с тональным сигналом частотой 0,2 кГц;
- включение зеленого светодиода одновременно с тональным сигналом частотой 0,2 кГц;

б) измерять время реакции оператора на появление одного из указанных выше сигналов с точностью до  $10^{-3}$ с;

в) проводить эксперименты на базе одного заранее выбранного сигнала.

Схематическое изображение панели прибора приведено на рис. 5.2.

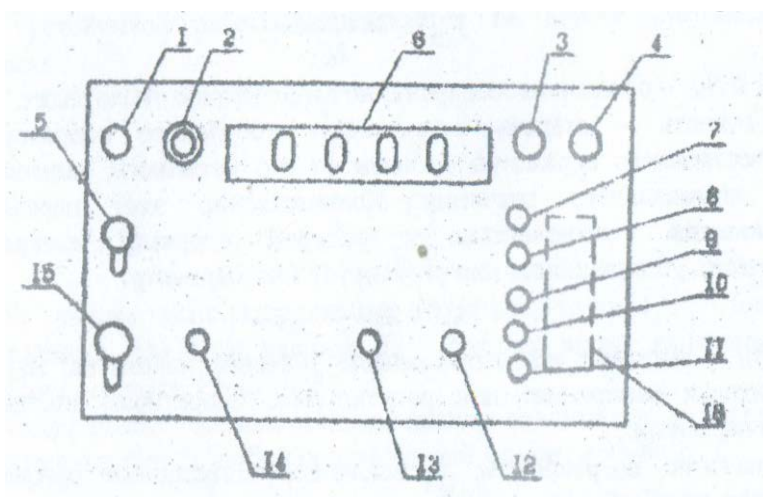


Рис. 5.2. Панель прибора

Элементы панели: 1 – светодиод «сеть включена»; 2 – предохранитель; 3 – красный светодиод; 4 – зеленый светодиод; 5 – тумблер «сеть»; 6 – четырехразрядное световое табло; 7 – кнопка «красный светодиод»; 8 – кнопка «зеленый светодиод»; 9 – кнопка «красный + зеленый светодиоды»; 10 – кнопка «тональный сигнал частотой 0,2 кГц»; 11 – кнопка «тональный сигнал частотой 1 кГц»; 12 – контроль прохождения сигнала ОД кГц; 13 – контроль прохождения сигнала 1,0 кГц; 14 – кнопка «запуск»; 15 – тумблер «повторное включение»; 16 – мнемосхема панели.

Прибор работает следующим образом. После включения тумблера «сеть» 5 загорается желто-зеленый светодиод 1, на цифровом табло появляется произвольный набор цифр. Тумблер 15 выключен. Нажатием на кнопку 14 «обнуляем» табло, при этом одновременно происходит запуск генератора чисел случайной последовательности.

Через 12-14 с схема выдает команду на включение одного из восьми указанных сигналов. Включение сигналов равновероятно ( $P=0,125$ ). Одновременно с появлением сигнала начинается отсчет времени. Счетчик может считать до 9,0 с, после чего счет прекращается. После возникновения зрительного (слухового) ощущения необходимо нажать на кнопку в соответствии с мнемосхемой, имеющейся на панели прибора. При комбинированном сигнале (звук + свет) необходимо нажать уже на две соответствующие кнопки. Нажатием кнопки прекращается процесс счета, а зафиксированное на табло время характеризует «инерционность» человека-оператора. Этим завершается одноразовая проверка. Поскольку оценка сенсомоторной реакции человека-оператора предполагает определенную статистику, нажатием на кнопку 14 цикл испытаний повторяют необходимое число раз.

При необходимости экспериментирования с постоянным заранее известным сигналом поступают следующим образом. Измеряя  $t_{оп}$  указанным выше способом, ожидают появления интересующего сигнала, фиксируют время и после этого включают тумблер 15. Теперь при нажатии на кнопку 14 будет появляться только этот сигнал.

Для восстановления первоначального режима работы прибора тумблер 15 необходимо выключить.

#### **5.4. Методика проведения эксперимента и интерпретация его результатов**

Перед включением прибора проверить наличие заземления, клемма «заземление» находится на задней панели прибора. Ознакомиться с мнемосхемой – 16, расположенной вертикально правее кнопок 7-11.

1. Определение времени простой сенсомоторной реакции (тип А).

1.1. Подключить прибор к сети и включить тумблер 5 (рис. 5.2) Убедиться, что тумблер 15 включен (находится в нижнем положении) Кратковременным нажатием на кнопки 13 и 12 убедиться в «исправности» звуковых сигналов частотой 1,0 и 0,2 кГц соответственно.

1.2. Кратковременно нажать кнопку 14. При этом на световом табло должны появиться нули, а затем через 12÷14 секунд появится один из восьми перечисленных выше сигналов. Одновременно включается таймер и на табло индуцируются микросекунды.

Вслед за появлением сигнала необходимо нажать на соответствующую кнопку (кнопки) в соответствии с мнемосхемой. При этом отсчёт времени прекращается, а на табло фиксируется постоянная времени оператора  $t_{оп}$ , которую необходимо внести в табл. 5.1 для последующей математической обработки. Этим заканчивается единичный цикл измерения.

Таблица 5.1

Номер замера		Результаты эксперимента									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время реакции, $t_{оп}$	Тип А										
	Тип В										

1.3. Нажатием на кнопку 14 цикл измерения  $t_{оп}$  повторяется. Для получения объективного результата провести не менее 10 измерений.

2. Определение времени сложной сенсомоторной реакции (тип В).

Выключить тумблер 15 (перевести в верхнее положение). Повторить п.п. 1.2; 1.3;

3. Математическая обработка результатов эксперимента.

На основании проведённых  $m$  измерений определив математическое ожидание  $M_x$  времени реакции оператора:

$$M_x = \sum_{i=1}^m x_i P_i ,$$

где  $x_i$ , – значения  $t_{оп}$  полученные в эксперименте, с;  $P_i = 1/m$  – вероятность появления данного значения  $x_i$ ;  $m$  – количество проведённых измерений.

Определить дисперсию  $D_x$  случайной величины  $M_x$ :

$$D_x = \sum_{i=1}^m (x_i - M_x)^2 P_i .$$

Определить среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}.$$

Определить диапазоны значений  $t_{оп}$  с учётом  $\sigma_x$ :

$$t_{опmax} = M_x + \sigma,$$

$$t_{опmin} = M_x - \sigma.$$

4. Проверка выполнения условия (2) при известных значениях  $T_{ц}$  и  $\sum_{i=1}^n t_i$ .

Получить у преподавателя вариант задания для количественного анализа результатов эксперимента (табл. 5.2).

Таблица 5.2

		Варианты задания									
Варианты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Исходные данные	$T_{ц}, с$	12	11	10	9	14	10	13	15	16	9
	$\sum_{i=1}^n t_i, с$	9	8,5	8	7,5	13	8	11,5	13	14,5	8

Проверить выполнение условия (2):

$$t_{опmax} = M_x + \sigma \leq T_{ц} - \sum_{i=1}^n t_i.$$

Оценить соответствие режима работы оператора требуемым нормам и сделать предварительный вывод о профессиональной пригодности оператора.

В случае невыполнения условия (2)  $t_{опmax} > T_{ц} - \sum_{i=1}^n t_i$  определить необходимые мероприятия, позволяющие оператору исполнять свои функции в данной системе управления.

В зависимости от превышения  $t_{оп}$  над нормативным уровнем выбрать один из трёх возможных вариантов:

– при  $t_{опmax} / (T_{ц} - \sum_{i=1}^n t_i) = C = 1,06 \div 1,15$  – снизить  $\sum_{i=1}^n t_i$  за счёт уменьшения количества машинных звеньев  $n$ , регулируемых с участием оператора;

– при  $1,15 \leq C < 1,7$  – снизить  $\sum_{i=1}^n t_i$  за счёт повышения уровня автоматизации машинных звеньев;

– при  $C > 1,7$  – разделить функции регулирования  $n$  машинных звеньев между двумя операторами.

### Контрольные вопросы

1. Что представляет собой анализатор человека?
2. Какие основные характеристики анализаторов?
3. Что устанавливает закон Вебера-Фехнера?

4. Что такое время реакции человека на внешний сигнал и что оно характеризует?
5. Что такое сенсомоторная реакция человека? Какие сенсомоторные реакции бывают?
6. Из чего складывается время цикла управления в системе «человек-машина»?
7. Какие временные ограничения накладывались на деятельность человека-оператора в системе «человек-машина» в вашем варианте?
8. Какими показателями характеризуется деятельность человека-оператора?
9. Что такое надёжность человека-оператора? Чем она характеризуется?
10. Что такое безошибочность человека-оператора?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ РАБОЧИХ МЕСТ**

### **6.1. Цель работы**

Исследование освещенности рабочих мест и ее соответствия санитарным нормам, а также влияния на освещенность цветовой окраски стен.

### **6.2. Теоретические сведения**

Неправильно подобранное освещение ухудшает условия зрительной работы, повышает утомляемость глаз, нервной системы, снижает производительность труда, может стать причиной несчастного случая или заболевания. Поэтому организация рационального освещения является одним из главных вопросов безопасности жизнедеятельности.

Освещение характеризуется количественными и качественными показателями. К основным количественным показателям относятся: световой поток, сила света, освещенность и яркость.

Световой поток  $F$  определяется как мощность лучистой энергии, оцениваемой по световому ощущению, которое она производит на человеческий глаз. Измеряется световой поток в люменах (лм).

Осветительные приборы излучают световой поток неравномерно, поэтому вводится величина пространственной плотности светового потока - сила света  $J$ , которая определяется как отношение светового потока к величине телесного угла, в пределах которого световой поток распространяется:

$$J = \frac{dF}{d\omega}. \quad (6.1)$$

Телесный угол  $d\omega$  измеряется отношением площади  $S$  той части сферы с центром в вершине конической поверхности, которая вырезается телесным углом, к квадрату радиуса  $R$  сферы:

$$\omega = \frac{S}{R^2}.$$

Измеряется  $\omega$  в стерadians (ср). При  $S=1\text{м}^2$ ;  $R = 1$  м;  $\omega=1$  ср. Для полусферы  $\omega=\pi$  ср, полная сфера образует  $\omega = 2\pi$  ср.

За единицу силы света принята кандела (кд). Одна кд – сила света, испускаемого с поверхности площадью  $\frac{1}{6} \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$  государственного светового эталона в перпендикулярном направлении при температуре затвердевания пластины (2046,65 К) и давлении 101,3 кПа.

Освещенность  $E$  – отношение светового потока к площади поверхности, на которую этот поток падает:

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

Освещенность измеряется в люксах (лк). Освещенность в 1 лк – очень маленькая величина, и она дает возможность лишь ориентироваться в пространстве. При свете полной луны освещенность составляет 0,2 лк, при прямом свете солнца – 100000 лк.

Яркость поверхности  $L$  в данном направлении определяется отношением силы света, излучаемой поверхностью в этом направлении, к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению

$$L = \frac{dJ}{dS_1 \cdot \cos \alpha},$$

где  $\alpha$  – угол между направлением силы света и перпендикуляром к светящейся поверхности;  $dS_1$  – площадь светящейся поверхности; измеряется яркость в канделах на квадратный метр.

К основным качественным показателям освещения, определяющим условия зрительной работы, относятся: фон, контраст объекта с фоном, видимость, коэффициент пульсаций, показатель ослепленности и другие.

Фон – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Характеризуется коэффициентом отражения, который определяется как отношение отраженного от поверхности к падающему на нее световому потоку:

$$\rho = \frac{F_{\text{отп}}}{F_{\text{пад}}}.$$

При  $\rho > 0.4$  фон считается  $\rho = 0.2 \div 0.4$  – средним и  $\rho < 0.2$  – темным.

Контраст объекта с фоном характеризуется отношением яркостей рассматриваемого объекта и фона. Определяется по формуле:

$$K = \frac{|L_0 - L_\delta|}{L_\delta},$$

где  $L_o$  и  $L\phi$  – яркости соответственно объекта и фона. Контраст объекта с фоном считается большим при  $K > 0.5$ , средним при  $K = 0.2 \div 0.5$  и малыми при  $K < 0.2$ .

В зависимости от источника света различают естественное, искусственное и совмещенное освещение.

Естественное освещение подразделяют на боковое, осуществляемое через световые проемы в наружных стенах; верхнее, осуществляемое через аэрационные и зенитные фонари, проемы в перекрытиях; комбинированное, когда к верхнему освещению добавляется боковое.

Искусственное освещение по исполнению может быть двух систем – общее  $E_o$  и комбинированное  $E_k$  (когда к общему освещению добавляется местное, концентрирующее световой поток непосредственно на рабочих местах). Применение одного местного освещения в производственных помещениях не допускается.

Основой бесперебойности действия осветительной установки является устройство одновременно двух видов освещения: рабочего и аварийного, различающихся по своему функциональному назначению и получающих раздельное питание. Рабочее освещение предназначено для создания необходимых условий работы и нормальной эксплуатации здания, а аварийное для обеспечения условий для временного продолжения работы или безопасной эвакуации людей из помещения при прекращении действия рабочего освещения.

Отечественная светотехническая промышленность выпускает широкий ассортимент источников света, предназначенных для использования в различных осветительных установках. Наряду с лампами накаливания и люминесцентными лампами в практике широко используются галогенные, ртутно-кварцевые с исправленной цветностью, ксеноновые и натриевые лампы. Источники света выпускаются самой различной мощности от десятков ватт до десятков киловатт, на различные напряжения, в колбах различных форм и различных размеров.

Величина освещенности на рабочем месте устанавливается по характеристике зрительной работы, которую определяет наименьший размер объекта различения, фон и контраст объекта с фоном, в соответствии со СНиП 23-05-95. Принято раздельное нормирование освещенности в зависимости от систем освещения и их конструктивного исполнения.

Искусственное освещение нормируется в люксах, а для естественного освещения в качестве нормируемой принята относительная величина – коэффициент естественной освещенности  $KEO$ . Он определяется как выраженное в процентах отношение освещенности в данной точке внутри помещения к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода:

$$KEO = \frac{E_B}{E_H} \cdot 100\% . \quad (6.2)$$

В помещениях с односторонним боковым освещением нормируется минимальное значение  $KEO$  в точке, расположенной на расстоянии 1 м от наиболее удаленной от световых проемов стены. При двухстороннем естественном боковом освещении нормируется минимальное значение  $KEO$  в середине помещения.

Следует иметь в виду, что в СНиП 23-05-95 приведены нормы естественной освещенности для III светового пояса (центр европейской части России). Для зданий, расположенных в других поясах светового климата – I, II, IV, V, -  $KEO$  следует определять по формуле:

$$\dot{a}_i = \dot{a}_0^{III} \cdot m,$$

где  $\dot{a}_0^{III}$  – табличное значение  $KEO$ ;  $m$  – коэффициент светового климата, определяемый в зависимости от района" расположения здания на территории России.

Кроме количественного показателя  $KEO$  существует качественная характеристика – неравномерность естественного освещения, определяемая как соотношение наибольшего и наименьшего значений  $KEO$  в пределах характерного разреза помещения. Неравномерность не должна превышать 2:1 для работ I и II разрядов и 3:1 для работ III и IV разрядов.

Задачей технического расчета осветительной установки может являться либо определение числа или мощности источников света, обеспечивающих нормированную освещенность, либо определение фактической освещенности, создаваемой запроектированной осветительной установкой. Для расчета искусственного освещения используют в основном три метода.

Метод светового потока – для расчета общего равномерного освещения горизонтальной рабочей поверхности. Этот метод определяет эффективность использования светового потока источника света, которая зависит от таких факторов, как светораспределение и размещение светильников в помещении, отражающие свойства поверхностей и соотношение размеров помещения.

По методу удельной мощности проводится упрощенный расчет осветительных установок при равномерном размещении стандартных светильников общего освещения. Значения удельной мощности установок приводятся в нормативах в зависимости от уровня освещенности, площади помещения, высоты подвеса и типа светильников.

Точечный метод применяют для расчета локализованного и комбинированного освещения. Он дает возможность определить световой поток и мощность источника света, необходимые для создания заданной освещенности на расположенной в любой плоскости поверхности и при любом расположении светильников. Точечный метод основан на соотношении освещенности и силы света:

$$E_A = \frac{J_A \cdot \cos \beta}{r^2},$$



где  $J_A$  – сила света в направлении от источника на данную точку А рабочей поверхности, кд;  $r$  – расстояние от светильника до расчетной точки, м;  $\beta$  – угол между нормалью рабочей поверхности и направлением светового потока (рисунок).

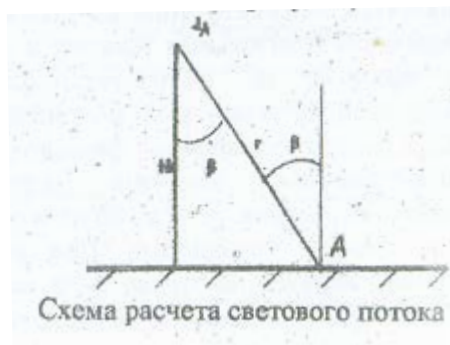


Рисунок. Схема расчета светового потока

Для практического расчета вводим в формулу коэффициент запаса  $K$  и поскольку  $r = H/\cos \beta$  получим:

$$E_A = \frac{J_A \cdot \cos^3 \beta}{K \cdot H^2}, \quad (6.3)$$

где  $H$  – высота подвеса источника света, м.

Коэффициент запаса  $K$  учитывает степень запыленности помещения, и уменьшения светового потока по времени в связи с изменением характеристик источника света.

Силу света, учитывая формулу (1), для равномерно распределенного светового потока в пределах угла  $\omega = \pi$  можно определить по формуле

$$J_A = \frac{F}{\pi}. \quad (6.4)$$

Более точные данные о распределении силы света  $J_A$  можно почерпнуть из светотехнических справочников.

### 6.3. Экспериментальная установка

Установка для исследования искусственного освещения включает светильники общего освещения лаборатории и бокс с 5 источниками местного освещения (лампы накаливания), с помощью которых исследуется комбинированное освещение рабочего места. Все лампы накаливания подвешены на одной высоте и имеют различную мощность.

Лампы бокса служат также для исследования влияния цвета стен на величину освещенности помещения. Для этого в эксперименте одна из ламп с 4 сторон огораживается комплектом цветных пластин.

В работе используется люксметр типа Ю-116. Он состоит из фотоэлемента с набором поглотительных насадок и гальванометра. Действие прибора основано на фотоэлектрическом эффекте. Световой поток, падающий на селено-

вый фотоэлемент, вызывает электрический ток, величина которого фиксируется стрелкой гальванометра пропорционально величине светового потока. Прибор имеет две шкалы измерения: от 0 до 30 лк и от 0 до 100 лк и соответствующие им кнопки управления. При нажатии левой кнопки отсчет показаний ведется по шкале 0-30 лк, при нажатии правой - по шкале 0-100 лк. Наибольшую погрешность измерений прибор дает при малых отклонениях стрелки гальванометр. Поэтому на каждой шкале точкой обозначено допустимое начало измерения.

Для измерения больших освещенностей (свыше 100 лк) на фотоэлемент надевают светопоглощающие насадки К, М, Р, Т. Насадка К выполнена в виде полусферы из белой светорассеивающей пластмассы и служит для уменьшения косинусной погрешности, связанной с углом падения света на фотоэлемент. Насадка К применяется только совместно с одной из насадок М, Р или Т. При использовании насадок К и М коэффициент ослабления светового потока 10, при использовании насадок К и Р – 100, а насадок К и Т – 1000. Показания прибора при использовании насадок умножают на соответствующий коэффициент ослабления.

#### 6.4. Методика проведения эксперимента и интерпретация его результатов

##### 1. Исследование естественного освещения лаборатории.

1.1. Измерить внутреннюю освещенность  $E_B$  на уровне 0.8м от пола (уровень поверхности рабочих мест) в пяти точках лаборатории по ее оси. Первое измерение провести на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов, следующие – на расстоянии 1 м друг от друга по направлению к световым проемам. В каждой точке выполнить по три отсчета, данные занести в табл. 6.1. При измерениях фотоэлемент люксметра располагается горизонтально.

Таблица 6.1

Номер отсчета	$E_B$ на расстоянии, м					$E_H$
	1	2	3	4	5	
1						
2						
3						
Среднее значение						

1.2. Измерить наружную освещенность  $E_H$ , расположив при этом фотоэлемент на оконном стекле. Число отсчетов в измерительной точке – три.

1.3. Определить значение  $KEO$  в измеренных точках лаборатории по формуле (2), результаты занести в табл. 6.2.

Таблица 6.2

$KEO$ в точках лаборатории на расстоянии от стены, м					Значения $KEO$		Неравномерность естественного освещения, $KEO_{max}/KEO_{min}$
1	2	3	4	5	Максимальное	Минимальное	

1.4. Определить неравномерность естественного освещения по оси лаборатории, данные занести в табл. 6.2.

1.5. Построить график распределения  $KEO$  по оси лаборатории  $KEO=f(x)$ .

1.6. По СНиП 23-05-95 (прил. 5) определить разряд работы и наименьший размер объекта различения, допустимые в лаборатории при существующем естественном освещении.

2. Исследование влияния цвета стен помещения на величину освещенности.

2.1. Огородив лампу № 1 в боксе с 4 сторон комплектом пластин белого цвета, включить освещение и измерить освещенность, поместив при этом фотозлемент люксметра под лампу.

2.2. Последовательно устанавливая пластины черного, зеленого, желтого и других цветов, вновь измерить освещенность при неизменных положениях источника света и фотозлемента люксметра. Результаты эксперимента представить в виде табл. 6.3.

2.3. Сделать выводы о влиянии окраски стен на освещенность внутри бокса экспериментальной установки.

Таблица 6.3

Цвет пластин	Белый	Желтый	Красный	Синий	Зеленый	Черный
$E$ , лк						

3. Исследование и расчет местного источника в системе комбинированного освещения.

3.1. По СНиП 23-05-95 (прил. 5) определить освещенность  $E_K$  согласно предложенному преподавателем варианту (табл. 6.4) в системе комбинированного освещения.

3.2. Замерить освещенность  $E_0$ , создаваемую общей системой освещения на рабочем месте, где выполняется лабораторная работа. Для этого включить общее освещение лаборатории и фотозлемент люксметра расположить на рабочем столе горизонтально.

3.3. Определить освещённость на рабочем месте, недостаточную для выполнения заданной работы согласно предложенному варианту (табл. 6.4), по формуле:

$$E_A = E_K - E_0,$$

где  $E_A$  – освещенность, которую должен обеспечить местный источник света.

3.4. Используя формулы (3) и (4), вывести в общем, виде формулу для определения необходимого светового потока  $F$ .

3.5. Рассчитать величину светового потока, используя данные расчёта ( $E_A$ ) и следующие значения параметров:  $K=1,5$ ;  $H=0,37$  м;  $\beta$  – по варианту задания.

3.6. По рассчитанному световому потоку с помощью прил. 6 определить тип и мощность лампы накаливания.

Таблица 6.4

Варианты	Характер зрительной работы	Размер объекта различения, мм	Разряд и под-разряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Угол $\beta$ град
1	Наивысшая точность	менее 0.15	1г	$K=0.16$	$p=0.3$	45
2	Очень высокая точность	0.15-0.3	2в	$K=0.4$	$p=0.25$	30
3	Очень высокая точность	0.15-0.3	2г	$K=0.5$	$p=0.5$	30
4	Высокая точность	0.3-0.5	3а	$K=0.15$	$p=0.17$	30
5	Высокая точность	0.3-0.5	3б	$K=0.1$	$p=0.4$	45
6	Средняя точность	0.5-1	4а	$K=0.18$	$p=0.15$	30

3.7. В боксе среди источников местного освещения выбрать лампу необходимой мощности, определить месторасположение расчетной точки А и замерить в ней освещенность.

3.8. Сделать вывод о соответствии системы освещения условиям заданной работы. Допускаются отклонения в пределах от -10 до +20% от  $E_A$ .

## Контрольные вопросы

1. Назовите количественные и качественные показатели освещения.
2. Каковы системы и виды освещения?
3. В чем состоит принципиальная разница в нормировании естественной и искусственной освещенности?
4. Какие методы используются для расчета искусственного освещения?
5. Какие правила необходимо соблюдать при измерении освещения люксметром?
6. Что такое коэффициент естественной освещенности?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате изучения дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» будущий специалист должен знать: теоретические основы безопасности жизнедеятельности в системе «человек – среда обитания»; правовые, нормативно-технические и организационные основы безопасности жизнедеятельности; основы физиологии человека и рациональные условия деятельности; анатомо-физические последствия воздействия на человека травмирующих, вредных и поражающих факторов; идентификацию травмирующих, вредных и поражающих факторов чрезвычайных ситуаций; средства и методы повышения безопасности. Теоретические знания полученные на лекции позволяют получить практические навыки на лабораторных занятиях. Представленные в практикуме работы отражают основные разделы курса. Лабораторные работы позволяют приобрести практические навыки по нейтрализации опасных и вредных факторов на производстве.

Практикум является универсальным изданием, предназначенным для широкого круга направлений, в учебный план которых включен курс «Безопасность жизнедеятельности» с лабораторными работами. Позволяет обобщить и систематизировать полученные знания, сформировать основные постулаты безопасной производственной деятельности. Изложенный в лабораторном практикуме материал дает практические навыки и способствует формированию профессиональных компетенций в области безопасности жизнедеятельности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Асташкин, В.П. Безопасность жизнедеятельности. Методы и средства защиты: учеб. пособие / В.П. Асташкин, В.В. Асташкин. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2009. – 201 с.
2. Безопасность жизнедеятельности: лабораторный практикум / Н.В. Мозговой, В.П. Асташкин, Э.Х. Милушев, Л.Н. Звягина. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2007. – 92 с.
3. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: учеб. пособие / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев, Н.И. Сердюк. – М.: Высш. шк., 2001. – 319 с.
4. Девясилов, В.А. Охрана труда: учебник / В.А. Девясилов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Форум: ИНФРА-М, 2007. – 448 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица для вычисления относительной влажности по аспирационному психрометру

Гра- дусы Цель- сия по сухо- му тер- мо- метру	Градусы Цельсия по влажному термометру															
	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
15	100															
15,5	95	100														
16	90	95	100													
16,5	86	90	95	100												
17	81	86	90	95	100											
17,5	77	81	86	90	95	100										
18	73	77	82	86	91	95	100									
18,5	69	73	78	82	86	91	95	100								
19	66	70	74	78	82	86	91	95	100							
19,5	62	66	70	74	78	82	86	91	95	100						
20	59	63	66	70	74	78	83	87	91	96	100					
20,5	56	59	63	67	71	75	79	83	87	91	96	100				
21	53	56	60	64	67	71	75	79	83	87	91	96	100			
21,5	50	53	57	60	64	68	71	75	79	83	87	92	96	100		
22	47	50	54	57	61	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	
22,5	44	48	51	54	58	61	65	68	72	76	80	84	88	92	96	100
23	42	45	48	51	55	58	62	65	69	72	76	80	84	88	92	96
23,5	39	42	46	49	52	55	59	62	66	69	72	78	80	84	88	92
24	37	40	43	46	49	53	56	59	63	66	70	73	77	80	84	88
24,5	35	38	41	44	47	50	53	56	60	63	66	69	73	77	81	84
25	33	36	38	41	44	47	50	54	57	60	63	67	70	74	77	81
25,5	31	34	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	67	70	74	77
26	29	32	34	37	40	43	46	48	52	55	58	61	64	67	71	74
26,5	27	30	32	35	38	40	43	46	49	52	55	58	61	64	68	71
27	25	28	30	33	36	38	41	44	47	50	52	55	58	62	65	68
27,5	24	26	29	31	34	36	39	42	44	47	50	53	56	59	62	65
28	22	25	27	29	32	34	37	40	42	45	48	50	53	56	59	62
28,5	21	23	25	28	30	33	35	38	40	43	45	48	51	54	57	60
29	19	21	24	26	28	31	33	36	38	41	43	46	49	51	54	57
29,5	18	20	22	24	27	29	31	34	36	39	41	44	46	49	52	55
30	17	19	21	23	25	27	30	32	34	37	39	42	44	47	50	52

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Упругость водяных паров в мм ртутного столба  
при разных температурах

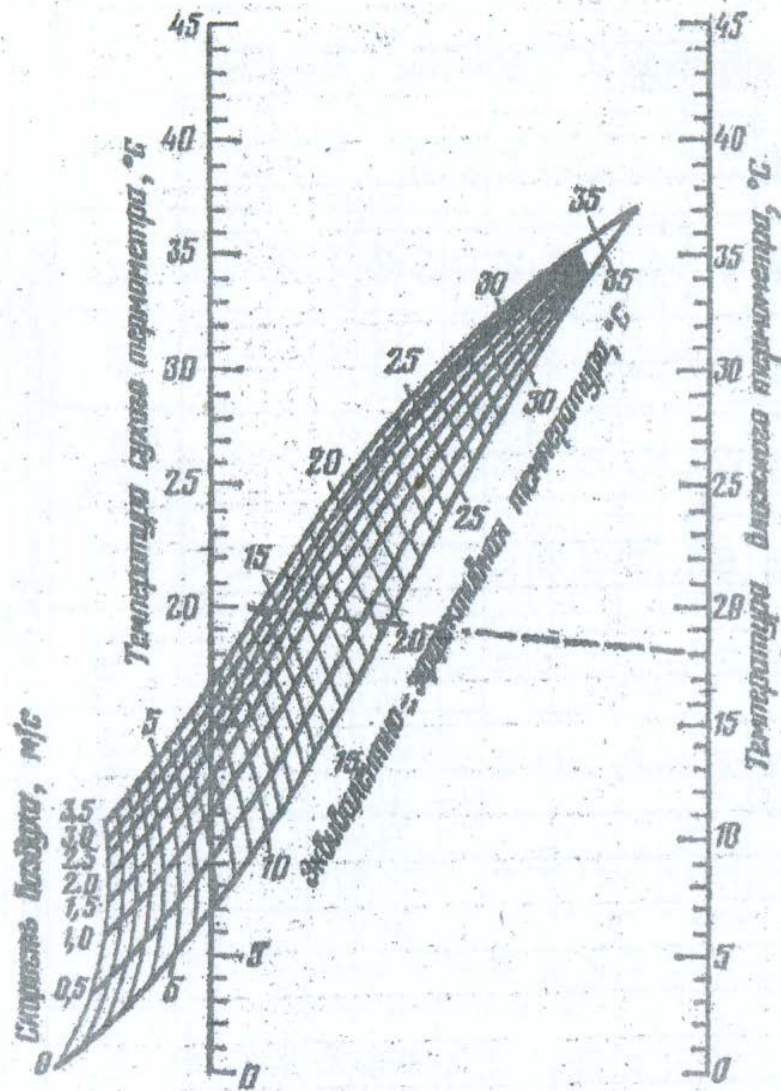
Температура, °С	Упругость, мм рт.ст.
10	9,14
11	9,77
12	10,43
13	11,14
14	11,88
15	12,67
16	13,51
17	14,40
18	14,93
19	16,32
20	17,36
21	18,47
22	19,63
23	20,86
24	22,05
25	23,52
26	24,96
27	26,47
28	28,07
29	29,74
30	31,51
31	33,37
32	35,32
33	37,37

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Номограмма эквивалентно-эффективных температур

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Номограмма эквивалентно-эффективных температур





## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### Оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С					Относительная влажность воздуха, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая				оптимальная	допустимая, не более*	оптимальная, не более	допустимая*
			верхняя граница		нижняя граница					
			на рабочих местах							
постоянных	непостоянных	постоянных	непостоянных							
Холодный	Легкая Ia	21...24	25	26	21	18	40..60	75	0,1	Не более 0,1
	Iб	21..23	24	25	20	17			0,2	0,2
	Средняя IIa	18.. 90	23	24	17	15			0,2	0,3
	IIб	17. .19	21	23	15	13			0,2	0,4
	Тяжелая III	16... 18	19	20	13	12			0,3	0,5
Теплый	Легкая Ia	25...25	28	30	22	20	40.60	55 (при 28° С) 60 (при 27° С) 65 (при 26° С) 70 (при 25° С) 70 (при 24° С и ниже)	0,1	0,1...0,2
	Iб	22.-24	28	30	21	19			0,2	0,1...0,3
	Средней тяжести IIa	21...23	27	29	18	17			0,3	0,2-0,4
	IIб	20...22	27	29	16	15			0,3	0,2.-0,5
	Тяжелая III	18...20	26	28	15	13			0,4	0,2.-0,6

\*На постоянных и непостоянных рабочих местах

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Нормы освещенности при искусственном освещении и коэффициент  
естественного освещения (для III пояса светового климата РФ)  
при естественном и совмещенном освещении (СНиП 23-05-95)

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение	Совмещенное освещение						
						Освещенность, лк		Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации			КЕО, е <sub>н</sub> , %							
7	8	9	10	11	12	13	14	15										
Наивысшей точности	менее 0,15	I	а	Малый	Темный	5000 4500	500 500	—	20 10	10 10								
		I	б	Малый	Средний	4000	400	1250	20	10	—	—	6,0					
				Средний	Темный	3500	400	1000	10	10								
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2500 2000	300	750 600	20 10	10 10								
			г	Средний Большой »	Светлый » Средний	1500 1250	200	400 300	20 10	10 10								

Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	a	Малый	Темный	4000 3500	400	—	20 10	10 10	—			4,2
			б	Малый Средний	Средний Темный	3000 2500	300	750 600	20 10	10 10				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний" Темный	2000 1500	200	500 400	20 10	10 10			■	
			г	Средний Большой	Светлый Средний	1000 750	200	300 200	20 10	10 10				
Высокой точности	От 0,30 До 0,50	III	a	Малый	Темный	2000 1500	200	500 400	40 20	15 15				
			б	Малый Средний	Средний Темный	1000 750	200	300 200	40 20	15 15				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	750 600	200	300 200	40 20	15 15				
			г	Средний Большой »	Светлый » Средний	400	200	200	40	15				

Средней точности	Св.0,15 до 1,0	IV	а	Малый	Темный	750	200	300	40	20				
			б	Малый Средний	Средний Темный	500	200	200	40	20'				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200	200	40	20				
			г	Средний Большой »	Светлый » Средний			200	40	20				
Малой точности	Св.1 до 5	V	а	Малый	Темный	400	200	300	40	20				
			б	Малый Средний	Средний Темный			200	40	20	3	1		1,8
			в	Малый Средний, Большой	Светлый Средний Темный			200	40	20				
			г	Средний Большой »	Светлый У» Средний			200	40	20				
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном				200	40	20	3	1	1,8	0,6

Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 5	VII		Тоже	----- -	—	200	400	20	3	1	1,8	0,6
Любое наблюдение за ходом производственного процесса: постоянно-периодическое при постоянном пребывании людей в помещении	Более 5	VIII	а б	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном			200 75	40 «	20	3 1	1 0,3	1,8 0,7 .	0,6 0,2

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Основные характеристики нормальных осветительных ламп накаливания по  
ГОСТ 2239-70 для номинальных напряжений 220 В

Тип ламп	Мощность, Вт	Световой поток, лм
B220-15	15	105
B220-25	25	210
B220-40	40	380
B220-60	60	730
B220-100	100	1120
B220-150	150	2000
B220-200	200	2800
B220-300	300	4500

### ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. Исследование безопасности в сетях трехфазного тока напряжением до 1000 в.....	4
Лабораторная работа № 2. Исследование методов контроля изоляции.....	9
Лабораторная работа № 3. Исследование электрического поля при замыкании на землю. Напряжение прикосновения и шага.....	17
Лабораторная работа № 4. Определение параметров микроклимата в производственном помещении.....	24
Лабораторная работа № 5. Исследование инерционности человека-оператора.....	33
Лабораторная работа № 6. Исследование освещенности рабочих мест.....	44
Заключение.....	52
Библиографический список.....	52
Приложение 1. Таблица для вычисления относительной влажности по аспирационному психрометру.....	53
Приложение 2. Упругость водяных паров в мм ртутного столба при разных температурах.....	54
Приложение 3. Номограмма эквивалентно-эффективных температур.....	55
Приложение 4. Оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственных помещений.....	56
Приложение 5. Нормы освещенности при искусственном освещении и коэффициент естественного освещения (для III пояса светового климата РФ) при естественном и совмещенном освещении (СНиП 23-05-95).....	57
Приложение 6. Основные характеристики нормальных осветительных ламп накаливания по ГОСТ 2239-70 для номинальных напряжений 220 В.....	61

**Учебное издание**

**Мозговой Николай Васильевич**  
**Асташкин Валентин Петрович**  
**Милушев Эдуард Ханифович**  
**Звягина Лилия Николаевна**

## **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Лабораторный практикум

Редактор Кусаинова Е. А.

Подписано в печать 26.10.2020.  
Формат 60x84 1/16. Бумага для множительных аппаратов.  
Усл. печ. л. 3,6. Тираж 350 экз. Заказ № 109.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394026 Воронеж, Московский просп.,14

Участок оперативной полиграфии издательства ВГТУ  
394026 Воронеж, Московский просп.,14