

Министерство образования и науки Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Методические указания  
по выполнению лабораторных работ

Часть I

Учебное пособие



Санкт-Петербург  
2004

УДК 614. 8 084

Колосов Ю.В., Барановский В.В., Марковкина Н.Н. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания по выполнению лабораторных работ. Учебное пособие. СПб, СПбГУИТМО, 2004, - 67 с.

В учебном пособии изложены вопросы производственной санитарии и техники безопасности, приводятся необходимые теоретические сведения, описание установок и приборов, методика проведения работы и оформления полученных результатов.

Подготовлено на кафедре лазерных технологий и экологического приборостроения.

Рекомендовано Учебно-методической комиссией инженерно-физического факультета в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений всех специальностей.

© Ю.В. Колосов, В.В. Барановский, Н.Н. Марковкина  
2004

© Санкт-Петербургский государственный университет  
информационных технологий, механики и оптики  
2004

## Содержание

1. Лабораторная работа № 1. Исследование эффективности действия общеобменной механической вентиляции.....	4
2. Лабораторная работа № 2. Исследование интенсивности теплового излучения и эффективности применения защитных средств.....	9
3. Лабораторная работа № 3. Исследование эффективности действия защитного заземления.....	15
4. Лабораторная работа № 4. Исследование эффективности действия зануления.....	24
5. Лабораторная работа № 5. Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В.....	30
6. Лабораторная работа № 6. Оценка эффективности и качества производственного освещения.....	40
7. Лабораторная работа № 7. Защита от сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения.....	57
Литература.....	67

Лабораторная работа №1  
**Исследование эффективности действия общеобменной  
механической вентиляции**

Цель работы – исследовать процессы теплообмена при наличии в помещении источника тепловыделений и эффективность работы вентиляционной установки, предназначенной для удаления избытков тепла.

**Содержание работы**

1. Рассчитать и провести исследование изменения температуры воздуха при наличии источника тепловыделений в помещении, оборудованном системой общеобменной механической вентиляции.
2. Рассчитать необходимый воздухообмен для удаления из помещения избытков тепла вентиляционной установкой.
3. Оценить эффективность действия вентиляционной установки.

**Краткие теоретические сведения**

В соответствии с Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий все производственные помещения должны быть вентилируемыми.

*Вентиляция* – организованный воздухообмен, обеспечивающий удаление из помещений загрязненного, влажного, перегретого воздуха и подачу в него свежего наружного воздуха.

Задачей вентиляции является обеспечение в рабочей зоне помещений требуемой чистоты воздуха и допустимых метеорологических условий.

*Рабочая зона* – пространство, ограниченное по высоте 2 м над уровнем пола или площадки, где находятся места постоянного или временного пребывания работающих.

По способу перемещения воздуха вентиляция может быть естественной и механической. Возможно сочетание естественной и механической вентиляции – смешанная вентиляция.

При *естественной вентиляции* воздухообмен происходит в результате действия гравитационного давления или давления ветра; при *механической* – перемещение воздуха осуществляется вентилятором, создающим избыточное давление (разрежение) по сравнению с атмосферным.

В зависимости от назначения вентиляция может быть *приточной* – для подачи в помещение свежего воздуха, *вытяжной* – для удаления из помещения воздуха, не соответствующего санитарно-гигиеническим требованиям и *приточно - вытяжной* – для того и другого одновременно.

По месту действия вентиляция бывает общеобменной и местной.

Действие *общеобменной вентиляции* (приточной, вытяжной, приточно-вытяжной) основано на разбавлении загрязненного, перегретого, влажного воздуха помещения до допустимых гигиенических норм во всем объеме по-

мещения. Эту систему вентиляции, как правило, применяют при равномерном расположении источников выделения теплоты, влаги, вредных веществ по площади производственного помещения.

*Местная вытяжная вентиляция* обеспечивает удаление перегретого или загрязненного воздуха непосредственно от мест его образования.

В лабораторной работе исследуется эффективность действия общеобменной механической вентиляции при наличии в помещении источника тепловыделений. В связи с этим требуется решение двух задач.

**Задача 1.** Рассматривается теплообмен в помещении при наличии источника тепловыделений и отсутствии в помещении вентиляции.

Исследуем изменение температуры воздуха в помещении  $T(t)$  в зависимости от продолжительности работы источника тепловыделений.

Учитывая некоторые приближения, баланс теплоты в помещении можно записать следующим образом:

$$Q_{\text{пост}} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{ст}}, \quad (1.1)$$

где  $Q_{\text{пост}}$  – теплота, поступающая в помещение от источника тепловыделений, Дж;

$Q_{\text{в}}$  – теплота, идущая на нагрев воздуха в помещении, Дж;

$Q_{\text{ст}}$  – теплота, уходящая через стены помещения, Дж.

Известно, что

$$Q_{\text{пост}} = P t, \quad (1.2)$$

где  $P$  – мощность источника тепловыделений, Вт;

$t$  – текущее время, с.

$$Q_{\text{в}} = c V_{\text{п}} (T - T_{\text{нач}}) \rho, \quad (1.3)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость воздуха при нормальном давлении, равная 1 кДж/(кг К);

$V_{\text{п}}$  – объем помещения, м<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$T$  – текущая температура воздуха в помещении, °С;

$T_{\text{нач}}$  – начальная температура воздуха в помещении, °С;

$$Q_{\text{ст}} = \lambda S_{\text{ст}} t (T - T_{\text{нач}}) / d, \quad (1.4)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности стен, Вт/(м °С);

$S_{\text{ст}}$  – площадь поверхности стен, м<sup>2</sup>;

$d$  – толщина стен, м.

Подставив выражения (1.2) – (1.4) в уравнение (1.1), получим следующее решение:

$$T = A - B / (t + C), \quad (1.5)$$

где  $A = T_{\text{нач}} + P d / (\lambda S_{\text{ст}})$ ;

$B = c \rho V_{\text{п}} P d^2 / (\lambda^2 S_{\text{ст}}^2)$ ;

$C = c \rho V_{\text{п}} d / (\lambda S_{\text{ст}})$ .

З а д а ч а 2. Рассматривается теплообмен в помещении, оборудованном общеобменной вентиляцией, при наличии в нём источника тепловыделений.

Определим необходимое количество приточного воздуха для удаления из помещения избытков теплоты, вызывающих значительный нагрев воздуха в этом помещении.

Организуемый за счет действия вентиляции воздухообмен является процессом конвекции, в ходе которого удаляемый из помещения перегретый воздух восполняется притоком более холодного наружного воздуха. В результате температура воздуха в помещении снижается до значений, соответствующих допустимым гигиеническим нормам.

Рассмотрим уравнение теплообмена в помещении, в котором для вентиляции используется по одному приточному и вытяжному отверстию (рис.1). При некоторых упрощениях оно примет следующий вид:

$$T_{уд} = T_{пр} + a D, \quad (1.6)$$

где  $T_{уд}$  – температура удаляемого воздуха, °C;

$T_{пр}$  – температура приточного воздуха, °C;

$D$  – расстояние между приточным и вытяжным отверстиями, м;

$a = P/(V_{п} c_p v)$ ,

где  $v$  – скорость движения воздуха в помещении, м/с.

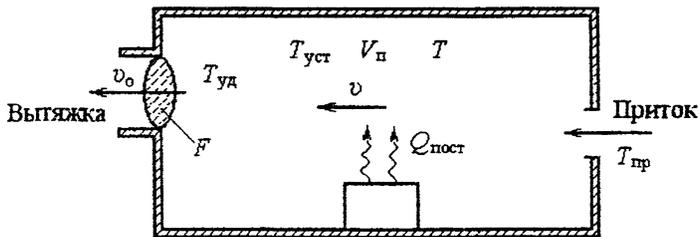


Рис .1. Схема помещения, оборудованного вентиляцией

Исследуем уравнение (1.6). В процессе вентиляции за время  $dt$  через приточное отверстие в помещение поступает и одновременно через вытяжное отверстие удаляется объем воздуха

$$dV = S v dt, \quad (1.7)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения помещения, м<sup>2</sup>.

Количество приточного воздуха  $L$  (м<sup>3</sup>/ч) при использовании в помещении общеобменной вентиляции определяют по формуле

$$L = dV/dt. \quad (1.8)$$

С учетом того, что объем вентилируемого помещения  $V_{п} = S D$ , уравнение (1.6) можно представить в следующем виде:

$$T_{уд} - T_{пр} = \frac{P}{S c_p v} = \frac{P}{S c_p \left( \frac{dV}{dt} \cdot \frac{1}{S} \right)} = \frac{P}{c_p \frac{dV}{dt}},$$

откуда после преобразований получим формулу для расчета количества приточного воздуха  $L_Q$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ), необходимого для удаления из помещения избытков теплоты за счет действия общеобменной вытяжной вентиляции

$$L_Q = \frac{dV}{dt} = \frac{P}{c_p(T_{\text{уд}} - T_{\text{пр}})} \quad (1.9)$$

Из практики применения механической вентиляции установлено, что для эффективной борьбы с избытками теплоты в помещении температура приточного воздуха  $T_{\text{пр}}$  должна быть не менее, чем на  $5 - 8$  °C ниже допустимой нормы температуры воздуха в рабочей зоне  $T_{\text{доп}}$ .

Величина  $T_{\text{доп}}$  выбирается по ГОСТ 12.1.005 – 88 “Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны”, выписка из которого приведена в таблице 1.

### Описание установки

Схема установки для проведения исследований показана на рис.2.

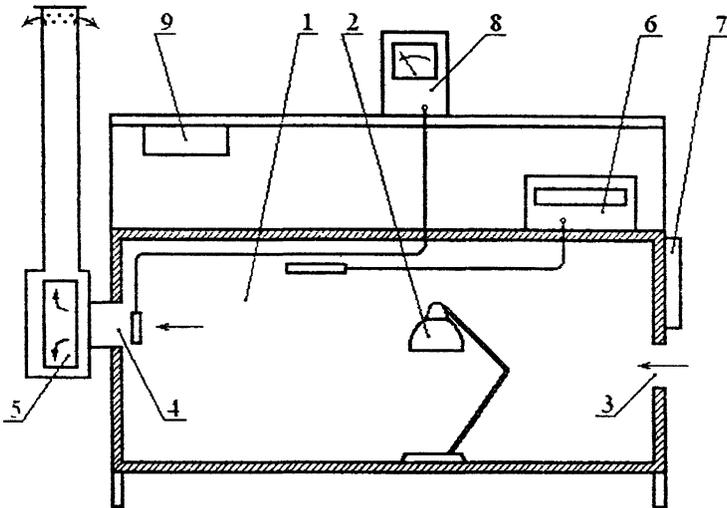


Рис.2. Схема установки для исследования эффективности работы общеобменной механической вентиляции

Внутри лабораторного стола находится камера 1, имитирующая производственное помещение, и источник тепловыделений 2 – светильник с лампой накаливания. Экспериментальная вентиляционная установка состоит из следующих элементов: вентилятора 5; приточного отверстия 3, через которое в камеру поступает воздух; вытяжного отверстия 4, через которое воздух удаляется из камеры. Температура воздуха в камере контролируется термометром 6, температура приточного воздуха – термометром 7. Ско-

рость движения воздуха в плоскости вытяжного отверстия измеряется термоанемометром 8. Включение электропитания установки, источника тепловыделений и вентилятора производится с пульта 9.

### Порядок выполнения работы

1. Включить электропитание установки тумблером “Сеть” на пульте 9.
2. Измерить температуру воздуха в камере  $T_{нач}$  термометром 6 и температуру приточного воздуха  $T_{пр}$  термометром 7.
3. Определить значения допустимой температуры воздуха  $T_{доп}$  в рабочей зоне при выполнении работы средней тяжести – Па в период года, соответствующий метеоусловиям проведения эксперимента (см. табл. 1).
4. Включить источник тепловыделений тумблером “Нагреватель” на пульте 9.
5. Измерить несколько раз с периодом 60 с температуру воздуха в камере  $T(t)$  термометром 6.
6. При нагреве воздуха в камере до температуры на 1 – 2 °С выше верхней границы  $T_{доп}$  включить вентиляцию с пульта 9. Наибольшее значение температуры перегретого воздуха обозначить  $T_{уд}$ .
7. Измерить с периодом 60 с температуру воздуха в камере при работающей вентиляции до установления баланса тепла, при котором температура воздуха в камере остается неизменной  $T_{уст}$ .
8. Определить скорость движения удаляемого воздуха  $v_0$  (м/с) в плоскости вытяжного отверстия с помощью термоанемометра 8.
9. Выключить источник тепловыделений, вентиляцию и электропитание.
10. По результатам измерений построить графики изменения температуры воздуха в камере при включенной и выключенной вентиляции.
11. Рассчитать температуру воздуха  $T$  в камере при выключенной вентиляции по формуле (1.5) в интервале времени проведения эксперимента.

Данные для расчета приведены в бланке отчета.

12. Рассчитать, используя результаты эксперимента, температуру  $T$  переходного процесса при действии механической вентиляции по формуле

$$T = T_{уст} + (T_{уд} - T_{уст}) e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (1.10)$$

где  $\tau = D / v$  – постоянная времени;

$D$  – длина камеры, равная 1 м;

$v$  – скорость движения воздуха в камере, м/с.

Скорость движения воздуха  $v$  рассчитывается по формуле

$$v = v_0 F/S, \quad (1.11)$$

где  $v_0$  – скорость движения воздуха в плоскости вытяжного отверстия, м/с;

$F$  – площадь вытяжного отверстия, мм<sup>2</sup>, диаметр которого – 100 мм;

$S$  – площадь поперечного сечения камеры – 0,36 м<sup>2</sup>.

13. Рассчитать по формуле (1.8) количество приточного воздуха  $L$ , поступающего в камеру в ходе эксперимента.

14. Рассчитать по формуле (1.9) необходимое количество приточного воздуха  $L_p$  для удаления из камеры избытков теплоты.

15. Сравнить результаты расчетов количества приточного воздуха (п.п.13, 14) и сделать вывод об эффективности работы вентиляции.

Таблица 1

Допустимые нормы температуры воздуха в рабочей зоне производственных помещений на постоянных рабочих местах (выписка из ГОСТ 12.1.005 – 88)

Период года	Категория работ	Температура, °С
Холодный	Легкая – Ia	21 – 25
	Легкая – Ib	20 – 24
	Средней тяжести – IIa	17 – 23
	Средней тяжести – IIб	15 – 21
	Тяжелая – III	13 – 19
Теплый	Легкая – Ia	22 – 28
	Легкая – Ib	21 – 28
	Средней тяжести – IIa	18 – 27
	Средней тяжести – IIб	16 – 27
	Тяжелая III	15 – 26

Примечания

1. Период года определяется по среднесуточной температуре наружного воздуха.
2. Теплый период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха +10 °С и выше, холодный период года – ниже +10 °С.

## Лабораторная работа № 2

### Исследование интенсивности тепловых излучений и эффективности применения защитных средств

Цель работы – научиться измерять интенсивность тепловых излучений и оценивать эффективность действия защитных экранов и воздушной завесы.

#### Содержание работы

1. Исследовать интенсивность теплового излучения в зависимости от расстояния до источника излучения.
2. Определить эффективность защиты от теплового излучения с помощью экранов и воздушной завесы.

#### Краткие теоретические сведения

Между организмом человека и окружающей средой происходит непрерывный процесс теплообмена. Образование тепла в организме происходит

за счет окислительных реакций и сокращения мышц, а также поглощения тепла получаемого извне. В производственных условиях подавляющее большинство технологических процессов сопровождается выделением тепла, причем тепло выделяется как производственным оборудованием, так и материалами. Источниками выделения тепла могут быть: плавильные и нагревательные печи; расплавленный или нагретый металл; электроустановки; светильники с лампами накаливания и др.

Нагретые тела отдают свое тепло менее нагретым тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением. Потеря тепла организмом человека осуществляется также и при испарении влаги (пота) с поверхности кожи. Исследования и расчеты показывают, что около 60% всего теряемого тепла распространяется в окружающей среде путем излучения, называемого *тепловым* или *лучистым*.

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

Лучистая энергия, проходя почти без потерь пространство, отделяющее одно тело от другого, поглощается облучаемыми предметами и снова превращается в тепловую в поверхностных слоях облучаемого тела.

Воздух прозрачен (диатермичен) для теплового излучения, поэтому при прохождении лучистого тепла через воздух температура его не повышается.

Интенсивность теплового излучения можно рассчитать по формуле:

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

где  $Q$  – интенсивность теплового излучения, Вт/м<sup>2</sup>;

$F$  – площадь излучающей поверхности, м<sup>2</sup>;

$T^\circ$  – температура излучающей поверхности, К;

$l$  – расстояние от излучающей поверхности, м.

Лучистая энергия, попадая на человека, воздействует, прежде всего, на незащищенные части тела (лицо, руки, шею, грудь), вызывая их нагрев.

Установлено, что инфракрасное излучение (ИК – излучение), помимо усиления теплового воздействия окружающей среды на организм человека, обладает специфическим влиянием. С гигиенической точки зрения важной особенностью ИК – излучения является способность этих лучей проникать в живую ткань на разную глубину.

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

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

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

В производственных условиях при длительном облучении глаз у работающего развивается профессиональное заболевание – катаракта (помутнение хрусталика).

Действие теплового излучения на человека оценивается через величину, названную *интенсивностью теплового облучения*, Вт/м<sup>2</sup>.

Тепловой эффект воздействия облучения зависит от множества факторов: температуры источника излучения, интенсивности теплового излучения на рабочем месте, спектра излучения, площади излучающей поверхности, расстояния между излучающей поверхностью и телом человека, размера облучаемого участка тела, длительности облучения, одежды и т. п.

Очевидно, что чем больше величина облучаемой поверхности, чем продолжительней период облучения и чем ближе облучаемый участок организма к важным жизненным органам, тем тяжелее эффект воздействия.

Тепловое излучение, кроме непосредственного воздействия на работающих, нагревает пол, стены, оборудование, и в результате температура воздуха внутри помещения повышается, что также ухудшает условия труда.

При длительном пребывании человека в зоне теплового облучения, как и при систематическом воздействии высокой температуры воздуха, происходит нарушение теплового баланса в организме человека. В таких условиях человек получает тепла из окружающей среды в большем количестве, чем отдает сам, и, как следствие, температура его тела повышается.

В случае резкого нарушения теплового баланса в организме затрудняется работа механизмов терморегуляции, обеспечивающих необходимое постоянство температуры тела человека в допустимых физиологических границах 36,4 – 37,5 °С. Одновременно усиливается деятельность сердечно-сосудистой и дыхательной систем, увеличивается потоотделение, происходят потери нужных организму солей и витаминов.

Нарушение водно-солевого баланса вызывает так называемую судорожную болезнь, характеризующуюся появлением резких судорог, преимуще-

ственно в конечностях. Нарушение теплового баланса вызывает перегрев организма и, как следствие, тепловую гипертермию или тепловой удар.

При систематических перегревах отмечается повышенная восприимчивость человека к простудным заболеваниям, наблюдается снижение внимания, наступает чувство расслабленности, резко повышается утомляемость, снижается производительность труда. Таким образом, продолжительное интенсивное тепловое облучение работающих нарушает нормальную жизнедеятельность, вызывая серьезные осложнения. Поэтому меры борьбы с лучистым теплом имеют важнейшее значение для улучшения условий труда.

Допустимая интенсивность теплового облучения работающих в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями (ГОСТ 12.1.005 – 88) устанавливается в зависимости от площади облучаемой поверхности тела.

Так интенсивность теплового облучения от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляции на постоянных и непостоянных рабочих местах не должна превышать:

- 35 Вт/м<sup>2</sup> при облучении 50% поверхности тела и более;
- 70 Вт/м<sup>2</sup> – при величине облучаемой поверхности от 25 до 50%;
- 100 Вт/м<sup>2</sup> – при облучении не более 25% поверхности тела.

Интенсивность теплового облучения работающих у открытых источников (нагретый или расплавленный металл, стекло, «открытое» пламя и др.) не должна превышать 140 Вт/м<sup>2</sup>, при этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

В целях профилактики тепловых травм температура наружных поверхностей технологического оборудования или ограждающих его устройств не должна превышать 45 °С.

В производственных условиях не всегда возможно выполнить нормативные требования. В этом случае должна быть обеспечена защита работающих от возможного перегревания: дистанционное управление ходом технологического процесса; использование защитных экранов; водяных и воздушных завес; воздушное душирование; применение спецодежды и средств индивидуальной защиты; оборудование комнат или кабин для кратковременного отдыха с подачей в них кондиционированного воздуха и др.

Одним из самых распространенных способов борьбы с тепловым излучением является экранирование нагретых поверхностей.

Различают экраны трех типов: непрозрачные, прозрачные и полупрозрачные.

В *непрозрачных экранах* поглощаемая энергия электромагнитных колебаний, взаимодействуя с веществом экрана, превращается в тепловую энергию. При этом экран нагревается и, как всякое нагретое тело, становится источником теплового излучения. При этом излучение поверхностью экрана,

противолежащей экранируемому источнику, условно рассматривается как пропущенное излучение источника

К непрозрачным экранам относятся, например, металлические (жесть, алюминий), альфоловые (алюминиевая фольга), футерованные (пенобетон, пеностекло, керамзит, пемза), асбестовые, брезентовые и др.

В *прозрачных экранах* излучение, взаимодействуя с веществом экрана, минует стадию превращения в тепловую энергию и распространяется внутри экрана по законам геометрической оптики, что и обеспечивает видимость через экран. К прозрачным экранам относятся выполненные из различных стекол: силикатного; кварцевого, органического, металлизированного, а так же пленочные водяные завесы (свободные и стекающие по стеклу) и водо – дисперсные завесы.

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

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

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

*Теплопоглощающие экраны* изготавливают из материалов с высоким термическим сопротивлением (малым коэффициентом теплопроводности). В качестве теплопоглощающих материалов применяют огнеупорный и теплоизоляционный кирпич, асбест, брезент, шлаковату.

В качестве *теплоотводящих* экранов наиболее широко используются водяные завесы, свободные падающие в виде пленки, орошающие другую экранирующую поверхность (например, металлическую), либо заключенные в специальный кожух из стекла (акварильные экраны) или металла змеевики с принудительно циркулирующей в них холодной водой.

Оценить эффективность защиты от теплового излучения с помощью экранов  $n$  (%) можно по формуле

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

где  $Q$  – интенсивность теплового излучения без применения защиты, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $Q_3$  – интенсивность теплового излучения с применением защиты, Вт/м<sup>2</sup>.

*Воздушные души* применяют в горячих цехах на рабочих местах, находящихся под воздействием теплового излучения большой интенсивности –

350 Вт/м<sup>2</sup> и более. Поток воздуха, направленный непосредственно на рабочего, позволяет увеличить отвод тепла от его тела в окружающую среду.

Выбор скорости движения воздуха зависит от тяжести выполняемой работы, а так же от интенсивности облучения, но скорость потока воздуха не должна, как правило, превышать 5 м/с. Эффективность воздушных душей возрастает при охлаждении направляемого на рабочее место воздуха или же при подмешивании к нему мелко распыленной воды.

### Описание установки

Общий вид установки для проведения исследований показан на рис. 3.

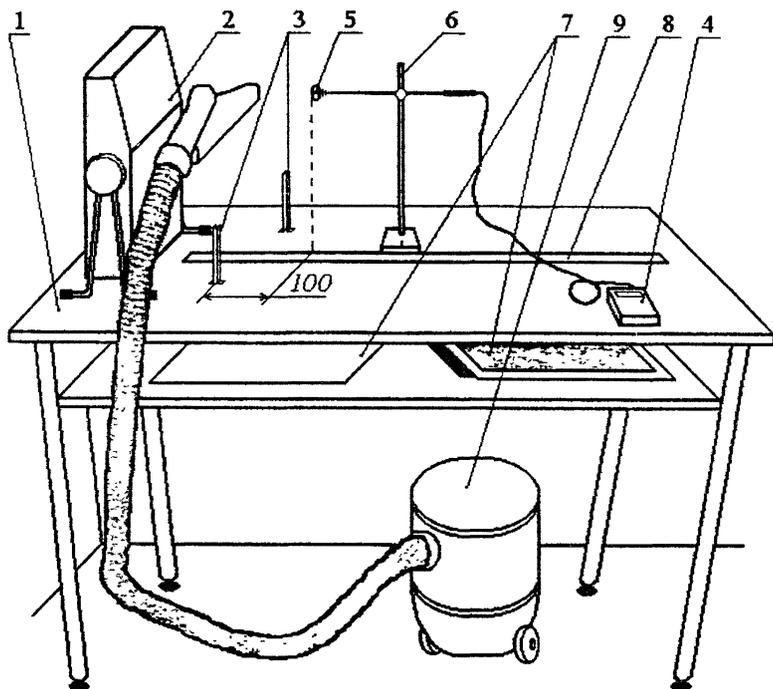


Рис. 3. Установка для исследования интенсивности теплового излучения и оценки эффективности защитных средств

На столе 1 размещаются: источник теплового излучения 2 – электрокамин; стойки 3 для установки сменных защитных экранов 7; индикаторный блок 4 измерителя плотности теплового потока ИПП-2М; штатив 6, на котором находится датчик теплового потока 5 измерителя; линейка 8 для измерения расстояния от источника излучения до датчика измерителя. Пылесос 9 используется для имитации вытяжной вентиляции, воздушного душа или воздушной завесы.

### **Требования безопасности при выполнении лабораторной работы**

1. Не включать электрокамин на полную мощность 1 кВт (включены оба выключателя).
2. Запрещается прикасаться к нагревательному элементу электрокамина.
3. После выполнения лабораторной работы выключить электрокамин.

### **Порядок выполнения работы**

1. Включить источник теплового излучения – электрокамин (только верхнюю секцию) и измеритель плотности тепловых потоков ИПП-2М.
2. Перемещая штатив, установить приемную площадку датчика теплового потока таким образом, чтобы она была смещена относительно линии расположения стоек для установки защитных экранов на 100 мм (см. рис. 3).
3. Измерить интенсивность теплового излучения на заданных расстояниях от источника излучения (см. отчет). Интенсивность теплового излучения в каждой точке определять как среднее значение не менее 5 замеров. Данные измерений занести в таблицу.
4. Построить график зависимости среднего значения интенсивности теплового излучения от расстояния до источника излучения.
5. Устанавливая различные защитные экраны, определить интенсивность теплового излучения на заданных расстояниях.
6. Оценить эффективность применения экранов по формуле (2.2).
7. Построить для каждого из экранов график зависимости среднего значения интенсивности теплового излучения от расстояния.
8. Установить защитный экран из алюминия. Разместить над ним широкую насадку пылесоса. Включить пылесос в режим отбора воздуха, имитируя устройство вытяжной вентиляции, и спустя 2 – 3 минуты (после установки теплового режима экрана) измерить интенсивность теплового излучения на заданных расстояниях.
9. Выключить пылесос, перевести его в режим «воздуходувки» и снова включить. Направляя поток воздуха на поверхность защитного экрана (режим «душирования»), повторить измерения в соответствии с п.8. Сравнить результаты измерений п.п.8 и 9.
10. Выключить электрокамин и измеритель ИПП-2М.

### **Лабораторная работа № 3**

### **Исследование эффективности действия защитного заземления**

Цель работы – исследовать эффективность действия защитного заземления в электроустановках, питающихся от электрических сетей напряжением до 1000 В: трехфазной трехпроводной с изолированной нейтралью; трехфазной четырехпроводной с глухозаземленной нейтралью.

### Содержание работы

1. Оценить эффективность действия защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных сетей с изолированной нейтралью и питающихся от трехфазных четырехпроводных сетей с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

2. Оценить эффективность действия защитного заземления в сети с изолированной нейтралью при двойном замыкании на заземленные корпуса электроустановок.

3. Определить зависимость изменения напряжения прикосновения при различном расстоянии от места нахождения человека до заземлителя.

### Краткие теоретические сведения

*Защитное заземление* – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей (корпусов электроустановок), которые могут оказаться под напряжением (рис. 4).

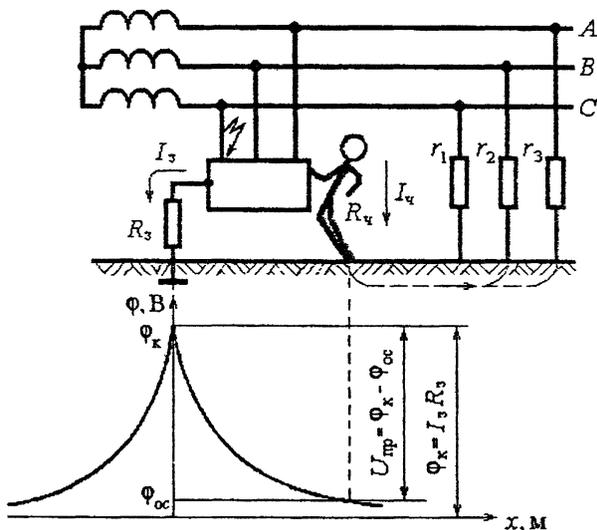


Рис. 4. Схема защитного заземления

Основная причина появления напряжения на металлических нетоковедущих частях электроустановок (например, корпусах) – повреждение электрической изоляции токоведущих частей установки, находящихся под напряжением, и замыкании их на корпус. Если корпус изолирован от земли, то прикосновение к нему будет так же опасно, как и к фазному проводу – человек может оказаться под напряжением прикосновения  $U_{np}$  практически равным фазному напряжению сети  $U_\phi$  (220 В).

*Напряжение прикосновения* – это напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек. В случае включения человека в электрическую цепь от величины напряжения прикосновения и электрического сопротивления тела человека зависит сила проходящего через тело тока, величину которого можно рассчитать по закону Ома:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{пр}}}{R_{\text{ч}}}, \quad (3.1)$$

где  $U_{\text{пр}}$  – напряжение прикосновения, В;  $R_{\text{ч}}$  – сопротивление тела человека, Ом.

*Принцип действия* защитного заземления заключается в снижении до безопасных значений напряжения прикосновения  $U_{\text{пр}}$ .

При замыкании фазы сети на корпус заземленной электроустановки напряжение прикосновения, под которым окажется прикоснувшийся к корпусу человек, (см. рис. 4) будет

$$U_{\text{пр}} = \varphi_{\text{к}} - \varphi_{\text{ос}}, \quad (3.2)$$

где  $\varphi_{\text{к}}$  – потенциал на корпусе электроустановки, В;  $\varphi_{\text{ос}}$  – потенциал основания (площадки) в том месте, где стоит человек, В.

Безопасность в случае применения защитного заземления обеспечивается как за счет резкого снижения потенциала заземленного корпуса установки  $\varphi_{\text{к}} = I_3 R_3$  при стекании тока  $I_3$  в землю через малое сопротивление заземления  $R_3$  (несколько Ом), так и за счет повышения в зоне растекания тока потенциала поверхности в месте, где стоит человек,  $\varphi_{\text{ос}}$  до потенциала корпуса. В результате человек, прикоснувшись к неисправной заземленной установке, окажется под напряжением  $U_{\text{пр}}$  значительно меньше фазного напряжения сети.

Область применения защитного заземления – трехфазные сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и выше 1000 В с любым режимом нейтрали.

Защитное заземление электроустановок, согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ), следует выполнять: при напряжении 380 В и выше переменного и 440 В и выше постоянного тока во всех случаях; в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных при напряжении 42 В и выше переменного и 110 В и выше постоянного тока; во взрывоопасных помещениях независимо от величины напряжения.

Для заземления используют заземляющее устройство (рис. 5).

*Заземляющим устройством* называется совокупность *заземлителя* – металлических проводников 7, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и *заземляющих проводников* 3, соединяющих заземляемые части электроустановки 1 с заземлителем.

Так как по условиям безопасности необходимо снижать сопротивление заземления  $R_3$  (Ом), то в практике используется, как правило, *групповой за-*

землитель, состоящий из нескольких конструктивно объединенных одиночных заземлителей, которые могут располагаться в один ряд или по контуру.

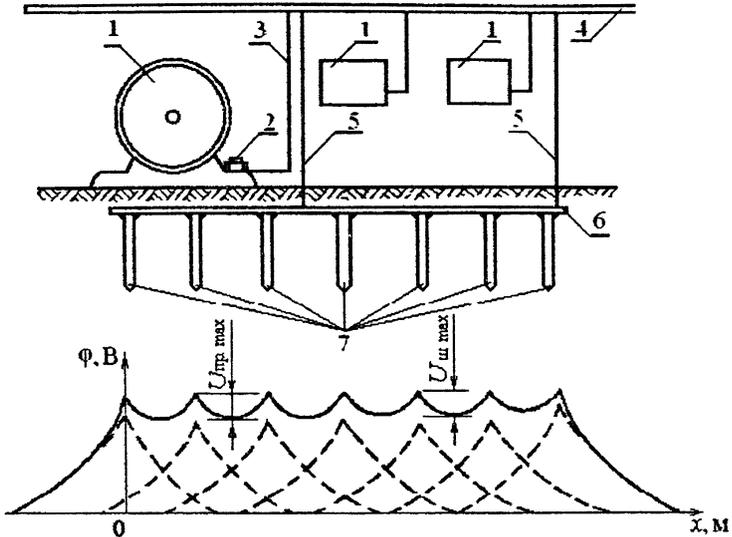


Рис. 5. Заземляющее устройство и кривая распределения потенциала на поверхности защищаемой площадки:  
1 – электроустановка; 2 – заземляющий болт; 3 – заземляющий проводник; 4 – магистраль заземления; 5 – соединительный проводник; 6 – полоса; 7 – заземлители (электроды)

В зависимости от места расположения заземлителя относительно заземляемого оборудования различают два типа заземляющих устройств: выносное и контурное.

Заземлители *выносного заземляющего устройства* располагают сосредоточенно за пределами площадки, на которой установлено заземляемое оборудование, т. е. вне здания. Поскольку заземленное оборудование располагается за пределами зоны растекания тока – на расстоянии более 20 м от выносного заземлителя, то в случае замыкания на корпус человек, прикоснувшись к оборудованию, попадает под максимальное напряжение прикосновения  $U_{пр} = \varphi_k = I_s R_s$ . Поэтому выносное заземляющее устройство применяется только при малых токах замыкания на землю  $I_s$ , когда напряжение на корпусе (напряжение прикосновения) не превышает допустимой величины.

В *контурном заземляющем устройстве* заземлители 7 (см. рис. 5), соединенные между собой стальными горизонтальными полосами 6 сваркой, размещают по периметру (контуру) площадки, на которой находится зазем-

ляемое оборудование, или заземлители распределяют по всей защищаемой площадке по возможности равномерно.

При использовании контурного заземляющего устройства в случае замыкания на корпус электроустановки происходит стекание тока в землю со всех заземлителей одновременно, и на поверхности площадки появляется потенциал  $\phi$  (В). В результате наблюдается частичное выравнивание потенциалов корпуса оборудования и поверхности площадки, где находятся работающие, и одновременно достаточно равномерное распределение потенциалов на поверхности (см. рис.5).

График распределения потенциалов на поверхности защищаемой площадки получили, просуммировав потенциалы от каждого заземлителя в отдельности.

При размещении заземлителей на расстоянии не более 8 – 10 м друг от друга максимальные значения напряжения прикосновения в этом случае не превышают допустимых значений (табл.2).

Таблица 2

Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок переменного тока частотой 50 Гц

Нормируемая величина	Предельно допустимые уровни (не более)											Св. 1,0
	при продолжительности воздействия тока $t$ , с											
	0,01–0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
$U$ , В	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	36
$I$ , А												6

Заземлители применяют естественные или искусственные.

В качестве *естественных заземлителей* можно использовать: различные металлоконструкции зданий, имеющие соединение с землей; арматуру железобетонных конструкций; проложенные в земле свинцовые оболочки кабелей, водопроводные и другие металлические трубы, за исключением трубопроводов для горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов, а также трубопроводов, покрытых изоляцией для защиты от коррозии.

Для *искусственных заземлителей* применяют обычно вертикальные и горизонтальные электроды. В качестве вертикальных электродов используют заложенные в землю стальные трубы, стальные уголки, металлические стержни, стальные прутки и т. п. Для соединения вертикальных электродов используют полосовую сталь или круглые стальные прутки.

Согласно требованиям ПУЭ сопротивление защитного заземления в любое время года не должно превышать: 4 Ом – в установках напряжением до 1000 В; если мощность источника тока 100 кВА и менее, то сопротивление заземляющего устройства допускается 10 Ом.

Контроль сопротивления заземляющего устройства проводят перед вводом заземления в эксплуатацию и периодически, но не реже одного раза в год при наибольшем промерзании и подсыхании грунта.

### Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд представляет собой модель электрической сети с источником питания, электропотребителями, средствами защиты, измерительными приборами. Лицевая панель стенда представлена на рис.б.

В стенде в качестве источника питания используется трехфазный трансформатор. Стенд включается выключателем  $S 2$  – положение I. При этом загораются индикаторы (желтого, зеленого и красного цветов), расположенные рядом с фазными проводами  $A, B, C$ .

Режим нейтрали сети изменяется переключателем  $S 1$ , причем правое положение ручки переключателя соответствует режиму заземленной нейтрали, а левое положение – режиму изолированной нейтрали. Нейтральная точка источника питания заземляется через сопротивление  $R_0 = 4$  Ом.

С помощью переключателя  $S 3$  подключается нулевой рабочий проводник ( $N$ -проводник). Переключатель  $S 4$  предназначен для подключения нулевого защитного проводника ( $PE$ -проводника).

Сопротивления фазных проводов сети  $A, B, C$  и  $N$ -провода относительно земли смоделированы сосредоточенными сопротивлениями  $R_a, R_b, R_c, R_n$ . В данном стенде моделируется только активная составляющая полного сопротивления фазных проводов относительно земли, причем рассматривается случай симметричной проводимости проводов (т. е.  $R_a = R_b = R_c = R_n$ ). Значения указанных сопротивлений изменяются переключателем  $S 18$ .

Электроустановки (электропотребители) на мнемосхеме показаны в виде их корпусов. Электроустановки «Корпус 1» и «Корпус 2» являются трехфазными и подключаются к сети через автоматические выключатели  $S 5$  и  $S 10$  соответственно. Положение рукоятки выключателей – I означает включение автоматов, при этом напряжение подается на электропотребители.

Электроустановка «Корпус 3» является однофазной, выполненной по классу 1 защиты от поражения электрическим током.

Лабораторный стенд позволяет моделировать два способа защиты человека в случае электрического замыкания фазного провода на токопроводящий корпус электроустановки: защитное заземление и зануление.

Подключение корпусов 1 и 2 к заземляющим устройствам с сопротивлениями  $R 31, R 32$  осуществляется с помощью переключателей  $S 9$  и  $S 15$  соответственно. Сопротивление защитного заземления «Корпуса 1»  $R 31$  является постоянным и равным 4 Ом. Сопротивление заземления «Корпуса 2»  $R 32$  – 4; 10 и 100 Ом устанавливается с помощью переключателя  $S 11$ .

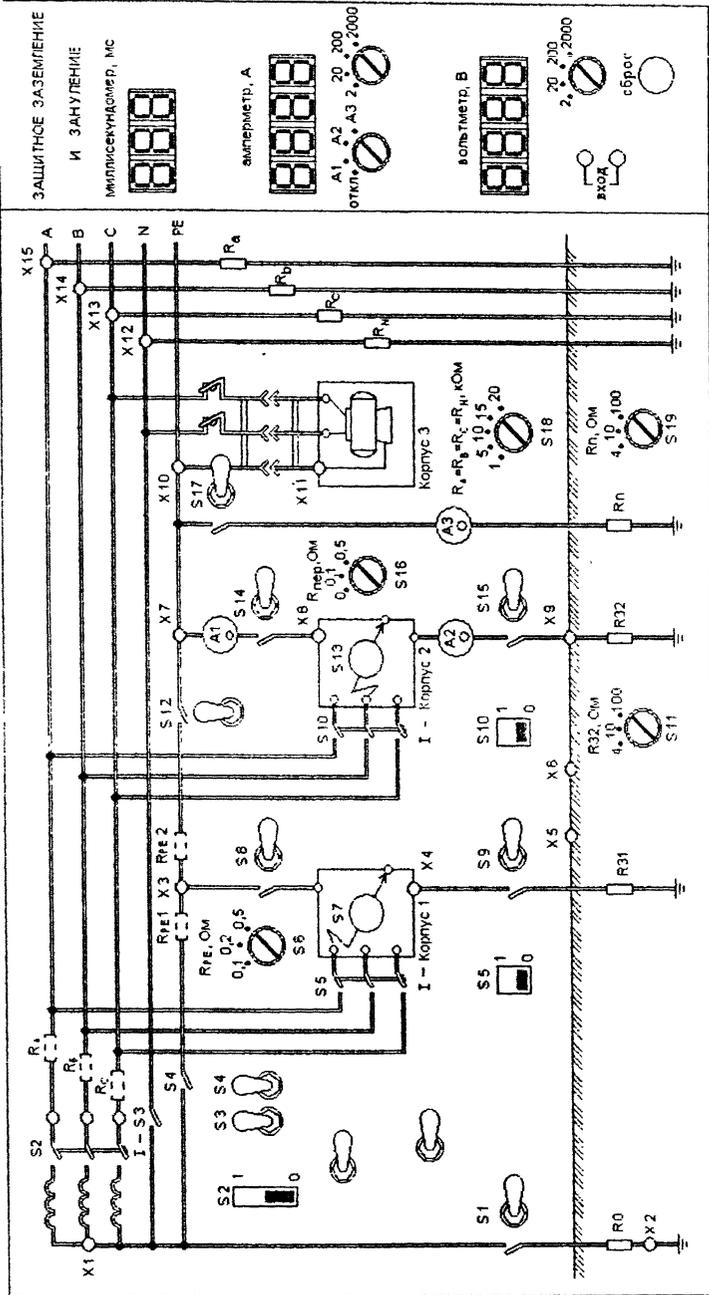


Рис. 6. Лицевая панель для исследования эффективности действия защитного заземления и зануления

Моделирование замыкания фазных проводов на корпуса 1 и 2 осуществляется кнопками  $S 7$  и  $S 13$  соответственно, причем на «Корпус 1» замыкается фазный провод  $A$ , на «Корпус 2» – фазный провод  $B$ .

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

Амперметр включается в цепь тока с помощью переключателя, находящегося под индикатором. При соответствующем подключении амперметра загорается лампочка, указывающая на место подключения прибора. Положение переключателя «ОТКЛ» означает отсутствие амперметра в цепях стенда. В положении А1 измеряется ток короткого замыкания; в положении А2 – ток, стекающий с заземлителя «Корпуса 2»; в положении А3 – ток замыкания на землю через повторное заземление РЕ-проводника.

Вольтметр включается с помощью гибких проводников с наконечниками в измерительные цепи через гнезда  $X 1, \dots, X 15$ , установленные в соответствующих точках схемы, с одной стороны и в гнезда «ВХОД» – с другой.

#### **ВНИМАНИЕ!**

1. При измерении напряжения переключатель амперметра должен находиться в положении «ОТКЛ».
2. Для устранения режима замыкания фазных проводов на корпуса 1 и 2 необходимо нажать на кнопку «СБРОС» и удерживать ее в таком состоянии не менее 20 с.

#### **Порядок выполнения работы**

**З а д а н и е № 1.** Исследовать эффективность действия защитного заземления в трехфазной сети с изолированной нейтралью.

1. Изолировать нейтраль источника питания – перевести переключатель  $S 1$  в левое положение.
2. Отключить  $N$  и РЕ - проводники – перевести переключатели  $S 3$  и  $S 4$  в нижнее положение.
3. Установить значение активных сопротивлений изоляции фазных проводов переключателем  $S 18$ , равное 5 кОм.
4. Убедиться, что:
  - переключатели  $S 8, S 14, S 17, S 9, S 15$  находятся в левом положении;
  - переключатель  $S 12$  – в положении «вниз»;
  - автоматические выключатели  $S 5$  и  $S 10$  – в положении 0;
  - переключатель амперметра в положении «ОТКЛ».
5. Включить стенд – перевести выключатель  $S 2$  в положение I, при этом загорятся лампы на фазных проводах.
6. Подключить электроустановку 2 («Корпус 2») к сети – перевести автоматический выключатель  $S 10$  в положение I.

7. Имитировать замыкание фазы  $B$  на «Корпус 2», нажав на кнопку  $S 13$ .
  8. Установить гибкие проводники в гнезда «ВХОД» и измерить вольтметром следующие напряжения  $U (B)$ :
    - напряжение «Корпуса 2» относительно земли  $U_{к2}$  (гнезда  $X 2$  и  $X 8$ );
    - напряжение фазных проводов относительно земли  $U_A, U_B, U_C$  (гнезда  $X 2$  и  $X 15$ ;  $X 2$  и  $X 14$ ;  $X 2$  и  $X 13$ ).
  9. Устранить замыкание фазы на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС» и удерживая ее в таком состоянии не менее 20 с.
  10. Выключить стенд – перевести выключатель  $S 2$  в положение 0.
  11. Выполнить защитное заземление. Для подключения корпуса 2 к заземляющему устройству перевести переключатель  $S 15$  в правое положение.
  12. Переключателем  $S 11$  установить значение сопротивление заземляющего устройства  $R 32 = 4 \text{ Ом}$ .
  13. Включить стенд – перевести выключатель  $S 2$  в положение I.
  14. Имитировать замыкание фазы на “Корпус 2”, нажав на кнопку  $S 13$ .
  15. Измерить вольтметром следующие напряжения  $U (B)$ :
    - напряжение «Корпуса 2» относительно земли  $U_{к2}$  (гнезда  $X 2$  и  $X 8$ );
    - напряжение фазных проводов относительно земли  $U_A, U_B, U_C$  (гнезда  $X 2$  и  $X 15$ ;  $X 2$  и  $X 14$ ;  $X 2$  и  $X 13$ ).
    - напряжения прикосновения  $U_{пр}$  при различных расстояниях до заземлителя (гнезда  $X 8$  и  $X 9$ ;  $X 8$  и  $X 6$ ;  $X 8$  и  $X 5$ ).
  16. Установить переключатель амперметра в положение  $A 2$  и произвести измерение тока замыкания  $I_3 (A)$  на землю.
- Примечания:
- а) при переходе с одного предела измерения амперметра на другой необходимо дождаться установившегося показания прибора;
  - б) при измерениях с помощью цифровых приборов наблюдается дрейф последней цифры, поэтому в таблицу измерений следует заносить среднее значение показания прибора.
17. Переключатель амперметра перевести в положение «ОТКЛ».
  18. Устранить замыкание фазы на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».
  19. Выключить стенд – перевести выключатель  $S 2$  в положение 0.

**З а д а н и е № 2.** Оценить эффективность действия защитного заземления в сети с изолированной нейтралью при двойном замыкании на заземленные корпуса электроустановок.

1. Выполнить защитное заземление корпуса 1 – установить переключатель  $S 9$  в правое положение.
2. Подключить электроустановку 1 («Корпус 1») к сети – перевести автоматический выключатель  $S 5$  в положение I.
3. Включить стенд – перевести выключатель  $S 2$  в положение I.
4. Одновременно нажатием на кнопки  $S 7$  и  $S 13$  произвести замыкания фаз  $A$  и  $B$  на корпуса установок 1 и 2 соответственно.

5. Измерить вольтметром следующие напряжения  $U (В)$ :
  - напряжение корпуса 1 относительно земли  $U_{к1}$  (гнезда  $X 2$  и  $X 4$ );
  - напряжение корпуса 2 относительно земли  $U_{к2}$  (гнезда  $X 2$  и  $X 8$ ).
6. Установить переключатель амперметра в положение А2 и измерить ток замыкания на землю  $I_3 (А)$ .
7. Переключатель амперметра перевести в положение «ОТКЛ».
8. Устранить замыкание фаз на корпуса 1 и 2, нажав на кнопку «СБРОС».
9. Выключить стенд – перевести выключатель  $S 2$  в положение 0.

**З а д а н и е № 3.** Оценить эффективность действия защитного заземления в сети с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

1. Отключить «Корпус 1» от сети – перевести автоматический выключатель  $S 5$  в положение 0.
2. Произвести заземление нейтрали источника питания – установить переключатель  $S 1$  в правое положение.
3. Подключить  $N$  и  $PE$ -проводники к нейтрали источника питания – переключатели  $S 3$  и  $S 4$  перевести в верхнее положение.
4. Включить стенд – перевести выключатель  $S 2$  в положение I.
5. Произвести замыкание фазы  $B$  на «Корпус 2», нажав на кнопку  $S 13$ .
6. Измерить вольтметром следующие напряжения:
  - напряжение корпуса 2 относительно земли  $U_к$  (гнезда  $X 2$  и  $X 8$ );
  - напряжение нейтрали источника питания относительно земли  $U_0$  (гнезда  $X 2$  и  $X 1$ ).
7. Установить переключатель амперметра в положение А2 и измерить ток замыкания на землю  $I_3$ .
8. Перевести переключатель амперметра в положение «ОТКЛ».
9. Устранить замыкание фазы на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».
10. Выключить стенд – перевести выключатель  $S 2$  в положение 0.

#### Лабораторная работа № 4

### Исследование эффективности действия зануления

Цель работы – исследовать эффективность действия зануления в трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

#### Содержание работы

1. Оценить эффективность действия зануления в сети без повторного заземления нулевого защитного проводника ( $PE$ -проводника).
2. Оценить эффективность действия зануления в сети с повторным заземлением  $PE$ -проводника.
3. Оценить эффективность использования повторного заземления  $PE$ -проводника при его обрыве и замыкании фазы на корпус за местом обрыва.

### Краткие теоретические сведения.

*Зануление* – это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением (рис. 7).

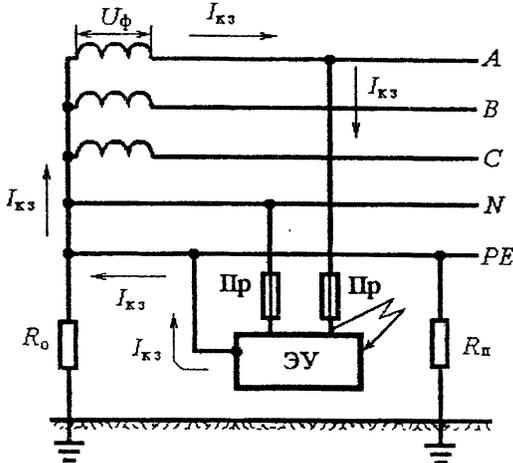


Рис. 7. Принципиальная схема зануления

*Нулевым защитным проводником* называется проводник PE, соединяющий зануляемые части (корпус электроустановки ЭУ и др.) с глухозаземленной нейтралью – нейтральной точкой источника питания (трехфазного трансформатора или генератора).

*Глухозаземленной нейтралью* называется нейтраль трехфазного генератора (трансформатора), присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление  $R_0$ .

Нулевой защитный проводник следует отличать от *нулевого провода N*, который также соединен с глухозаземленной нейтралью, но предназначен для питания током электрооборудования.

Зануление применяется для устранения опасности поражения током при замыкании на корпус электроустановки, работающей от трехфазной четырехпроводной сети напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью.

*Замыкание на корпус* – случайное электрическое соединение токоведущей части (например, фазы) с металлическими нетоковедущими частями электроустановки.

Основная причина замыкания на корпус – повреждение электрической изоляции токоведущих частей, находящихся под напряжением.

*Принцип действия* зануления – превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание между фазой и нулевым защитным проводником, в результате чего срабатывает максимальная токовая защита – плав-

кие предохранители или автоматические выключатели, и обеспечивается автоматическое отключение поврежденной установки от питающей сети.

Назначение нулевого защитного проводника – создание цепи с малым сопротивлением, чтобы ток короткого замыкания был достаточно большим для быстрого срабатывания защиты. Согласно требованиям ПУЭ этот ток должен быть не менее чем в 3 раза больше номинального тока плавкой вставки предохранителя или расцепителя автоматического выключателя.

Скорость отключения электроустановки с момента появления напряжения на корпусе составляет 5 – 7 с при защите электроустановки плавкими предохранителями и 1 – 2 с при защите автоматическими выключателями.

Нулевой защитный проводник должен иметь повторное заземление для уменьшения опасности поражения током, возникающей при обрыве этого проводника и замыкании фазы на корпус электроустановки, подключенной к защитному проводнику за местом обрыва.

Если нулевой защитный проводник повторно заземлен, то при его обрыве сохранится цепь тока через землю, в результате напряжение зануленных корпусов электроустановок, находящихся за местом обрыва, снизится приблизительно до  $0,5 U_{\phi}$ . При отсутствии повторного заземления нулевого защитного проводника корпуса окажутся под напряжением равным фазному напряжению сети  $U_{\phi}$ .

Следовательно, повторное заземление значительно уменьшает опасность поражения током, возникающую в результате обрыва нулевого защитного проводника, но не может устранить ее полностью.

В связи с этим требуется тщательная прокладка нулевого защитного проводника, чтобы исключить возможность его обрыва по любой причине. Поэтому в нулевом защитном проводнике в отличие от нулевого провода запрещается ставить предохранители, рубильники и другие приборы, которые могут нарушить его целостность.

### Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд представляет собой модель электрической сети с источником питания, электропотребителями, средствами защиты, измерительными приборами. Лицевая панель стенда показана на рис.6.

В лабораторном стенде в качестве источника питания используется трехфазный трансформатор. Стенд включается трехфазным автоматом  $S_2$  – положение I. При этом загораются индикаторы (желтого, зеленого и красного цветов), расположенные рядом с фазными проводами  $A, B, C$ .

Режим нейтрали сети изменяется переключателем  $S_1$ , причем правое положение ручки переключателя соответствует режиму заземленной нейтрали, а левое положение – режиму изолированной нейтрали. Нейтральная точка источника питания заземляется через сопротивление  $R_0 = 4 \text{ Ом}$ .

Сопротивления фазных проводов сети  $A, B, C$  и  $N$ -провода относительно земли смоделированы сосредоточенными сопротивлениями  $R_a, R_b, R_c, R_n$ .

В стенде моделируется только активная составляющая полного сопротивления фазных проводов относительно земли, причем рассматривается случай симметричной проводимости проводов, т. е.  $R_A = R_B = R_C = R_N$ . Значения указанных сопротивлений изменяются переключателем  $S 18$ .

(Электроустановки электропотребители) на мнемосхеме показаны в виде их корпусов 1, 2, 3. Электроустановки «Корпус 1» и «Корпус 2» являются трехфазными и подключаются к сети через автоматические выключатели  $S 5$  и  $S 10$  соответственно. Положение рукоятки выключателей – I означает включение автоматов, при этом напряжение подается на электроустановки. Для питания током однофазной электроустановки «Корпус 3» к нейтрали источника питания с помощью выключателя  $S 3$  подключается *нулевой рабочий провод (N-проводник)*.

Лабораторный стенд позволяет моделировать два способа защиты человека в случае замыкания фазы на корпус электроустановки: защитное заземление и зануление.

В стенде для зануления электроустановок с помощью переключателя  $S 4$  к нейтрали источника питания подключается *нулевой защитный проводник (PE-проводник)*. Подключение корпусов 1 и 2 к нулевому защитному PE-проводнику осуществляется переключателями  $S 8$  и  $S 14$  соответственно. Правое положение переключателей означает, что корпусы занулены.

Сопротивление фазного провода от нейтральной точки до корпуса 2 не изменяется и имеет значение  $R_f = 0,1$  Ом. Сопротивление PE-проводника может изменяться с помощью переключателя  $S 6$ , причем сопротивления участков «нейтраль» – «Корпус 1» и «Корпус 1» – «Корпус 2» равны, и принимают значения 0,1; 0,2; 0,5 Ом.

Обрыв PE-проводника между точками подсоединения корпусов 1 и 2 имитируется с помощью переключателя  $S 12$ , нижнее положение ручки которого соответствует обрыву PE-проводника.

Повторное заземление PE-проводника  $R_n$  подключается к проводнику с помощью переключателя  $S 17$ . Значение сопротивления  $R_n$  изменяется переключателем  $S 19$  (4; 10; 100 Ом).

Переходное сопротивление  $R_{пер}$  между корпусом 2 и зануляющим проводником изменяется переключателем  $S 16$  и может принимать значения 0; 0,1; 0,5 Ом.

Замыкание фазных проводов на корпуса 1 и 2 осуществляется кнопками  $S 7$  и  $S 13$  соответственно, причем на «Корпус 1» замыкается фаза A, а на «Корпус 2» – фаза B.

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

Включение амперметра в цепь осуществляется с помощью переключателя, находящегося под индикатором. При соответствующем подключении загорается лампочка, указывающая на место подключения прибора. Положение ручки переключателя «ОТКЛ» означает отсутствие амперметра в цепях стенда. В положении А1 измеряется ток короткого замыкания, в положении А2 – ток, стекающий с заземлителя «Корпуса 2», в положении А3 – ток замыкания на землю через повторное заземление *РЕ*-проводника.

Вольтметр включается с помощью гибких проводников, снабженных наконечниками, в измерительные цепи через гнезда  $X 1, \dots, X 15$ , установленные в соответствующих точках схемы, с одной стороны и в гнезда «ВХОД» – с другой.

### **ВНИМАНИЕ!**

1. При измерении напряжения переключатель амперметра должен находиться в положении «ОТКЛ».

2. Для устранения режима замыкания фазных проводов на корпуса 1 и 2 необходимо нажать на кнопку «СБРОС» и удерживать её в таком состоянии не менее 20 с.

Миллисекундомер включается при нажатии кнопки *S 13*, а отключается при срабатывании автоматического выключателя *S 10*.

### **Порядок выполнения работы**

**З а д а н и е № 1.** Определить в случае применения зануления и замыкания фазы на корпус электроустановки время срабатывания автоматических выключателей (автоматов защиты) и величину тока короткого замыкания при различном сопротивлении в электрической цепи «фаза-нейтраль».

1. Заземлить нейтраль источника питания – перевести переключатель *S 1* в правое положение.

2. Подключить *N* и *РЕ*-проводники к источнику питания – рукоятки переключателей *S 3, S 4, S 12* перевести в верхнее положение.

3. Подключить корпуса электроустановок 1 и 2 к *РЕ*-проводнику – перевести рукоятки переключателей *S 8* и *S 14* в правое положение.

4. Убедиться, что переключатели *S 9, S 15, S 17* – в левом положении.

5. Включить стенд – перевести выключатель *S 2* в положение I.

6. Подключить корпуса электроустановок 1 и 2 к сети – перевести автоматы защиты *S 5* и *S 10* в положение I.

7. Переключателем *S 6* установить значение электрического сопротивления нулевого защитного проводника  $R_{PE} = 0,1$  Ом и переходного сопротивления между фазой корпусом  $R_n = 0,1$  Ом.

8. Установить переключатель амперметра в положение А1.

9. Имитировать замыкание фазы *B* на «Корпус 2», нажав на кнопку *S 13*.

10. Произвести измерение времени срабатывания автомата защиты  $t_{ср}$  (мс) и тока короткого замыкания  $I_{кз}$  (А) с помощью миллисекундомера и амперметра соответственно.

11. Устранить замыкание на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».

12. Подключить электроустановку 2 («Корпус 2») к сети – перевести выключатель  $S 10$  в положение I.

13. Установить последовательно переключателем  $S 6$  значения  $R_{PE} = 0,2; 0,5$  Ом, соответственно произвести измерения времени срабатывания автомата защиты и тока короткого замыкания аналогично п.п. 9, 10, 11, 12.

14. Устранить замыкание на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».

15. Подключить электроустановку 2 «Корпус 2» к сети – перевести выключатель  $S 10$  в положение I.

16. Установить значение сопротивления  $R_{PE}$ , равное 0,2 Ом.

17. Последовательно переключателем  $S 16$  установить значение переходного сопротивления между фазой и корпусом  $R_{пер} = 0; 0,1; 0,5$  Ом и измерить время срабатывания автомата защиты и величины тока короткого замыкания в соответствии с п.п. 9, 10, 11, 12.

18. Устранить замыкание на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».

19. Выключить стенд – перевести выключатель  $S 2$  в положение 0.

**З а д а н и е № 2.** Исследовать распределение потенциалов вдоль  $PE$ -проводника без его повторного заземления и при его наличии.

1. Установить значения  $R_{PE} = 0,1$  Ом;  $R_{пер} = 0$ .

2. Включить стенд – перевести выключатель  $S 2$  в положение I.

3. Подключить корпуса 1 и 2 к сети – перевести автоматы защиты  $S 5$  и  $S 10$  в положение I.

4. Установить переключатель амперметра в положение «ОТКЛ».

5. Имитировать замыкание фазы  $B$  на «Корпус 2», нажав на кнопку  $S 13$ .

6. Установить гибкие проводники в гнезда «ВХОД» и измерить вольтметром следующие напряжения  $U$  (В):

- напряжение нулевой точки относительно земли  $U_0$  (гнезда  $X 2$  и  $X 1$ );

- напряжения корпусов 1, 2, 3 относительно земли  $U_{к1}, U_{к2}, U_{к3}$  (гнезда  $X 2$  и  $X 4, X 2$  и  $X 8, X 2$  и  $X 11$ ).

7. Установить переключатель амперметра в положение A1 и измерить ток короткого замыкания и время срабатывания автоматов защиты.

8. Устранить замыкание на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».

9. Произвести повторное заземление  $PE$ -проводника – переключатель  $S 17$  перевести в правое положение.

10. Установить переключателем  $S 19$  значение сопротивления повторного заземления  $R_n = 4$  Ом.

11. Подключить электроустановку 2 («Корпус 2») к сети – перевести выключатель  $S 10$  в положение I.

12. В соответствии с п.п. 3, 4, 5, 6, 7 измерить напряжение относительно земли на корпусах 1, 2, 3 и в нейтрали источника питания, а также время срабатывания автоматов защиты и величину тока короткого замыкания.

13. Установить переключатель амперметра в положение АЗ и измерить ток замыкания на землю  $I_3$ .

14. Устранить замыкание на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».

15. Подключить «Корпус 2» к сети – перевести выключатель  $S 10$  в положение I

16. Последовательно установить переключателем  $S 19$  значения сопротивления повторного заземления  $R_n = 10$  и  $100$  Ом, соответственно произвести измерения аналогично п.п. 13, 14, 15.

17. Выключить стенд – перевести выключатель  $S 2$  в положение 0.

**З а д а н и е № 3.** Оценить эффективность повторного заземления нулевого защитного проводника (*РЕ*-проводника) при обрыве этого проводника и замыкании фазы на корпус за местом обрыва.

1. Отключить повторное заземление  $R_n$  от *РЕ*-проводника – переключатель  $S 17$  перевести в левое положение.

2. Смоделировать обрыв *РЕ*-проводника между корпусами 1 и 2, для чего установить рукоятку переключателя  $S 12$  в нижнее положение.

3. Включить стенд – перевести выключатель  $S 2$  в положение I.

4. Подключить электроустановки 1 и 2 («Корпус 1» и «Корпус 2») к сети – перевести автоматы защиты  $S 5$  и  $S 10$  в положение I.

5. Поставить переключатель амперметра в положение «ОТКЛ».

6. Имитировать замыкание фазы на «Корпус 2», нажав на кнопку  $S 13$ .

7. Измерить вольтметром следующие напряжения  $U$  (В):

- напряжение нулевой точки относительно земли  $U_0$  (гнезда  $X 2$  и  $X 1$ );

- напряжения корпусов 1, 2, 3 относительно земли  $U_{к1}$ ,  $U_{к2}$ ,  $U_{к3}$  (гнезда  $X 2$  и  $X 4$ ,  $X 2$  и  $X 8$ ,  $X 2$  и  $X 11$ ).

8. Установить переключатель амперметра в положение АЗ и измерить ток замыкания на землю  $I_3$ .

9. Устранить замыкание на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».

10. Подключить повторное заземление к *РЕ*-проводнику – переключатель  $S 17$  установить в правое положение.

11. Установить переключателем  $S 19$  величину сопротивления повторного заземления *РЕ*-проводника  $R_n = 4$  Ом.

12. Включить стенд – перевести выключатель  $S 2$  в положение I.

13. В соответствии с п.п. 4, 5, 6, 7, 8 измерить величину напряжения относительно земли на корпусах 1, 2, 3 и нейтрали источника питания, а также значение тока замыкания на землю.

14. Устранить замыкание на «Корпус 2», нажав на кнопку «СБРОС».

15. Последовательно установить переключателем  $S 19$  значения сопротивления повторного заземления *РЕ*-проводника  $R_n = 10$  и  $100$  Ом, соответственно произвести измерения аналогично п.п. 13, 14, 15.

17. Выключить стенд – перевести выключатель  $S 2$  в положение 0.

Лабораторная работа № 5  
**Исследование электробезопасности трехфазных сетей  
 переменного тока напряжением до 1000 В**

Цель работы – исследовать опасность поражения электрическим током промышленной частоты (50 Гц) в трехфазных сетях напряжением до 1000 В.

**Содержание работы**

1. Исследование опасности поражения током при случайном прикосновении человека к фазе в трехфазных сетях: а) трехпроводной с изолированной нейтралью; б) четырехпроводной с глухозаземленной нейтралью.
2. Исследование эффективности применения метода компенсации емкостных токов в трехфазной сети с изолированной нейтралью.

**Краткие теоретические сведения**

Все случаи поражения человека током являются результатом замыкания электрической цепи через его тело или, иначе говоря, результатом одновременного прикосновения человека к двум точкам цепи тока, между которыми существует напряжение – напряжение прикосновения.

Опасность такого прикосновения, оцениваемая величиной тока, проходящего через тело человека  $I_{\text{ч}}$ , зависит от ряда факторов: схемы включения человека в цепь, напряжения сети, схемы самой сети, режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей фазных проводов сети (фаз) от земли, величины емкости фаз относительно земли и т. п.

Для подключения электроустановок напряжением до 1000 В применяют две схемы трехфазных электрических сетей: трехпроводную с изолированной нейтралью и четырехпроводную с глухозаземленной нейтралью (рис.8).

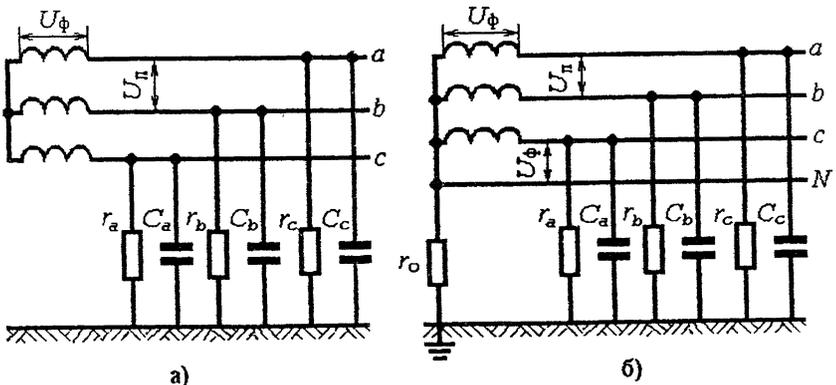


Рис.8. Схемы трехфазной сети: а – трехпроводной с изолированной нейтралью; б – четырехпроводной с глухозаземленной нейтралью

*Нейтралью* называется нейтральная точка соединения обмоток источника питания, например, трехфазного трансформатора\*. Обмотки источника в этом случае должны быть соединены в симметричную схему «звезда».

*Изолированной нейтралью* называется нейтраль источника питания (трансформатора или генератора), не связанная с землей или связанная с заземляющим устройством через аппараты, имеющие большое сопротивление – индуктивные катушки; воздушные пробивные предохранители; трансформаторы напряжения.

*Глухозаземленной нейтралью* называется нейтраль генератора или трансформатора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление, (например, трансформатор тока).

При эксплуатации трехфазных сетей наиболее характерными схемами включения человека в цепь тока являются две схемы: между двумя фазными проводами – *двухфазное включение*; между фазным проводом (*a, b* или *c*) и землей – *однофазное включение*. Во втором случае предполагается наличие электрической связи между сетью и землей, например, через заземление нейтрали или несобершенную изоляцию проводов сети относительно земли.

Двухфазное включение, как правило, более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение – линейное  $U_{\Delta}$ , а ток, проходящий через тело человека, оказываясь независимым от схемы сети, режима нейтрали и других факторов, имеет также наибольшее значение:

$$I_{\text{ч}} = U_{\Delta} / R_{\text{ч}}, \quad (5.1)$$

где  $U_{\Delta}$  – линейное напряжение – напряжение между двумя фазными проводами сети, равное  $\sqrt{3} U_{\text{ф}}$ , В;  $U_{\text{ф}}$  – фазное напряжение – напряжение между началом и концом одной обмотки источника питания (трансформатора, генератора) или между фазным и нулевым *N* проводами, В;  $R_{\text{ч}}$  – электрическое сопротивление тела человека, Ом.

Однофазное включение, возникающее в случае прикосновения человека к фазе сети или к токопроводящему корпусу электроустановки, на который замкнулась фаза, менее опасно, чем двухфазное, поскольку ток, проходящий через тело человека, ограничивается влиянием многих факторов: сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли, сопротивления пола, на котором стоит человек, сопротивления обуви и других факторов. Однако однофазное включение происходит значительно чаще и является основной схемой, вызывающей поражение людей током.

---

\* На рисунках показаны только вторичные обмотки трансформаторов, питающих рассматриваемые сети. Кроме того, распределенные по длине провода сети активное сопротивление изоляции и емкости фаз относительно земли на схемах представлены сосредоточенными элементами *R* и *C*.

Опасность поражения оценивается рядом факторов, среди которых главное место занимает величина тока, проходящего через тело человека.

Опасным неотпускающим считается переменный ток частотой 50 Гц силой 10 – 15 мА и более. При прохождении такого тока через тело возникают судороги мышц, и человек не может самостоятельно разжать руку, в которой зажата токоведущая часть.

Ток силой 25 – 50 мА приводит к нарушению деятельности легких. При длительном воздействии этого тока – несколько минут – возможно прекращение дыхания и, вследствие этого, остановка сердца.

Ток силой 100 мА и более уже через 1 – 2 с может вызвать фибрилляцию сердца – хаотическое разновременное сокращение волокон сердечной мышцы (фибрилл), в результате сердце перестает нормально сокращаться, и кровообращение в организме прекращается, что может стать причиной смертельного исхода.

В сетях напряжением до 1000 В при однофазном включении человека величина тока, проходящего через его тело, а следовательно и опасность поражения, зависит, прежде всего, от режима нейтрали сети: заземлена нейтральная точка источника питания или нет, а также от активной и емкостной проводимостей между фазными проводниками (*a, b, c*) и землей.

В трехфазных сетях с глухозаземленной нейтралью потенциал нейтральной точки источника питания близок к потенциалу земли. Поэтому при нормальном режиме работы сети в случае однофазного включения (рис.9) человек попадает под фазное напряжение  $U_\phi$  и сила тока, проходящего через тело человека и заземленную нейтраль, будет

$$I_\chi = \frac{U_\phi}{R_\chi + r_0}, \quad (5.2)$$

где  $r_0$  – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

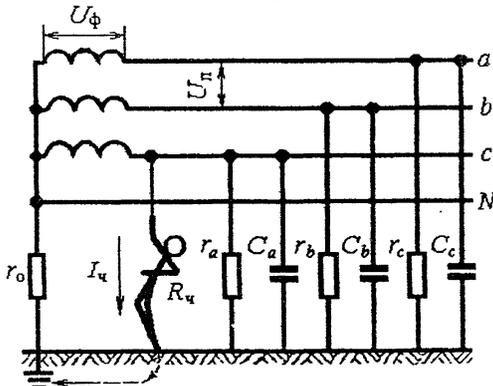


Рис. 9. Прикосновение человека к фазе трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью

Как правило, в сетях напряжением до 1000 В сопротивление заземления нейтрали  $r_0 \leq 10$  Ом; сопротивление же тела человека  $R_q$  в расчетах принимают равным 1000 Ом. Следовательно, без большой ошибки в уравнении можно пренебречь значением  $r_0$  и считать, что при прикосновении человека к одной из фаз сети с глухозаземленной нейтралью ток, проходящий через его тело, равен

$$I_q = U_\phi / R_q. \quad (5.3)$$

В рассмотренном случае большое значение для уменьшения опасности поражения током будет иметь сопротивление обуви  $r_{об}$  и сопротивление пола  $r_n$ , так как они включаются последовательно с сопротивлением тела человека. С учетом этих сопротивлений формула для тока принимает вид:

$$I_q = \frac{U_\phi}{R_q + r_{об} + r_n}. \quad (5.4)$$

При однофазном включении человека в трехфазную сеть с изолированной нейтралью (рис. 10) ток протекает от места контакта, как и ранее, через руку, тело, обувь, пол и одновременно – через несовершенную изоляцию фазных проводов к двум другим фазам сети.

Если обувь и пол токопроводящие, то в трехфазной сети с изолированной нейтралью величину тока, проходящего через тело человека, при прикосновении к одной из фаз сети в период ее нормальной работы определяют следующим выражением

$$I_q = \frac{U_\phi}{R_q} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{r(r + 6R_q)}{9R_q^2(1 + r^2\omega^2C^2)}}}, \quad (5.5)$$

где  $r$  – активное сопротивление изоляции проводов (фаз) относительно земли, Ом;  $C$  – емкость проводов (фаз) относительно земли, Ф.

Для упрощения сопротивление изоляции и емкость фазных проводов сети относительно земли приняты равными между собой:  $r_a = r_b = r_c = r$ ;  $C_a = C_b = C_c = C$ .

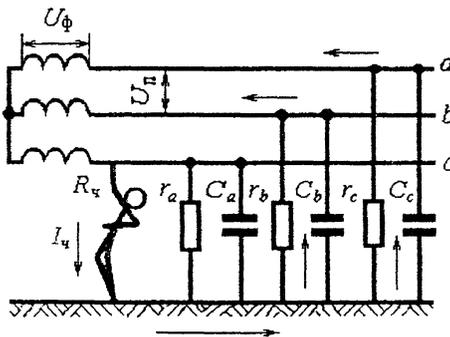


Рис.10. Схема однофазного включения человека в трехфазную трехпроводную сеть с изолированной нейтралью

В воздушных сетях небольшой протяженности емкость проводов относительно земли мала, т.е.  $C \approx 0$ . В этом случае сила тока, проходящего через тело человека, будет

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\Phi}}{R_{\text{ч}} + \frac{r}{3}}. \quad (5.6)$$

В кабельных сетях большой протяженности емкость проводов  $C$  относительно земли значительна. В таких сетях, если активное сопротивление изоляции весьма велико ( $r \approx \infty$ ), то уравнение (5.5) примет вид

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\Phi}}{\sqrt{R_{\text{ч}}^2 + \left(\frac{1}{3\omega C}\right)^2}}. \quad (5.7)$$

Из выражения (5.6) видно, что в сетях с изолированной нейтралью опасность для человека, прикоснувшегося к одной из фаз в период нормальной работы сети, зависит от величины сопротивления изоляции проводов  $r$ : с увеличением сопротивления опасность уменьшается. Поэтому в таких сетях необходимо обеспечивать высокое качество изоляции и ее контроль.

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ), сопротивление изоляции новых силовых и осветительных электропроводок напряжением до 1000 В относительно земли должно быть не менее 0,5 МОм.

Однако защитная роль изоляции в обеспечении безопасности утрачивается при прикосновении к фазе в сетях с большой емкостью проводов относительно земли [см. уравнение (5.7)]. Если емкость проводов  $C$  велика, и, следовательно, емкостное сопротивление  $x_C$ , равное  $x_C = 1/\omega C$ , мало, то ток, проходящий через тело человека, может оказаться опасным для жизни.

Анализ формул (5.3) и (5.6) показывает, что величина тока, протекающего через тело человека, при однофазном включении его в сеть с изолированной нейтралью гораздо меньше, чем в сеть с глухозаземленной нейтралью, так как величина сопротивления изоляции проводов  $r$  достаточно велика по сравнению с величиной сопротивления заземления нейтрали  $r_0$ .

При наличии возможности непрерывного или периодического контроля за состоянием изоляции отдают предпочтение сетям с изолированной нейтралью, в противном случае – четырехпроводным трехфазным сетям с глухозаземленной нейтралью.

В целях уменьшения опасности поражения током при обслуживании и эксплуатации электроустановок необходимо: покрывать токопроводящий пол (бетонный, кирпичный, металлический) линолеумом; надевать обувь на резиновой подошве, применять на рабочем месте изолирующие подставки и резиновые коврики; использовать при работе монтерский инструмент с изолированными рукоятками; поддерживать влажность и температуру воздуха в помещении, от которых зависит величина электрического сопротивления тела человека, не выше допустимых значений.

### Компенсация емкостных токов

В сети с изолированной нейтралью сила тока, проходящего через тело человека, при однофазном включении, как было отмечено выше, зависит не только от сопротивления изоляции  $r$ , но и от емкости проводов относительно земли  $C$  [см. уравнение (5.5)].

В кабельных и разветвленных сетях большой протяженности емкость проводов относительно земли весьма значительна. Следовательно, в таких сетях емкостное сопротивление  $x_C$  мало и при случайном прикосновении к фазе сила тока, проходящего через тело человека,  $I_{\text{ч}}$  [см. уравнение (5.7)] может достигать опасной величины даже, если сопротивление изоляции проводов  $r$  принять бесконечно большим ( $r \approx \infty$ ).

В целях обеспечения безопасности при случайном прикосновении человека к одной из фаз сети, обладающей большой емкостью проводов относительно земли, уменьшают величину тока, проходящего через тело  $I_{\text{ч}}$ , за счет компенсации емкостной составляющей тока  $I_C$  с помощью индуктивной катушки  $L_K$ , включаемой между нейтральной точкой источника питания и землей (рис. 11).

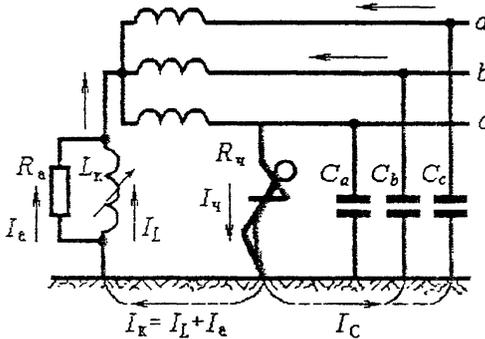


Рис.11. Схема компенсации емкостного тока:

$L_K$  – компенсирующая катушка индуктивности;  $R_a$  – активное сопротивление компенсирующей катушки

Индуктивность  $L_K$  вместе с емкостью проводов сети  $C$  образует колебательный контур. Теперь в случае прикосновения к фазе сети ток, проходящий через тело человека,  $I_{\text{ч}}$  будет

$$I_{\text{ч}} = \sqrt{I_a^2 + (I_L - I_C)^2}, \quad (5.8)$$

где  $I_a$  – активная,  $I_L$  – индуктивная и  $I_C$  – емкостная составляющие тока, А.

Активная составляющая тока  $I_a$  обусловлена активными потерями в катушке индуктивности  $L_K$  и потерями на гистерезис в сердечнике катушки; индуктивная  $I_L$  и емкостная  $I_C$  составляющие тока – наличием  $L$  и  $C$ .

Если индуктивное сопротивление компенсирующей катушки  $x_L = \omega L_k$  подобрано равным полному емкостному сопротивлению фазных проводов сети  $x_C = 1/3\omega C$ , т. е. выполняется условие

$$\omega L_k = \frac{1}{3\omega C}, \quad (5.9)$$

то в колебательном контуре возникает резонанс токов, при котором индуктивный ток  $I_L$  и емкостной  $I_C$  по величине равны, а по фазе противоположны. Практически эти токи находятся в противофазе и взаимно исключаются.

В этом случае при однофазном включении ток, проходящий через тело человека, будет равен только активной составляющей  $I_q = I_a$ , что значительно меньше, чем в сети без компенсации емкостной составляющей, так как активное сопротивление компенсирующей катушки  $R_a$  значительно больше емкостного сопротивления проводов  $x_C$  ( $R_a \gg x_C$ ).

На рис. 12 приведены векторные диаграммы для трех случаев:

- 1) полная компенсация  $I_L = I_C$ : ток, проходящий через тело человека,  $I_q$  равен только активной составляющей  $I_q = I_a$ ;
- 2) недокомпенсация  $I_L < I_C$ : индуктивное сопротивление катушки  $x_L$  больше емкостного сопротивления проводов сети  $x_C$ ;
- 3) перекомпенсация  $I_L > I_C$ : индуктивное сопротивление  $x_L$  меньше емкостного  $x_C$ .

В двух последних случаях сила тока, проходящего через тело человека, будет больше, чем при полной компенсации емкостной составляющей тока.

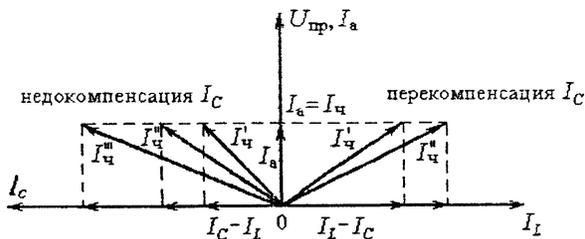


Рис. 12. Векторные диаграммы компенсации емкостного тока

### Описание стенда

Лабораторный стенд позволяет смоделировать несколько типовых задач по электробезопасности в трехфазной электрической сети, исследовать зависимость величины тока, проходящего через тело человека,  $I_q$  (мА) от сопротивления изоляции проводов  $r$  (кОм) и емкости фаз сети  $C$  (мкФ) относительно земли, оценить эффективность применения метода компенсации емкостного тока и защитного заземления.

В стенде смоделированы: сосредоточенные сопротивления изоляции  $r_a, r_b, r_c$  и емкости  $C_a, C_b, C_c$  фазных проводов относительно земли; сопротив-

ление тела человека  $R_{\text{ч}}$ , сопротивление заземления нейтрали  $r_0$ , сопротивление защитного заземления  $r_3$ .

Установка имеет мнемопанель, на которой при исследовании различных цепей высвечиваются соответствующие участки трехфазной сети. В измерительной схеме установки амперметром  $A_2$  фиксируется величина тока, проходящего через тело человека  $I_{\text{ч}}$  (мА), вольтметром  $V$  – напряжение прикосновения  $U_{\text{пр}}$  (В) при заданных условиях.

### Порядок выполнения работы

**З а д а н и е № 1.** Исследовать опасность поражения электрическим током при случайном прикосновении человека к фазному проводу трехфазной сети с изолированной нейтралью.

**А.** Определить зависимость силы тока, проходящего через тело человека, при однофазном включении его в сеть от величины сопротивления изоляции фазных проводов относительно земли.

1. Привести стенд в исходное положение: ручки переключателей сопротивления изоляции фазных проводов  $r_a, r_b, r_c$  поставить в положение 1 кОм; емкости фаз относительно земли  $C_a, C_b, C_c$  установить на нулевые деления; сопротивления тела человека  $R_{\text{ч}}$  в положение «Выкл»; тумблеры «Устр.», «Шунтирующий», « $r_0$  – Заземление нейтрали», «Компенсация», «Зануление», « $r_p$ », « $r_3$ » – в положение «Выключено» (рукоятки вниз).

2. Переключателем  $R_{\text{ч}}$  установить значение сопротивления тела человека 1 кОм.

3. Включить стенд тумблерами «Сеть» и «Устр.» (рукоятка вверх). При этом на мнемопанели высвечивается обмотка трехфазного трансформатора.

4. Нажать кнопку «Замыкание», что имитирует замыкание фазы сети  $a$  на корпус электроустановки, изображенной на мнемопанели.

5. Установить переключатели величины сопротивления изоляции проводов относительно земли  $r_a, r_b, r_c$  последовательно на деления 1, 2 кОм и т.д. Определить: по показаниям миллиамперметра «А» силу тока, проходящего через тело человека  $I_{\text{ч}}$  (мА); по показаниям вольтметра «V» величину напряжения прикосновения  $U_{\text{пр}}$  (В). Показания приборов занести в табл. 1 отчета.

6. Привести стенд в исходное положение (см. п. 1).

**Б.** Определить зависимость силы тока, проходящего через тело человека, при однофазном включении его в сеть от величины емкости фаз относительно земли.

1. Переключателем  $R_{\text{ч}}$  установить значение сопротивления тела человека 1 кОм.

2. Ручки переключателей сопротивления изоляции проводов  $r_a, r_b, r_c$  установить в положение «∞» (крайнее левое положение).

3. Включить стенд тумблерами «Сеть» и «Устр.».
4. Нажать кнопку «Замыкание».
5. Ручки переключателей « $C_a$ », « $C_b$ », « $C_c$ » установить последовательно на деления 0,1; 0,2 мкФ и т.д., что соответствует указанной величине емкости фаз относительно земли. Показания приборов « $A_2$ » и « $V$ » занести в табл. 1 отчета.
6. Привести стенд в исходное положение (см. п. 1).

**З а д а н и е № 2.** Исследовать опасность поражения электрическим током при случайном прикосновении человека к фазному проводу трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью.

1. Включить тумблер « $r_0$ ». Это означает, что осуществлено заземление нейтрали источника питания – трехфазного трансформатора.
2. Включить тумблерами «Сеть» и «Устр.»
3. Нажать кнопку «Замыкание».
4. Переключателем « $R_q$ » последовательно установить значение сопротивления тела человека 1; 2 кОм и т.д. Показания приборов « $A_2$ » и « $V$ » занести в табл. 2 отчета.
5. Привести стенд в исходное положение (см. п. 1).

**З а д а н и е № 3.** Исследование эффективности применения метода компенсации емкостных токов.

1. Включить стенд тумблерами «Сеть» и «Устр.»
2. Ручки переключателей величины емкости фаз относительно земли  $C_a$ ,  $C_b$ ,  $C_c$  установить в положение 0,6 мкФ;
3. Ручки переключателей величины сопротивления изоляции проводов  $r_a$ ,  $r_b$ ,  $r_c$  установить в положение 400 кОм;
4. Переключатель сопротивления тела человека  $R_q$  установить в положение 1 кОм;
5. Нажать кнопку «Замыкание». Показания приборов « $A_2$ » и « $V$ » занести в табл.3 отчета.
6. Включить тумблер «Компенсация».
7. Ручки переключателей величины емкости фаз относительно земли  $C_a$ ,  $C_b$ ,  $C_c$  последовательно установить в положения 0; 0,2; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6 мкФ. Показания приборов « $A_2$ » и « $V$ » занести в табл.3 отчета.
8. Привести стенд в исходное положение (см. п. 1).
9. Рассчитать индуктивность катушки  $L_k$ , компенсирующей емкостной ток, по формуле

$$L_k = \frac{1}{3\omega^2 C}, \quad (5\ 10)$$

где  $\omega = 2\pi f$  – угловая частота, рад/с;  $f$  – промышленная частота тока, равная 50 Гц.

Лабораторная работа №6  
**Оценка эффективности и качества производственного  
освещения**

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

**Содержание работы**

1. Измерить освещенность, создаваемую различными источниками света и сравнить с нормируемыми значениями;
2. По измеренным значениям освещенности определить коэффициент - использования осветительной установки;
3. Измерить и сравнить коэффициенты пульсаций освещенности, создаваемой различными источниками света, оценить зависимость коэффициента пульсаций освещенности от способа подключения ламп к фазам трехфазной сети;
4. Произвести расчет искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока.

**Краткие теоретические сведения**

*Освещение* – получение, распределение и использование световой энергии для обеспечения благоприятных условий видения предметов и объектов. Оно влияет на настроение и самочувствие, определяет эффективность труда.

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

Около 80 % из общего объема информации человек получает через зрительный аппарат. Качество получаемой информации во многом зависит от освещения: неудовлетворительное в количественном или качественном отношении освещение не только утомляет зрение, но и вызывает утомление организма в целом. Нерационально организованное освещение может, кроме того, являться причиной травматизма: плохо освещенные опасные зоны, спящие источники света и блики от них, резкие тени и пульсации освещенности ухудшают видимость и могут вызвать неадекватное восприятие наблюдаемого объекта.

В зависимости от источника света освещение может быть трех видов: естественное, искусственное и совмещенное (смешанное).

**Светотехнические характеристики освещения.** Для гигиенической оценки освещения используются светотехнические характеристики, принятые в физике.

*Видимое излучение* – участок спектра электромагнитных колебаний в диапазоне длин волн от 380 до 770 нм ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ), регистрируемых человеческим глазом.

*Световой поток*  $F$  — мощность лучистой энергии, оцениваемая по производимому ею зрительному ощущению. За единицу светового потока принят люмен (лм).

*Сила света*  $I_a$  – пространственная плотность светового потока

$$I_a = dF/d\omega, \quad (6.1)$$

где:  $dF$  – световой поток (лм), равномерно распределяющийся в пределах телесного угла  $d\omega$ . Единица измерения силы света – кандела (кд), равная световому потоку в 1 лм (люмен), распространяющемуся внутри телесного угла в 1 стерадиан. Освещенность – поверхностная плотность светового потока, люкс (лк)

$$E = dF/dS, \quad (6.2)$$

где:  $dS$  – площадь поверхности ( $\text{м}^2$ ), на которую падает световой поток  $dF$ .

*Яркость*  $B$  – поверхностная плотность силы света в заданном направлении. Яркость, являющаяся характеристикой светящихся тел, равна отношению силы света в каком-либо направлении к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную к этому направлению.

$$B = I_a/dS \cdot \cos\alpha, \quad (6.3)$$

где  $I_a$  – сила света, кд;  $dS$  – площадь излучающей поверхности,  $\text{м}^2$ ;  $\alpha$  – угол между направлением излучения и плоскостью, град.

Единицей измерения яркости является  $\text{кд}/\text{м}^2$ , это яркость такой плоской поверхности, которая в перпендикулярном направлении излучает силу света в 1 кд с площади  $1 \text{ м}^2$ .

**Искусственное освещение.** Искусственное освещение предусматривается в помещениях, в которых испытывается недостаток естественного света, а также для освещения помещения в те часы суток, когда естественная освещенность отсутствует.

По принципу организации искусственное освещение можно разделить на два вида: общее и комбинированное.

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

*Комбинированное освещение* состоит из общего и местного. Его целесообразно устраивать при работах высокой точности, а также при необходимости создания в процессе работы определенной направленности светового потока. Местное освещение предназначено для освещения только

рабочих поверхностей и не создает необходимой освещенности даже на прилегающих к ним участкам. Оно может быть стационарным и переносным. Применение только местного освещения в производственных помещениях запрещается, - так как резкий контраст между ярко освещенными, и неосвещенными местами «утомляет зрение, замедляет скорость работы и нередко является причиной несчастных случаев.

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

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

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

*Эвакуационное освещение* следует предусматривать в местах, отведенных для прохода людей, в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей в количестве более 50 человек. Это освещение должно обеспечивать на полу основных проходов (или на земле) и на ступенях лестниц освещенность не менее 0,5 лк в помещениях и 0,2 лк на открытой территории.

*Охранное освещение* предусматривается вдоль границ территории, охраняемой в ночное время. Охранное освещение должно обеспечивать освещенность не менее 0,5 лк на уровне земли.

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

В *лампах накаливания* источником света является раскаленная вольфрамовая проволока. Эти лампы дают непрерывный спектр-излучения с повышенной (по сравнению с естественным светом) интенсивностью в желто-красной области спектра. По конструкции лампы накаливания бывают вакуумные, газонаполненные, безспиральные (галогенные).

Общим недостатком ламп накаливания является сравнительно небольшой срок службы (менее 2000 часов) и малая световая отдача (отношение создаваемого лампой светового потока к потребляемой электрической мощности) (8 – 20 лм/Вт). В промышленности они находят применение для организации местного освещения.

Наибольшее применение в промышленности находят газоразрядные лампы низкого и высокого давления. Газоразрядные лампы низкого давления, называемые люминесцентными, содержат стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором, наполненную дозированым количеством ртути (30 – 80 мг) и смесью инертных газов под давлением около 400 Па. На противоположных концах внутри трубки размещаются электроды, между которыми, при включении лампы в сеть, возникает газовый разряд, сопровождающийся излучением преимущественно в ультрафиолетовой области спектра. Это излучение, в свою очередь, преобразуется люминофором в видимое световое излучение. В зависимости от состава люминофора люминесцентные лампы обладают различной цветностью.

В последние годы появились газоразрядные лампы низкого давления со встроенным высокочастотным преобразователем. Газовый разряд в таких лампах (называемый вихревым) возбуждается на высоких частотах (десятки кГц) за счет чего обеспечивается очень высокая светоотдача.

К газоразрядным лампам высокого давления (0,03 – 0,08 МПа) относят дуговые ртутные лампы (ДРЛ). В спектре излучения этих ламп преобладают составляющие зелено-голубой области спектра.

Основными достоинствами газоразрядных ламп является их долговечность (свыше 10000 часов), экономичность, малая себестоимость изготовления, благоприятный спектр излучения, обеспечивающий высокое качество цветопередачи, низкая температура поверхности. Светоотдача этих ламп колеблется в пределах от 30 до 105 лм/Вт, что в несколько раз превышает светоотдачу ламп накаливания.

**Нормирование искусственного освещения.** Наименьшая освещенность рабочих поверхностей в производственных помещениях, устанавливается в зависимости от характеристики зрительной работы и регламентируется строительными нормами и правилами СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

Характеристика зрительной работы определяется *минимальным размером объекта различения, контрастом объекта с фоном и свойствами фона.*

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

*Фон* – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Фон считается: светлым при коэффициенте отражения  $\rho$  светового потока поверхностью более 0,4; средне светлым при коэффициенте отражения от 0,2 до 0,4; темным при коэффициенте отражения менее 0,2.

*Контраст объекта различения с фоном (К)* определяется отношением абсолютной величины разности яркостей объекта  $B_0$  и фона  $B_{\phi}$  к

наибольшей их этих двух яркостей. Контраст считается большим при значениях  $K$  более 0,5; средним – при значениях  $K$  от 0,2 до 0,5; малым – при значениях  $K$  менее 0,2.

В соответствии со СНиП 23-05-95 все зрительные работы делятся на 8 разрядов в зависимости от размера объекта различения и условий зрительной работы. Допустимые значения наименьшей освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях в соответствии со СНиП 23-05-95 приведены в таблице 3. (В зарубежных нормах размер объекта различения часто указывают в угловых минутах).

Кроме цветности источников света и цветовой отделки интерьера, влияющих на субъективную оценку освещения, важным параметром, характеризующим качество освещения, является *коэффициент пульсации освещенности*  $K_p$

$$K_p = (E_{\max} - E_{\min}) / 2 \cdot E_{\text{ср}} \cdot 100\%, \quad (6.4)$$

где:  $E_{\max}$  – максимальное значение пульсирующей освещенности на рабочей поверхности;  $E_{\min}$  – минимальное значение пульсирующей освещенности;  $E_{\text{ср}}$  – среднее значение освещенности.

Пульсации освещенности на рабочей поверхности не только утомляют зрение, но и могут вызывать неадекватное восприятие наблюдаемого объекта за счет появления стробоскопического эффекта. *Стробоскопический эффект* – кажущееся изменение или прекращение «движения объекта, освещаемого светом, периодически изменяющимся с определенной частотой. Например, если вращающийся белый диск с черным сектором освещать пульсирующим световым потоком (вспышками), то сектор будет казаться: неподвижным при частоте  $f_{\text{всп}} = f_{\text{вращ}}$ , медленно вращающимся в обратную сторону при  $f_{\text{всп}} > f_{\text{вращ}}$ , медленно вращающимся в ту же сторону при  $f_{\text{всп}} < f_{\text{вращ}}$ , где  $f_{\text{всп}}$  и  $f_{\text{вращ}}$  соответственно частоты вспышек и вращения диска. Пульсации освещенности на вращающихся объектах могут вызывать видимость их неподвижности, что в свою очередь, может явиться причиной травматизма.

Значение  $K_p$  меняется от нескольких процентов (для ламп накаливания) до нескольких десятков процентов (для люминесцентных ламп). Малое значение  $K_p$  для ламп накаливания объясняется большой тепловой инерцией нити накала, препятствующей заметному уменьшению светового потока  $F_{\text{лн}}$  ламп в момент перехода мгновенного значения переменного напряжения сети через 0 (рис.13). В то же время газоразрядные лампы обладают малой инерцией и меняют свой световой поток  $F_{\text{лг}}$  почти пропорционально амплитуде сетевого напряжения (рис.13).

Для уменьшения коэффициента пульсации освещенности  $K_p$  люминесцентные лампы включаются в разные фазы трехфазной электрической сети. Это хорошо поясняет нижняя кривая на рис. 13, где показан характер изменения во времени светового потока (и связанной с

ним освещенности), создаваемого тремя люминесцентными лампами  $3F_{\text{л.л}}$ , включенными в фазу А и в три различные фазы сети. В последнем случае за счет сдвига фаз на  $1/3$  периода провалы в световом потоке каждой из ламп компенсируются световыми потоками двух других ламп, так что пульсации суммарного светового потока существенно уменьшаются. При этом среднее значение освещенности, создаваемой лампами, остается неизменным и не зависит от способа их включения.

В соответствии со СНиП 23-05-95 коэффициент пульсации освещенности  $K_n$  нормируется в зависимости от разряда зрительных работ с сочетанием с показателем ослепленности  $P$ :

$$P=(s-1) \cdot 10^3, \quad (6.5)$$

где  $s$  – коэффициент ослепленности, определяемый как:

$$s=(\Delta B_{\text{пор}})_s / \Delta B_{\text{пор}}, \quad (6.6)$$

где  $\Delta B_{\text{пор}}$  – пороговая разность яркости объекта и фона при обнаружении объекта на фоне равномерной яркости,  $(\Delta B_{\text{пор}})_s$  – то же при наличии в поле зрения блеского (яркого) источника света.

На освещенность рабочих поверхностей в производственном помещении влияют отражение и поглощение света стенами, потолком и другими поверхностями, расстояние от светильника до рабочей поверхности, состояние излучающей поверхности светильника, наличие рассеивателя света и т.д. Вследствие этого полезно используется лишь часть светового потока, излучаемого источником света.

**Расчет искусственного освещения.** Для расчета *общего равномерного освещения* горизонтальной рабочей поверхности применяют метод коэффициента использования светового потока.

Основная расчетная формула метода имеет вид

$$\Phi=(E \cdot S \cdot k_3 z) / (N \cdot \eta \cdot n), \quad (6.7)$$

где  $\Phi$  – световой поток каждой из ламп, лм;  $E$  – минимальная нормируемая освещенность, лк;  $S$  – площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;  $k_3$  – коэффициент запаса;  $z$  – коэффициент неравномерности ( для люминесцентных ламп  $z=1.1$ );  $N$  – число светильников, шт.;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока ( в долях единицы);  $n$  – число ламп в светильнике, шт., обычно при расчете задаются типом и числом светильников  $N$ .

По СНиП 23-05-95 в соответствии с назначением помещения устанавливается норма освещенности  $E$ . Для определения коэффициента использования  $\eta$  по светотехническому справочнику находится индекс помещения  $i$  и предположительно оцениваются коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка  $\rho_{\text{п}}$ , стен  $\rho_{\text{ст}}$ , расчетной поверхности  $\rho_{\text{рп}}$ .

Индекс помещения определяется по формуле

$$i=(A \cdot B) / [h \cdot (A+B)], \quad (6.8)$$

где  $A$  – длина помещения, м;  $B$  – ширина помещения, м;  $h$  – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м.

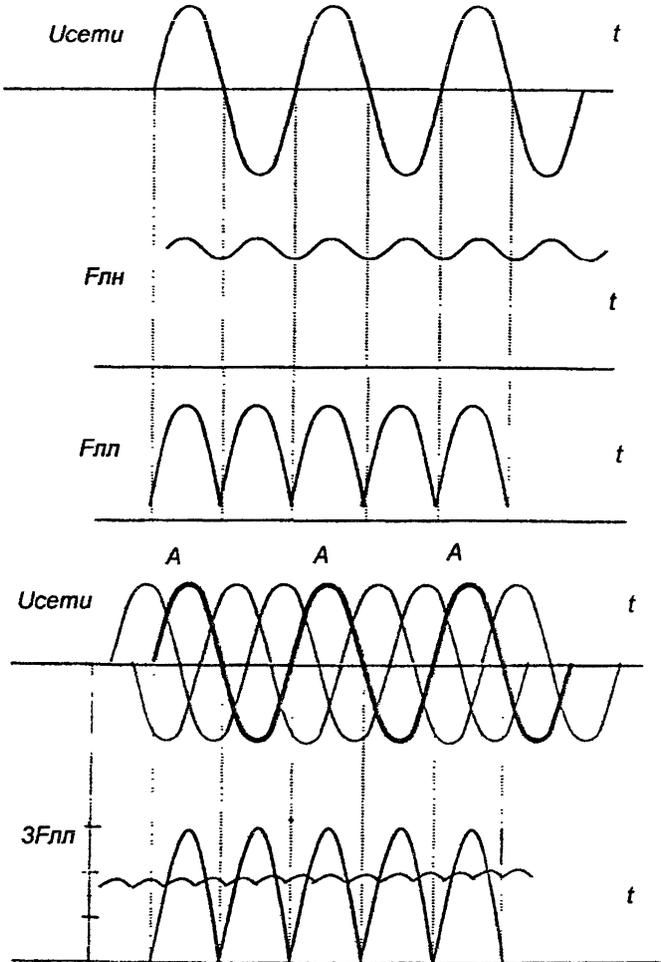


Рис.13. Пульсации светового потока при однофазном и трехфазном питающем напряжении.

Затем по формуле (6.7) рассчитывается световой поток  $\Phi$  и по справочнику выбирается стандартная лампа, поток которой  $\Phi_{\text{гост}}$  не должен отличаться от расчетного более чем от -10% до 20%.

Относительное отклонение светового потока  $\delta$  определяется по формуле

$$\delta = (\Phi - \Phi_{\text{гост}}) / \Phi \cdot 100\%, \quad (6.9)$$

При невозможности выбора источника, удовлетворяющего допустимому отклонению, корректируется число светильников или высота их подвеса.

### **Описание лабораторной установки.**

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

Внешний вид макета представлен на рис.14. Макет имеет каркас 1 из алюминиевого профиля переднюю стену 5. Задняя и боковые стенки являются съемными и могут устанавливаться любой из двух сторон внутрь макета помещения, фиксируясь в проемах каркаса с помощью магнитных защелок. Одна сторона стенок окрашена в светлые тона, другая - в темные тона, при этом нижняя окрашенная половина стенки темнее верхней.

Передняя стенка 5 жестко вмонтирована в каркас и выполнена из тонированного прозрачного стекла,

В передней нижней части каркаса 1 предусмотрено окно для установки измерительной головки 6 люксметра-пульсметра 7 внутрь каркаса.

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

На потолке 3 размещены 7 патронов, в которых установлены две лампы накаливания 9, три люминесцентные лампы 10 типа КЛ9, галогенная лампа 11 и люминесцентная лампа 12 типа СКЛЭН с высокочастотным преобразователем. Вертикальная проекция ламп отмечена на полу 2 цифрами, соответствующими номерам ламп на лицевой панели макета.

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

На передней панели каркаса (рис.15) расположены органы управления и контроля, в том числе:

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

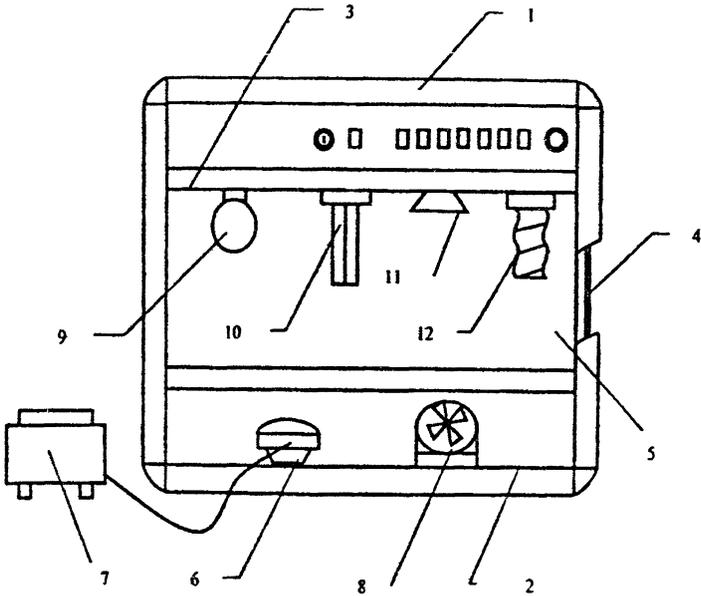


Рис. 14. Внешний вид лабораторной установки.

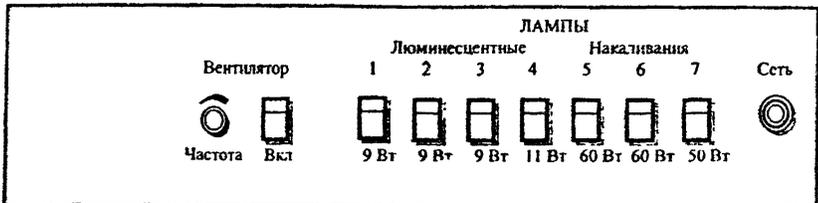


Рис. 15. Передняя панель каркаса.

Электропитание ламп накаливания и люминесцентных ламп осуществляется от разных фаз. Схема позволяет включать отдельно каждую лампу с помощью соответствующих переключателей, расположенных на передней панели каркаса (рис.15). На задней панели каркаса расположен автомат

защиты сети и сдвоенная розетка с напряжением 220 Вт для подключения измерительных приборов.

Люксметр-пульсаметр содержит корпус 1 (рис. 16) на лицевой панели которого расположен стрелочный индикатор 2, переключатель 3 режима измерения (освещенность Е - коэффициент пульсации  $K_p$ ), переключатель 4 диапазона измерения (100-30) и переключатель 5 включения напряжения сети со встроенным индикатором. На задней стенке корпуса 1 закреплен сетевой шнур 6 с вилкой и держатель 7 предохранителя. В качестве приемника светового потока используется измерительная головка 8 с насадками 9. При выключенном питании прибор работает как люксметр (Ю-116) и позволяет измерять освещенность в диапазоне от 5 до 100000 лк. Выбор диапазона определяется насадками. В положении 100 переключателя 4 диапазона измерения с насадками К и М измеряется освещенности до 1000 лк, с насадками К и Р - до 10000 лк и с насадками К и Т - до 100000 лк. В положении 30 переключателя диапазона измерения с этими же насадками измеряется освещенность до 300 лк, 3000 лк и 30000 лк, соответственно.

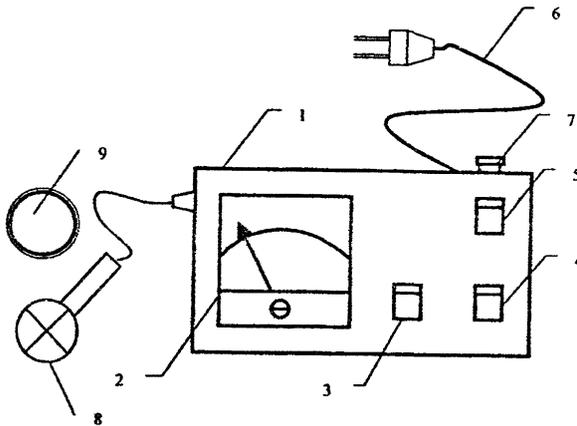


Рис.16. Общий вид люксметра.

При включении питания прибор позволяет измерять коэффициент пульсации освещенности в диапазоне от 0 до 30 % или от 0 до 100 % в зависимости от положения переключателя диапазона измерения. Следует обратить внимание на то, чтобы измерение коэффициента пульсации производилось при тех же насадках, что и измерение освещенности.

### Требования безопасности при выполнении лабораторной работы.

1. К работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством лабораторной установки, принципом действия и мерами безопасности при проведении лабораторной работы.
2. Для предотвращения перегрева установки при длительной работе ламп необходимо включить вентилятор.
3. После проведения лабораторной работы отключить электропитание стенда и люксметра-пульсометра.

### Порядок проведения лабораторной работы.

1. Установить стенки макета производственного помещения таким образом, чтобы стороны, окрашенные в темные тона были обращены внутрь помещения.
2. Включить установку с помощью автомата защиты, находящимся на задней панели каркаса.
3. Включить лампы (выбор ламп производится по заданию преподавателя).
4. Произвести измерение освещенности с помощью люксметра-пульсометра не менее чем в пяти точках макета производственного помещения (в центре и углах пола), определить среднее значение освещенности  $E_{\text{ср}}$ .
5. Установить стенки макета производственного помещения таким образом, чтобы стороны, окрашенные в светлые тона были обращены внутрь помещения.
6. Произвести измерение освещенности не менее чем в пяти точках макета производственного помещения, определить среднее значение освещенности.
7. Сравнить полученные в результате измерений по п.п. 4 и 6 значения освещенности с допустимыми значениями освещенности, приведенными в таблице 1 (разряд зрительных работ принять по указанию преподавателя).

8. По результатам измерений освещенности для варианта с темной и светлой окраской стен вычислить значение фактического светового потока  $F_{\text{факт}}$  по формуле

$$F_{\text{факт}} = E_{\text{ср}} \cdot S, \quad (6.10)$$

где  $E_{\text{ср}}$  - среднее значение освещенности;  $S$  - площадь макета помещения,  $\text{м}^2$ .

9. Вычислить коэффициент использования осветительной установки  $\eta$  для варианта с темной и светлой окраской стен по формуле

$$F_{\text{факт}} = E_{\text{ср}} \cdot S, \quad (6.11)$$

где  $S$  - площадь помещения,  $\text{м}^2$ .

Суммарный световой поток  $F_{\text{ламп}}$  выбрать по номинальной мощности для каждого типа ламп по таблице 4.



Продолжение табл. 3

Средней точности	Свыше 0,5 до 1,0	IY	a	малый	темный	750	300
			б	малый средний	средний темный	500	200
			в	малый средний большой	светлый средний темный	400	200
			г	средний большой большой	светлый светлый средний	300	150
Малой точности	Свыше 1,0 до 5,0	Y	a	малый	темный	750	300
			б	малый средний	средний темный	500	200
			в	малый	светлый	400	200
				средний большой	средний темный		
			г	средний большой	светлый светлый	300	150
				большой	средний		

Таблица 4

Технические характеристики источников света

Тип ламп	Номинальная мощность, Вт	Номинальный световой поток, лм.
Лампа накаливания	60	730
Лампа накаливания криптоновая	60	800
Лампа люминесцентная КЛ 9	9	600 (465)
Лампа люминесцентная СКЛЭН	11	700
Лампа галогенная	50	850

10. Повторить измерения для другого типа ламп.

11. Сравнить значения коэффициентов использования осветительных установок, полученные для случаев с использованием различных источников света и различной окраской стен.

12. С помощью люксметра-пульсометра измерить коэффициент пульсации освещенности при включении одной лампы накаливания, а затем при включении одной люминесцентной лампы типа КЛ9. Сравнить полученные значения.

13. Измерить и сравнить между собой коэффициенты пульсации освещенности при включении одной люминесцентной лампы, затем - двух и наконец, при включении трех люминесцентных ламп типа КЛ9. (Следует учесть, что люминесцентные лампы включены в три различные фазы трехфазной сети, поэтому измерительную головку люксметра-пульсометра необходимо располагать в геометрическом центре системы включенных ламп).

14. Включить люминесцентную лампу типа КЛ9 в центре установки и вентилятор. Вращая ручку «Частота», регулирующую скорость вращения лопастей вентилятора, подобрать такую частоту, при которой возникает стробоскопический эффект (лопасти кажутся неподвижными).

15. Произвести расчет искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока. (Вариант задания указывается преподавателем)(см.табл.5).

15.1. Вычислить площадь помещения  $S$ .

15.2. Определить индекс помещения  $i$  по формуле (6.8).

15.3. Найти значение коэффициента использования  $\eta$  светового потока. (см. табл. 6).

15.4. Выбрать значение освещенности  $E$ , требуемое для указанного помещения (см. табл. 7).

15.5. Провести расчет светового потока  $\Phi$  по формуле (6.7).

15.6. Подобрать мощность ламп по полученному световому потоку  $\Phi$ . (см. табл. 8).

15.7. Определить величину относительного отклонения  $\delta$  по формуле (6.9). Установить, удовлетворяет ли выбранный источник света допустимым отклонениям (от -10 % до 20%).

16. Выключить стенд. Составить отчет о работе.

Таблица 5

Исходные данные для расчета искусственного освещения

Исходные данные	Варианты		
	I	II	III
	Назначение помещения		
	Конструкторское бюро	Машинный зал ВЦ	Фотометрическая лаборатория
Длина помеще- ния $A$ , м	12	15	8
Ширина помеще- ния $B$ , м	9.5	10	6
Высота под- веса $h$ , м	3	3	2.3
Тип светиль- ников	ЛСП 01	ЛОУ П	ЛСП02
Количество светильников $N$ , шт.	10	15	12
Количество ламп в све- тильнике $n$ , шт.	2	2	2
Коэффициент отражения потолка, $\rho_n$ , %	70	80	50
Коэффициент отражения стен $\rho_{ст}$ , %	50	30	50
Коэффициент отражения расчетной поверхности $\rho_{рп}$ , %	10	10	10
Коэффициент запаса, $K_3$	1.3	1.4	1.3

Таблица 6

Значения коэффициента использования светового потока

	Тип светильника														
	ЛСП 01					ЛОУ III					ЛСП 02				
$\rho_{пг}, \%$	70	70	50	50	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0
$\rho_{пг}, \%$	50	50	50	30	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_{пг}, \%$	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
$i$	Коэффициент использования $\eta, \%$														
0.5	28	26	25	22	19	28	26	19	17	14	28	27	21	18	16
0.6	32	30	30	26	23	31	29	23	20	18	33	32	23	22	20
0.7	36	34	34	30	26	36	34	28	24	22	38	36	30	26	24
0.8	39	36	36	32	29	39	37	30	26	24	42	39	33	29	28
0.9	42	39	38	35	31	43	40	34	29	27	46	42	37	32	31
1.0	44	41	40	37	33	46	42	36	32	30	49	45	40	35	34
1.1	46	42	42	39	35	48	44	38	34	31	52	48	42	38	36
1.25	48	44	43	41	37	51	47	41	36	34	55	50	45	40	39
1.5	51	47	46	44	40	55	50	45	40	37	60	54	49	45	44
1.75	54	49	48	46	42	58	53	48	42	40	63	57	52	48	47
2.0	55	50	49	47	44	60	55	49	44	41	65	59	55	51	49

Таблица 7

Нормы освещенности помещений в зданиях научно-исследовательских учреждений (выдержка из СНиП 23-05-95)

Помещения	Освещенность рабочих поверхностей, лк
1. Конструкторские, чертежные бюро	500
2. Вычислительный центр: помещение подготовки и обработки информации, машинный зал;	400
помещения для программистов;	300
3. Аналитические лаборатории	400
4. Лаборатории: термические, физические, спектрографические, фотометрические, микроскопические и электронных устройств.	300

Таблица 8

## Технические данные люминисцентных ламп

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм (после 100ч горения)	Длина лампы, мм
ЛДЦ 20-4 ЛД 20-4 ЛХБ 20-4 ЛТБ 20-4 ЛБ 20-4	20	780 870 890 925 1120	604.0
ЛДЦ 30-4 ЛД 30-4 ЛХБ 30-4 ЛТБ 30-4 ЛБ30-4	30	1375 1560 1605 1635 1995	908.8
ЛДЦ 40-4 ЛД 40-4 ЛХБ 40-4 ЛТБ 40-4 ЛБ 40-4 ЛХБЦ 40-1	40	1995 2225 2470 2450 2850 2000	1213.6
ЛДЦ 65-4 ЛД 65-4 ЛХБ 65-4 ЛТБ 65-4 ЛБ 65-4	65	2900 3390 3630 3780 4325	1514.2
ЛДЦ 80-4 ЛД 80-4 ЛХБ 80-4 ЛТБ 80-4 ЛБ 80-4	80	3380 3865 4220 4300 4960	1514.2
ЛХБ 150	150	8000	1514.2

## Лабораторная работа №7

### Защита от сверхвысокочастотного излучения

Цель работы - ознакомить студентов с характеристиками электромагнитного излучения, нормативными требованиями к электромагнитному излучению, провести измерения электромагнитного излучения СВЧ диапазона в зависимости от расстояния до источника и оценить эффективность защиты от СВЧ излучения с помощью экранов.

#### Содержание работы

1. Проведение эксперимента по определению зоны максимальной интенсивности внешнего излучения печи СВЧ.
2. Экспериментальное определение эффективности защитных экранов.
3. Расчет толщины сплошного металлического защитного экрана.

#### Общие теоретические сведения

Электромагнитные поля (ЭМП) генерируются точками, изменяющимися во времени. Спектр электромагнитных (ЭМ) колебаний находится в широких пределах по длине волны  $\lambda$ : от 1000 км до 0,001 мкм и менее, а по частоте  $f$  от  $3 \cdot 10^2$  до  $3 \cdot 10^{20}$  Гц, включая радиоволны, оптические и ионизирующие излучения. В настоящее время наиболее широкое применение в различных отраслях находит ЭМ энергия неионизирующей части спектра. Это касается, прежде всего, ЭМ полей радиочастот. Они подразделяются по длине волны на ряд диапазонов (табл. 9).

Таблица 9

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

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

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

Таблица 10  
Допустимые уровни напряженности ЭМП в течение рабочего дня

Диапазон частот, МГц	Предельно допустимая напряженность ЭМП в течение рабочего дня
0,06 – 3	Электрическая составляющая: 50 В/м 20 В/м 10 В/м 0,5 В/м
3 – 30	
30 – 50	
50 – 300	
0,06 – 1,5	Магнитная составляющая: 5,0 А/м 0,3 А/м
30 – 50	

ЭМП характеризуется совокупностью переменных электрических и магнитных составляющих. Предельно допустимые уровни (ПДУ) по электрической составляющей, согласно ГОСТ, не должны превышать 20 В/м, а по магнитной составляющей – 5 А/м. Различные диапазоны радиоволн объединяет общая физическая природа, но они существенно различаются по заключенной в них энергии, характеру распространения, поглощения, отражения, а в следствии этого, - по действию на среду, в т.ч. и на человека. Чем короче длина волны и больше частота колебаний, тем больше энергии несет в себе квант ЭМ излучения. Связь между энергией  $Y$  и частотой  $f$  колебаний определяется как

$$Y = h \cdot f \quad m \quad (7.1)$$

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

$$Y = hc/\lambda, \quad (7.2)$$

где:  $c$  – скорость распространения электромагнитных волн в воздухе ( $c=3 \cdot 10^8$  м/с),  $h$  – постоянная Планка, равная  $6,6 \cdot 10^{-34}$  Вт/см<sup>2</sup>.

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

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

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

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

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

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

организма, а также от площади облучаемой поверхности и анатомического строения органа или ткани.

Степень поглощения энергии тканями зависит от их способности к ее отражению на границе раздела, определяемой содержанием воды в тканях и другими их особенностями. Колебания дипольных молекул воды и ионов, содержащихся в тканях, приводят к преобразованию электромагнитной энергии внешнего поля в тепловую, что сопровождается повышением температуры тела или локальным избирательным нагревом тканей, органов, клеток, особенно с плохой терморегуляцией (хрусталик глаза, стекловидное тело, семенники и др.). Тепловой эффект зависит от интенсивности облучения. Пороговые интенсивности теплового действия ЭМП на организм животного составляют для диапазона средних частот – 8000 В/м, высоких – 2250 В/м, очень высоких – 150 В/м, дециметровых – 40 мВт/см<sup>2</sup>, сантиметровых – 10 мВт/см<sup>2</sup>, миллиметровых – 1 мВт/см<sup>2</sup>.

ЭМП с меньшей интенсивностью не обладает термическим действием на организм, но вызывает слабовыраженные эффекты аналогичной направленности, что согласно ряду теорий считается специфическим нетепловым действием, т.е. переходом ЭМ энергии в объекте в какую-то форму нетепловой энергии. Нарушение гормонального равновесия при наличии СВЧ-фона на производстве следует рассматривать как противопоказание для профессиональной деятельности, связанной с нервной напряженностью труда и частыми стрессовыми ситуациями.

Постоянные изменения в крови наблюдаются при ППЭ выше 1 мВт/см<sup>2</sup>. это фазовые изменения лейкоцитов, эритроцитов и гемоглобина. Поражение глаз в виде помутнения хрусталика (катаракты) – последствия воздействия ЭМП в условиях производства. При воздействии миллиметровых волн изменения наступают немедленно, но быстро проходят. В то же время при частотах около 35 ГГц возникают устойчивые изменения, являющиеся результатом повреждения эпителия роговицы.

Клинические исследования людей, подвергавшихся производственному воздействию СВЧ-облучения при его интенсивности ниже 10 мВт/см<sup>2</sup>, показали отсутствие каких-либо проявления катаракты.

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

В соответствии с санитарными нормами и правилами при работе с источниками ЭМП СВЧ частот предельно допустимые интенсивности ЭМП на рабочих местах приведены в табл. 11.

Таблица 11

Предельно допустимая интенсивность ЭМП на рабочих местах

В диапазоне СВЧ (300 МГц – 300 ГГц)	Предельно допустимая интенсивность
1. Для работающих при облучении в течение: <ol style="list-style-type: none"> <li>1). всего рабочего дня</li> <li>2). не более 2 ч за рабочий день</li> <li>3) не более 15-20 мин за рабочий день</li> </ol> 2. Для лиц, не связанных профессионально, и для населения	10 мкВт/см <sup>2</sup> 100 мкВт/см <sup>2</sup> 1000 мкВт/см <sup>2</sup>  1 мкВт/см <sup>2</sup>

Защитные меры от действия ЭМП сводятся, в основном, к применению защитного экранирования, дистанционного управления устройствами, излучающими ЭМ волны, применению средств индивидуальной защиты. Защитные экраны делятся на:

- 1) отражающее излучение;
- 2) поглощающие излучение.

К первому типу относятся сплошные металлические экраны, экраны из металлической сетки, из металлизированной ткани. Ко второму типу относятся экраны из радиопоглощающих материалов. К средствам индивидуальной защиты (СИЗ) относятся: спецодежда, выполненная из металлизированной ткани: защитные халаты, фартуки, накидки с капюшоном, перчатки, щетки, а также защитные очки (при интенсивности выше 1 мВт/см<sup>2</sup>), стекла которых покрыты слоем полупроводниковой окиси олова, или сетчатые очки в виде полумасок из медной или латунной сетки.

Эффективность средств защиты оценивается по ослаблению поля в рабочей зоне, выражаемому в логарифмических единицах, дБ

$$L = 10 \lg P/P_0 \geq 10 \lg P/P_n \quad (7.3)$$

где:  $P$  – плотность потока мощности (энергии) в незащищенном рабочем месте, мкВт/см<sup>2</sup>;  $P_0$  – плотность потока мощности (энергии) в защищенном рабочем месте, мкВт/см<sup>2</sup>;  $P_n$  – предельная норма плотности потока мощности, мкВт/см<sup>2</sup>,  $P_n \geq P_0$ .

Ослабление для сплошного металлического экрана определяется из известной формулы:  $P = P_0 e^{-2 \cdot k \cdot r}$

Кратность ослабления  $P/P_0 = e^{-2kr}$  в логарифмических единицах дБ будет

$$L = 10 \lg P/P_0 = 10 \lg e^{2kr}, \quad (7.4)$$

где:  $k = \sqrt{\frac{\omega \mu \gamma}{2}}$  – коэффициент поглощения в материале экрана;  $\omega = 2\pi f$  – угловая частота поля, рад/с;  $\mu$  – магнитная проницаемость экрана, Гн/м;  $\gamma$  – удельная проводимость экрана, Ом<sup>-1</sup>·м;  $r$  – расстояние, пройденное волной в экране, м.

Расчет толщины сплошного экрана проводится по преобразованной формуле (7.4):

$$r = \frac{L}{20k \cdot \lg e} \quad (7.5)$$

Для этого необходимо задаться условием (7.3) и электрофизическими характеристиками экрана  $\mu$  и  $\gamma$ .

Таблица 4

#### Электрофизические свойства некоторых металлов

Металл	Удельная проводимость, Ом <sup>-1</sup> ·м	Магнитная проницаемость, Гн·м
Серебро	6,1 · 10	4 · 10
Медь	5,5 · 10	4 · 10
Алюминий	3,2 · 10	4 · 10
Латунь	1,6 · 10	4 · 10
Олово	0,7 · 10	4 · 10
Сталь	10	4 · 10

#### Описание стенда

Внешний вид стенда представлен на рис.1.

Стенд представляет собой стол, выполненный в виде сварного каркаса со столешницей 1, под которой размещаются сменные экраны 2, используемые для изучения экранирующих свойств различных материалов. На столешнице 1 размещены СВЧ печь 3 (источник излучения) и координатное устройство 4.

Координатное устройство 4 регистрирует перемещение датчика 5 СВЧ поля по осям «X», «Y». Координата «Z» определяется по шкале, нанесенной на измерительную стойку 6, по которой датчик 5 может свободно

перемещаться. Это дает возможность исследовать распределение СВЧ излучения в пространстве со стороны передней панели СВЧ печи (элементы наиболее интенсивного излучения).

Датчик 5 выполнен в виде полуволнового вибратора, рассчитанного на частоту 2,45 ГГц и состоящего из диэлектрического корпуса, вибраторов и СВЧ диода.

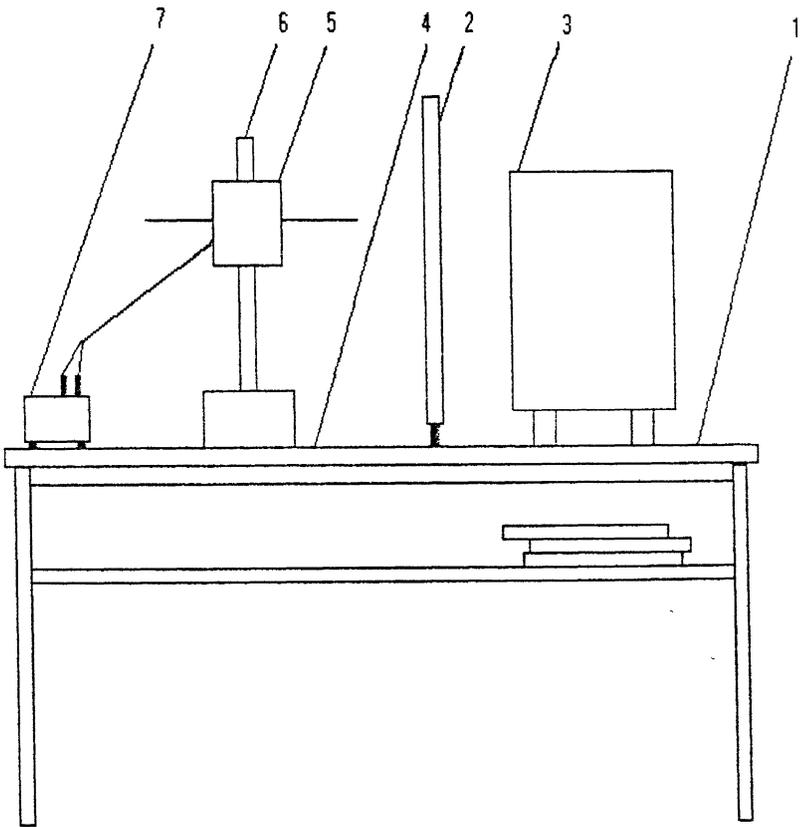


Рис.17. Общий вид лабораторного стенда

Координатное устройство 4 выполнено в виде планшета, на который нанесена координатная сетка. Планшет приклеен непосредственно к столешнице 1. стойка 6 изготовлена из диэлектрического материала (органическое стекло), чтобы исключить искажения распределения СВЧ поля.

В качестве нагрузки в СВЧ печи используется строительный красный кирпич, устанавливаемый на неподвижную подставку, в качестве которой используется неглубокая фаянсовая тарелка, обеспечивающая стабильность измеряемого сигнала. Сигнал с датчика 5 поступает на мультиметр 7, размещенный на свободной части столешницы 1 (за пределами координатной сетки).

На столешнице 1 имеются гнезда для установки сменных защитных экранов 2, выполненных из следующих материалов:

- сетка из оцинкованной стали с ячейками 50 мм;
- сетка из оцинкованной стали с ячейками 10 мм;
- лист алюминиевый;
- полистирол;
- резина.

#### Технические характеристики стенда

Диапазон плотности потока электромагнитного излучения в излучаемой зоне СВЧ печи, мкВт/см <sup>2</sup> :	0...120
Соотношение показаний мультиметра М 3900 и измерителя плотности потока ПЗ-19:	1 мкА=0,35 мкВт/см <sup>2</sup>
Значения перемещений датчика относительно СВЧ печи, мм, не менее:	
по оси "X"	500
по оси "Y"	±250
по оси "Z"	300
Мощность СВЧ печи, Вт, не более	800
Количество сменных защитных экранов	5
Режимы работы СВЧ печи:	
- продолжительность работы, мин, не более	5
- продолжительность перерыва между рабочими циклами, с, не менее	30
- уровень мощности	100%
Частота, ГГц	2,45

### **Требования безопасности при выполнении лабораторной работы**

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

2. Запрещается работать с открытой дверцей СВЧ печи. Запрещается самостоятельно регулировать или ремонтировать дверь, панель управления, выключатели системы блокировки или какие-либо другие части печи. Ремонт должен производиться только специалистами.

3. СВЧ печь должна быть заземлена.

4. Не допускается включение и работа печи без нагрузки. Рекомендуется в перерывах между рабочими циклами оставлять в печи кирпич. При случайном включении печи кирпич будет выполнять роль нагрузки.

### **Порядок проведения лабораторной работы**

1. Ознакомится с мерами по технике безопасности при проведении лабораторной работы и строго выполнять их.

2. Подключить СВЧ печь к сети переменного тока

3. В печь на подставку (перевернутая тарелка) положить кирпич.

4. Установить режим работы печи согласно п.2.6 в соответствии с паспортом на конкретную СВЧ печь.

Для СВЧ печи «Плутон» ее включение в рабочий режим осуществляется в следующей последовательности: открыть дверцу нажатием прямоугольной клавиши в нижней части лицевой панели; установить ручку «мощность» в крайнее правое положение; установить ручку «время» в положение 5 мин; плотно закрыть дверцу.

5. Разместить датчик на отметке 5 по оси X координатной системы. Перемещая датчик по оси Y координатной системы и по оси Z (по стойке), определить зоны наиболее интенсивного излучения и с помощью мультиметра зафиксировать их численное значение. Определить максимальное значение плотности потока мощности  $P_{\max}(X=5, Y, Z)$

Перемещая стойку с датчиком по координате X (удаляя его от печи до предельной отметки 50 см) снять показания мультиметра дискретно с шагом 20мм. Данные размеров занести в табл.5. Построить график распределения интенсивности излучения в пространстве перед печью.

6. Разместить датчик в точке (Y,Z)  $P_{\max}$ .

7. Поочередно устанавливать защитные экраны и фиксировать показания мультиметра.

8. Определить эффективность экранирования для каждого экрана по формуле

$$\delta = \frac{I - I_{\text{э}}}{I} \cdot 100\%, \quad (7.6)$$

где:  $I$  - показание мультиметра без экрана;  $I_s$  - показание мультиметра с экраном.

9. Построить графики распределения интенсивности излучения в пространстве и диаграмму эффективности экранирования от вида материала защитных экранов.

10. Расчет толщины сплошного защитного экрана по формуле (7.5). Исходные данные: плотность потока мощности в незащищенном пространстве  $P_{\max}(X=5, Y, Z)$  мкВт/см<sup>2</sup>; предельная норма потока мощности (интенсивность)  $P_n=10$  мкВт/см<sup>2</sup>; частота ЭМП –  $f=2450$  МГц; материал экрана (задается преподавателям).

11. Составить отчет о работе.

### Литература

1. Захаров С.Г., Каверзнева Т.Т Влияние электромагнитного излучения на жизнедеятельность человека и способы защиты от него. Учебное пособие.. – СПбГТУ, 1992.
2. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
3. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 1992.
4. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Денисенко Г.Ф. Охрана труда. – М.: Высшая школа, 1985.
6. Кельберт Д.Л. Охрана труда в текстильной промышленности. – М.: Легпромбытиздат, 1990.
7. Фильев В.И. Регулирование условий труда на предприятиях РФ. – М.: Интел-Синтез, 1996.
8. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – М.: Стройиздат, 1996.
9. ГОСТ 12.1.006 – 84. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования.
10. Влияние магнитных полей радиочастот на человека. Думанский Ю.Д. и др. – Киев, 1975.



## История кафедры

Лазерные технологии не случайно называют технологиями XXI века. Открытые при нашей жизни лазеры уже сегодня широко проникли в медицину, биологию, экологию, промышленность, строительство, транспорт, связь, шоу–бизнес и другие сферы жизни. Лазерные принтеры, лазерные CD–диски, лазерные торговые сканеры и лазерные шоу сегодня известны всем. Менее известны широкой публике, но не менее важны лазерные технологии при лечении болезней глаз, сосудов, опухолей, в микроэлектронике для нанесения и структурирования тонких пленок, для резки и сварки брони, закалки инструментальных сталей, декоративной обработки дерева, камня и кожи, и т.д., а в ближайшей перспективе — для избавления человечества от очков и морщин (да, да – сотни операций по лазерной полировке роговицы глаза и кожи уже проведены), разработка реакций лазерного управляемого термоядерного синтеза и лазерных реактивных двигателей, создание трехмерных объектов за счет прямой трансформации виртуального (компьютерного) образа в материальный объект при взаимодействии лазерного излучения с веществом и многое, многое другое.

### История кафедры ЛТ и ЭП делится на 3 разных периода:

**Период I** – с момента появления лаборатории лазерной технологии в ЛИТМО в 1965 г. до момента организации кафедры охраны труда и окружающей среды (ОТ и ОС) с отраслевой лабораторией лазерных технологий (ОЛЛТ) в 1982 г.

**Период II** – период развития кафедры ОТ и ОС и ОЛЛТ – 1982–1988 гг.

**Период III** – с момента создания на базе кафедры ОТ и ОС и ОЛЛТ кафедры лазерных технологий – 1988 г.. в дальнейшем преобразованной в кафедру лазерных технологий и экологического приборостроения и по настоящее время.

Охарактеризуем периоды 1, 2 и 3 фактами.

1976 г. – научные работы ОЛЛТ по физическим основам лазерной обработки тонких пленок удостоены Премии Президиума АН СССР за лучшую научную работу в области «Фундаментальных проблем микроэлектроники».

1983, 1984 гг. – работы кафедры удостоены Премий Минвуза СССР за лучшую научную работу.

1986 г. – работы кафедры совместно с рядом других организаций удостоены Государственной Премии СССР.

1988 г. – кафедра ОТОС с лабораторией начинается систематический выпуск специалистов по специальности 07.23 «лазерная техника и лазерные технологии».

1996 г. – кафедра ЛТ переименована в кафедру ЛТ и ЭП и осуществляет выпуск специалистов как лазерным технологиям, так и по специальности «инженер–педагог» со специализацией «экология».

- За период времени с 1988 по 1999 г. кафедра выпустила около 200 специалистов в области лазерных технологий;

- За тот же период времени сотрудниками и аспирантами кафедры защищены 2 докторские и около 20 кандидатских диссертаций;

- По результатам работ кафедры издано 9 монографий;

- Результаты исследований сотрудников кафедры изложены более чем в 500 научных статьях и 50 патентах и авторских свидетельствах;

- В настоящее время кафедра активно сотрудничает с университетами и институтами Германии (BIAS, FHS Emden), Китая (HUST), Франции (ENISE) и др.

В последние годы по приглашению различных зарубежных организаций прочтен ряд курсов лекций по лазерным технологиям. ЛТ по инициативе ректора ЛИТМО преобразована в выпускающую кафедру «Лазерных технологий» и

#### **Основные научные направления кафедры**

- 1). Лазерная обработка пленочных элементов.

- 2). Лазерное локальное осаждение тонких пленок.

- 3). Лазерные технологии прецизионной размерной обработки.

- 4). Создание новых оптических материалов и элементов микро- и нанооптики на базе лазерных технологий.

- 5). Лазерные технологии элементов фотоники и волоконно-оптических устройств.

- 6). Создание теории субдлинноволновых источников излучения и разработки методов изготовления и контроля ближнепольных зондов.

- 7). Лазерное медицинское оборудование и инструмент.

- 8). Фундаментальные исследования в области взаимодействия лазерного излучения с веществом: лазерная абляция и конденсация металлических и композиционных пленок и эффекты самоорганизации.

- 9) Лазерный трехмерный синтез объемных моделей.

- 10) Физико-математическое моделирование в задачах дистанционного лазерного зондирования морской среды.

Заведует кафедрой лазерных технологий и экологического приборостроения Заслуженный деятель науки России. Лауреат Государственной Премии СССР, действительный член Академии Инженерных Наук РФ. д.т.н., профессор В.П. Вейко. Среди преподавателей кафедры Заслуженный деятель науки России, Лауреат Государственной Премии СССР, д.ф.-м.н., Соросовский профессор М.Н. Либенсон, Почетный работник высшей школы, д.т.н., профессор Е.Б. Яковлев, д.т.н., профессор Е.А.Шахно, Почетный работник высшей школы, к.ф.-м.н., доцент Г.Д. Шандыбина, к.ф.-м.н., доцент А.Н. Проценко, к.т.н., доцент В.В.Барановский.

Юрий Владимирович Колосов, Валерий Викторович Барановский,  
Наталья Николаевна Марковкина  
Безопасность жизнедеятельности. Методические указания  
по выполнения лабораторных работ. Часть I. Учебное пособие

В авторской редакции  
Компьютерный набор и верстка

Дизайн обложки  
Редакционно-издательский отдел СПбГУИТМО  
Зав. РИО

Лицензия ИД № 00408 от 05. 11. 99  
Подписано к печати 02. 07. 04  
Отпечатано на ризографе. Заказ № 784  
Тираж 500 экз.

Ю.В. Колосов,  
С.В. Красильщикова  
Ю.В. Колосов

Н.Ф. Гусарова