

## Содержание

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1. Исследование эффективности действия общеобменной механической вентиляции.....	5
Лабораторная работа № 2. Исследование интенсивности теплового излучения и эффективности применения защитных средств.....	8
Лабораторная работа № 3. Исследование эффективности действия защитного заземления.....	13
Лабораторная работа № 4. Исследование эффективности действия зануления.....	18
Лабораторная работа № 5. Исследование электробезопасности трех- фазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В.....	20
Лабораторная работа № 6. Исследование искусственного освещения на рабочем месте.....	28
Лабораторная работа № 8. Определение дозы облучения источником ионизирующего излучения.....	36
Литература.....	42

## **Введение**

Человек находится в постоянном взаимодействии с окружающей его средой обитания, получая из нее все необходимое для своего существования и испытывая на себе воздействие ее непрерывно изменяющихся условий – световых, температурных, магнитных и др.

Среда обитания – окружающая человека естественная и техногенная среда, обусловленная совокупностью множества физических, химических, биологических, социальных факторов, способных оказывать прямое или косвенное, немедленное или отдаленное воздействие на организм человека хотя бы на одном из этапов его развития. Воздействующими факторами среды являются температура и влажность воздуха, его газовый состав, пыль, химические вещества, освещение, шум, вибрация, электромагнитные поля, ионизирующее излучение и многое другое.

Факторы характеризуются количественными и качественными показателями – уровнем, интенсивностью, силой, потенциалом, равномерностью, частотой и т.д. Согласно закону толерантности – любой живой организм имеет пределы устойчивости к любому воздействующему фактору. Организм человека без негативных последствий переносит те или иные воздействия, пока они не превышают пределы его адаптационных возможностей. В свою очередь, факторы среды динамичны во времени и пространстве, и их показатели, особенно на производстве, могут выходить за пределы устойчивости организма человека. В этих случаях, действуя на человека, факторы начинают подавлять жизнедеятельность его организма, т.е. становятся факторами риска заболеваний, расстройств, травм и даже гибели организма.

По последствиям негативного воздействия на человека все неблагоприятные факторы окружающей среды делят на опасные и вредные.

Опасным фактором называют такой фактор, воздействие которого на человека в определенных условиях приводит к его травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья.

Вредным – фактор, воздействие которого на человека в определенных условиях приводит к его заболеванию или снижению работоспособности.

Возможность негативного воздействия на человека факторов окружающей среды, способных нанести ущерб его здоровью, порождает появление феномена опасности. Источниками опасности являются естественные процессы и явления, объекты, техногенная среда и действия людей.

Научная дисциплина Безопасность жизнедеятельности (БЖД) изучает опасности, различного происхождения, методы и средства защиты от них. Лабораторные работы по курсу БЖД позволяют воспроизводить и исследовать воздействующие на человека факторы окружающей среды, научиться измерять необходимые показатели таких факторов, обрабатывать и анализировать результаты измерений, оценивать эффективность действия применяемых средств защиты.

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.

### Краткие теоретические сведения

В соответствии с Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий СН 245-71 все производственные помещения должны быть вентилируемыми.

*Вентиляция* – это организованный воздухообмен, в процессе которого из помещения удаляется загрязненный, влажный, перегретый воздух и в него поступает свежий наружный воздух.

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

*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, возникающего вследствие разности температур воздуха в помещении и наружного воздуха, а также в результате действия ветра. При *механической* – перемещение воздуха осуществляется вентилятором (осевым или центробежным), создающим избыточное давление (разрежение) по сравнению с атмосферным.

В зависимости от назначения механическая 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 или влажного воздуха помещения свежим воздухом до допустимых гигиенических норм во всем объеме помещения. Эту систему вентиляции, как правило, применяют при равномерном расположении по площади производственного помещения источников выделения теплоты, влаги, вредных веществ.

*Местную вентиляцию* устраивают для удаления вредных веществ и избытков тепла непосредственно в месте их образования, чем обеспечивается максимальное улавливание вредных веществ при минимальном расходе воздуха.

В работе исследуется эффективность действия общеобменной механической вентиляции при наличии в помещении (камере, имитирующей производственное помещение) источника тепловыделений, вызывающих повышение температуры воздуха в этом помещении.

Температура воздуха является одним из ведущих факторов метеорологических условий окружающей среды, которые в значительной степени определяют характер процессов теплообмена организма человека с внешней средой и его тепловое состояние.

Организм человека обладает способностью в зависимости от конкретных метеорологических условий и тяжести труда регулировать теплообмен с окружающей средой, обеспечивая необходимое постоянство температуры тела и сохранение нормального теплового состояния.

Регулирование процессов теплообмена осуществляется центральной нервной системой (ЦНС) путем изменения количества вырабатываемого в организме тепла и путем увеличения или уменьшения его передачи в окружающую среду за счет соответствующих реакций одного из основных механизмов приспособления – терморегуляции.

*Терморегуляция* – совокупность физиологических процессов, обеспечивающих постоянство температуры тела человека в допустимых физиологических границах 36,4 – 37,5 °С. Данный диапазон температур внутренних органов человека наиболее благоприятен для протекания в организме биохимических реакций и деятельности мозга.

Однако длительное воздействие высокой температуры воздуха на организм может вызвать нарушение терморегуляции и, как следствие, перегревание организма, которое характеризуется повышением температуры тела, обильным потоотделением, учащением пульса и дыхания, головокружением, а в тяжелых случаях – появлением судорог и возникновением специфического заболевания – теплового удара.

Экспериментальная установка вытяжной вентиляции, предназначенная для обеспечения нормальных метеорологических условий, состоит из центробежного вентилятора, установленного в вытяжном отверстии в стенке камеры, электродвигателя, вал которого непосредственно соединен с валом лопаточного колеса вентилятора, и приточного отверстия.

Организуемый за счет действия вентиляционной установки воздухообмен является процессом конвекции (перемещением среды), в ходе которого удаляемый вентилятором из помещения перегретый воздух восполняется притоком более холодного наружного воздуха.

При эффективно действующей вентиляции температура воздуха в помещении понизится до допустимых гигиенических норм  $T_{доп}$ , установленных ГОСТ 12.1.005 – 88 “Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны”. Величина  $T_{доп}$  для производственных помещений выбирается с учетом периода года и категории работы (см. табл. 1).

Таблица 1

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

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

**П р и м е ч а н и я:**

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

2. Все виды работ по тяжести делятся на три категории: легкие, средней тяжести, тяжелые физические работы. Определение категории работ производится на основе общих энергозатрат организма.

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

**Вопросы к работе**

1. Что такое вентиляция?
2. Решение какой задачи можно обеспечить с помощью вентиляции в рабочей зоне помещения?
3. Что такое рабочая зона помещения?
4. Решение какой задачи должна была обеспечить экспериментальная вентиляционная установка? Эффективно ли ее действие?
5. Какие применяют виды вентиляции, различающиеся по способу перемещения воздуха? Какой вид вентиляции исследовался в работе?
6. Что является побудителем перемещения воздуха при естественной и механической вентиляции?
7. Какие в зависимости от назначения бывают виды механической вентиляции? Какой вид вентиляции исследовался в работе?

8. Какие бывают типы вентиляции, различающиеся по месту действия? В каких случаях их применяют на производстве?
9. По месту действия какой вид вентиляции исследовался в работе? В каком случае на производстве устраивается такая вентиляция?
10. В каком случае наличие в помещении источника тепловыделений может стать вредным фактором окружающей среды?
11. Что собой представляет процесс конвекции, организуемый за счет действия вентиляции?
12. Для эффективной борьбы с избытками теплоты в помещении на сколько градусов температура приточного воздуха должна быть ниже допустимой?
13. От каких факторов зависит величина допустимой температуры воздуха в рабочей зоне?
14. С учетом величины какого фактора определяется период года?
15. Назовите все элементы вентиляционной установки.
16. Как повысить эффективность действия механической вентиляции?

#### Лабораторная работа № 2

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

Цель работы – научиться измерять интенсивность тепловых излучений и оценивать эффективность экранирования источников тепловыделений.

#### **Краткие теоретические сведения**

Между человеком и окружающей средой происходит непрерывный процесс теплообмена. Нормальное протекание физиологических процессов в организме человека возможно лишь тогда, когда образующееся в организме тепло полностью отводится во внешнюю среду, т.е. когда имеет место тепловой баланс.

Образование тепла в организме человека происходит за счет окислительных реакций и сокращения мышц, а также поглощения тепла получаемого извне от оборудования, нагретых веществ, ламп накаливания и др.

Отдача тепла организмом в окружающую среду осуществляется путем *конвекции* в результате нагревания воздуха, омывающего поверхность тела, (в благоприятных метеорологических условиях составляет примерно 30 % всей теплоотдачи), *испарения влаги* (пота) с поверхности кожи (в среднем 20 – 29 %), *теплого излучения* на окружающие предметы, имеющие более низкую чем кожа температуру поверхности (до 60 %).

Организм человека обладает способностью в зависимости от конкретных метеорологических условий и тяжести труда регулировать теплообмен с внешней средой, обеспечивая необходимое постоянство температуры тела и сохранение нормального теплового состояния.

Регулирование теплообмена осуществляется путем изменения количества вырабатываемого в организме тепла и путем увеличения или уменьшения его передачи в окружающую среду за счет соответствующих реакций одного из основных механизмов приспособления – терморегуляции.

*Терморегуляция* – совокупность физиологических процессов, обеспечивающих постоянство температуры тела человека в допустимых физиологических границах 36,4 – 37,5 °С. Данный диапазон температур внутренних органов человека наиболее благоприятен для протекания в организме биохимических реакций и деятельности мозга.

Однако в производственных помещениях предприятий, имеющих мощные источники теплового излучения, интенсивное облучение рабочих может вызвать в их организме затруднение и нарушение терморегуляции, повышение температуры тела и, как следствие, перегревание организма.

Известно, что все нагретые тела излучают в пространство потоки лучистой энергии. Лучистый теплообмен между телами представляет собой процесс распространения внутренней энергии в виде электромагнитных волн в видимой и инфракрасной 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 энергию в поверхностных слоях облучаемого тела. Воздух не поглощает лучистую энергию и поэтому не нагревается.

Инфракрасное излучение (ИК – излучение) имеет большое значение в теплообмене человека с окружающей средой, так как инфракрасные лучи, попадая на незащищенные части тела (лицо, руки, шею, грудь), усиливают тепловое воздействие среды на организм. 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.

Лучи коротковолнового диапазона ИК – излучения (от 0,78 до 1,4 мкм) обладают способностью проникать в ткани 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. При облучении коротковолновыми инфракрасными лучами наблюдается повышение температуры легких, почек, мышц и других органов. В производственных условиях при длительном облучении глаз у работников развивается профессиональное заболевание – *катаракта* (помутнение хрусталика).

В условиях, когда человек в результате интенсивного теплового облучения получает тепла из внешней среды больше, чем способен отдать сам, возможно нарушение терморегуляции, что ведет к перегреву организма и ухудшению теплового состояния. Это состояние характеризуется повышением температуры тела, учащением пульса, обильным потоотделением, потерей с потом нужных организму солей и витаминов.

Стойкое нарушение терморегуляции вследствие значительного перегревания организма может привести к возникновению острого специфического заболевания – *теплового удара*, сопровождающегося расстройством координации движений, головокружением, падением артериального давления, потерей сознания.

В производственных условиях эффект воздействия теплового излучения на организм зависит от множества факторов: интенсивности теплового излучения на рабочем месте, спектра излучения, размера облучаемого участка тела, длительности облучения, одежды.

Интенсивность теплового излучения  $Q$  (Вт/м<sup>2</sup>) на рабочем месте можно рассчитать по формуле:

$$Q = 0,78 F \cdot \frac{\left(\frac{T^\circ}{100}\right)^4 - 110}{l^2}, \quad (1)$$

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

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

$l$  – расстояние от излучающей поверхности до работающего, м.

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

Для оценки действия теплового излучения на организм человека принята величина, названная *интенсивностью теплового облучения*, Вт/м<sup>2</sup>.

В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» допустимая величина интенсивности теплового облучения работающих устанавливается в зависимости от площади облучаемой поверхности тела.

Так интенсивность теплового облучения от нагретых поверхностей технологического оборудования, светильников, 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 тепловыделений (нагретый 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 производственных условиях не всегда возможно выполнить нормативные требования. Для улучшения условий труда и защиты работающих от возможного перегревания применяют следующие способы: теплоизоляцию нагретых поверхностей; экранирование источников излучения; устройство водяных и воздушных завес; воздушное душирование; рациональный питьевой режим, использование спецодежды и средств индивидуальной защиты; оборудование комнат или кабин для кратковременного отдыха.

Теплоизоляция снижает температуру излучающих поверхностей и является эффективным мероприятием не только для уменьшения интенсивности теплового излучения от нагретых поверхностей, но также для предотвращения ожогов при прикосновении к этим поверхностям. Согласно требованиям ГОСТ 12.1.005 – 88 температура наружных поверхностей технологического оборудования и ограждающих устройств не должна превышать 45 °С.

Для теплоизоляции нагретых поверхностей применяют разнообразные материалы с малым коэффициентом теплопроводности, способные выдерживать высокую температуру: огнеупорные бетон, кирпич и мастику, минеральную и стеклянную вату, асбест, войлок.

Наиболее распространенным способом защиты от теплового излучения является экранирование источников излучения или рабочих мест.

По принципу действия экраны подразделяются на теплоотражающие, теплопоглощающие и теплоотводящие. 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 используют альфоль (алюминиевая фольга), листовую 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 используются водяные завесы, свободно падающие в виде пленки или орошающие другую экранирующую поверхность, либо заключенные в специальный кожух из стекла или металла змеевики с принудительно циркулирующей в них холодной водой.

В зависимости от возможности наблюдения за технологическим процессом и работой оборудования различают экраны трех типов: непрозрачные, прозрачные и полупрозрачные.

К *непрозрачным экранам* относятся металлические (жесть, алюминий), альфолевые, футерованные (пенобетон, пеностекло, керамзит, пемза), асбестовые, брезентовые и др.

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.

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

$$n = \frac{Q - Q_3}{Q} \cdot 100, \quad (2)$$

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>.

*Воздушное душирование* применяют в цехах на рабочих местах, находящихся под воздействием теплового излучения большой интенсивности – 350 Вт/м<sup>2</sup> и более. Поток воздуха, направленный на рабочего, позволяет увеличить отвод тепла от организма конвекцией. Эффективность воздушных душей возрастает при охлаждении подаваемого на рабочее место воздуха или же при подмешивании к нему мелко распыленной воды.

### **Вопросы к работе**

1. За счет каких процессов образуется тепло в организме человека? Каким путем организм теряет большую часть тепла?
2. Какими способами происходит отдача тепла организмом человека?
3. От каких параметров зависит величина интенсивности теплового излучения на рабочем месте? Указать единицу измерения интенсивности.
4. От какого параметра излучения зависит глубина его проникновения в живую ткань? Воздействие излучения на какие органы наиболее опасно?
5. Какой диапазон ИК-излучения при облучении вызывает более тяжелые последствия?
6. Какое специфическое заболевание может вызвать нарушение терморегуляции? Каковы симптомы этого заболевания?
7. Какое профессиональное заболевание может вызвать длительное тепловое облучение? Какой диапазон ИК-излучения при этом наиболее опасен?
8. Через величину какой характеристики оценивается действие теплового излучения на человека? Указать единицу ее измерения.
9. От каких факторов зависит эффект воздействия теплового излучения?
10. В каких случаях будет более тяжелым эффект воздействия теплового излучения?

11. Что такое терморегуляция? Какова функция данного механизма?
12. При тепловом облучении допустимые значения какого параметра и в зависимости от какого фактора устанавливаются ГОСТ 12.1.005 – 88?
13. Какими способами обеспечивается защита работников от перегревания? Какой из способов является наиболее распространенным?
14. Какие из исследуемых экранов являлись теплоотражающими? Из каких других материалов изготавливают такие экраны?
15. Какие из исследуемых экранов являлись теплопоглощающими? Из каких других материалов изготавливают такие экраны?
16. Что используют на производстве в качестве теплоотводящих экранов?

### Лабораторная работа № 3

#### Исследование эффективности действия защитного заземления

Цель работы – исследовать эффективность действия защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных электрических сетей напряжением до 1000 В.

#### Краткие теоретические сведения

*Защитное заземление* – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением (рис. 1).

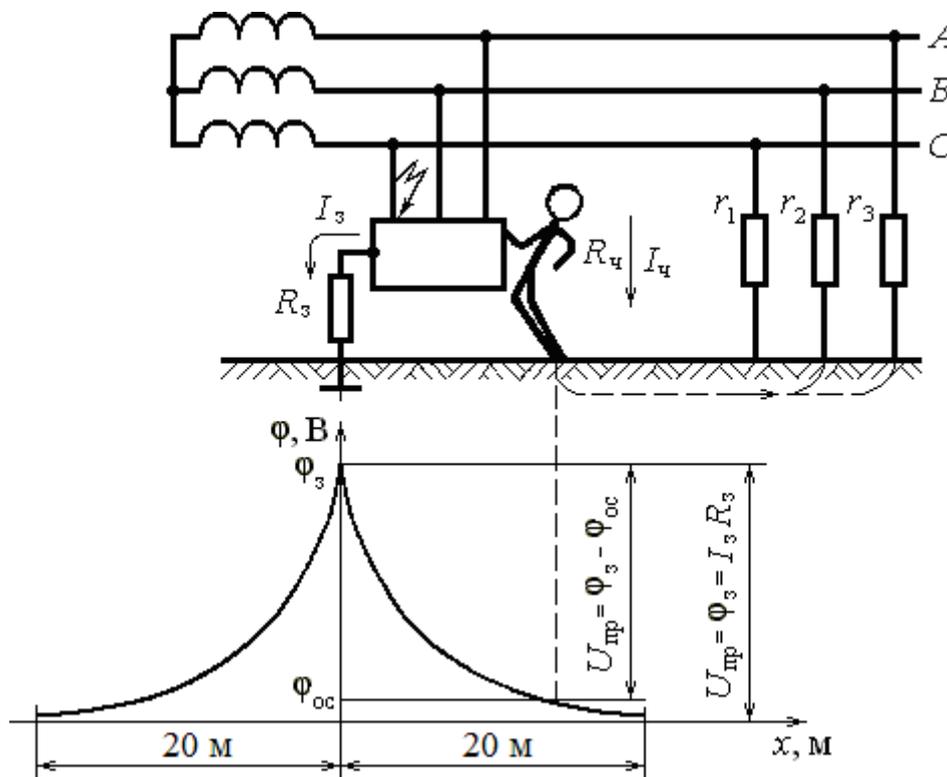


Рис. 1. Схема защитного заземления и распределение потенциала на поверхности земли вокруг одиночного заземлителя

Основная причина появления напряжения на металлических нетоковедущих частях электроустановок (например, корпусе) – повреждение электрической изоляции токоведущих частей установки, находящихся под напряжением, и замыкание их на корпус\*.

Если электроустановка изолирована от земли, то в случае замыкания фазы на корпус, прикосновение к установке будет так же опасно, как и к фазному проводу – человек, стоя на земле или на другом токопроводящем основании, может оказаться под напряжением прикосновения\*\* практически равным фазному напряжению сети – 220 В. В этом случае через тело человека будет проходить ток опасный для жизни

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{пр}} / R_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / R_{\text{ч}} = 220 / 1000 = 0,22 \text{ А} = 220 \text{ мА}, \quad (3)$$

где  $U_{\text{пр}}$  – напряжение прикосновения, В;  $U_{\text{ф}}$  – фазное напряжение, В;  $R_{\text{ч}}$  – сопротивление тела человека, в расчетах принимаемое 1000 Ом.

Защитное заземление является эффективной и широко распространенной мерой защиты от поражения током при случайном появлении напряжения на металлических нетоковедущих частях электроустановок. Благодаря защитному заземлению напряжение прикосновения будет значительно меньше фазного. Рассмотрим принцип действия защитного заземления.

В случае замыкания токоведущей части, например, фазы на корпус незаземленной электроустановки на корпусе появится опасный по величине потенциал  $\phi$ , В. Действие защитного заземления основано на явлениях, возникающих при стекании тока в землю, если токоведущая часть замыкается на корпус заземленной электроустановки, т.е. заземляется.

При стекании тока с корпуса в землю  $I_3$  (см. рис. 1) через малое сопротивление защитного заземления  $R_3$ , которое в электроустановках напряжением до 1000 В не должно превышать 4 Ом, происходит резкое снижение потенциала заземлившейся токоведущей части и, следовательно, корпуса заземленной установки до значения равного

$$\phi_3 = I_3 R_3. \quad (4)$$

В то же время на поверхности грунта вокруг места стекания тока в землю также появится потенциал  $\phi$ , изменяющийся в зависимости от расстояния до точки стекания тока  $x$  от максимального значения  $\phi_3$  до 0 (при  $x \geq 20$  м).

Тогда в случае замыкания фазы на корпус заземленной электроустановки напряжение прикосновения  $U_{\text{пр}}$ , под которым окажется прикоснувшийся к корпусу человек, будет (см. рис. 1)

$$U_{\text{пр}} = \phi_3 - \phi_{\text{ос}}, \quad (5)$$

где  $\phi_3$  – потенциал корпуса заземленной электроустановки, В;  $\phi_{\text{ос}}$  – потенциал основания (площадки) в том месте, где стоит человек, В.

---

\* Замыкание на корпус – случайное электрическое соединение токоведущей части с металлическими нетоковедущими частями электроустановки.

\*\* Напряжение прикосновения – напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек, например, фазный провод и земля.

*Принцип действия* защитного заземления электрооборудования заключается в снижении до безопасных значений напряжения прикосновения  $U_{пр}$ , обусловленного замыканием на корпус. Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования  $\phi_з$  (уменьшением сопротивления защитного заземления  $R_з$ ), а также за счет повышения потенциала основания  $\phi_{ос}$  в месте, где стоит человек, до значения близкого к потенциалу заземленного оборудования.

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

Согласно Правил устройства электроустановок (ПУЭ) защитное заземление 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 электроустановок используют заземляющее устройство, основные конструктивные элементы которого представлены на рис. 2.

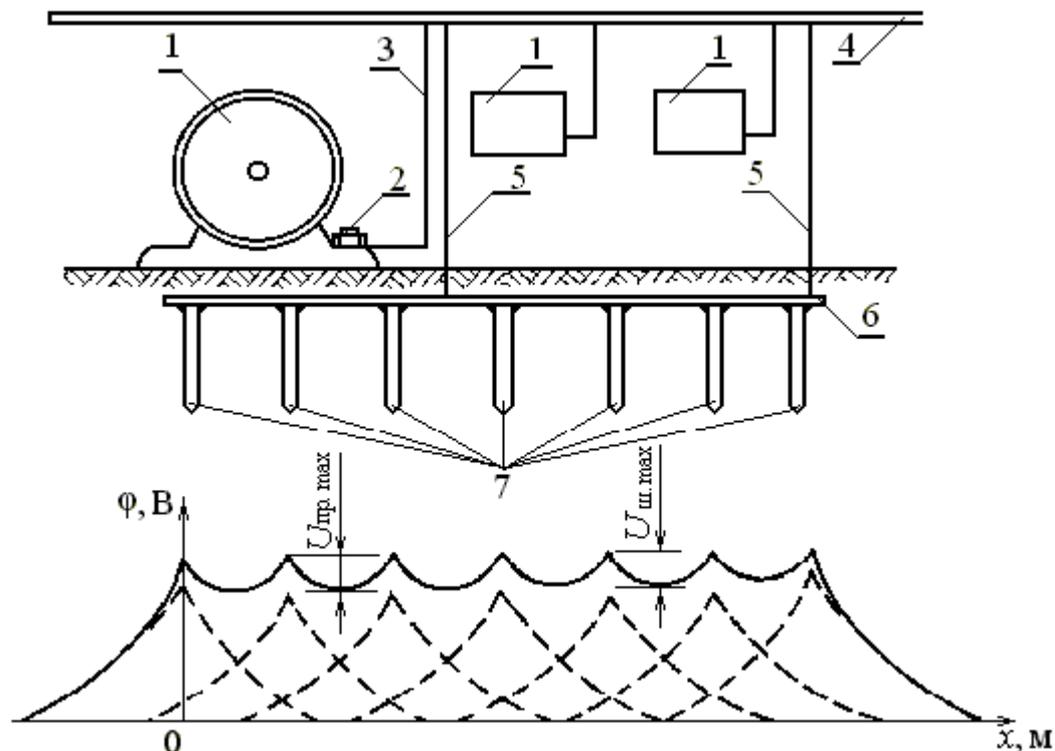


Рис. 2. Заземляющее (контурное) устройство и распределение потенциала на поверхности земли при групповом заземлителе: 1 – электроустановка; 2 – заземляющий болт; 3 – заземляющий проводник; 4 – магистраль заземления; 5 – соединительный проводник; 6 – полоса; 7 – электроды группового заземлителя

*Заземляющим устройством* называется совокупность *заземлителя* – металлических проводников – электродов 7, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, соединенных между собой полосой 6, и *заземляющих проводников* 3, соединяющих заземляемые части электроустановки 1 с заземлителем.

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

В *выносном заземляющем устройстве* заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой находится заземляемое оборудование, т. е. размещается вне здания.

Поскольку оборудование располагается за пределами зоны растекания тока – на расстоянии более 20 м от выносного заземлителя, то в случае замыкания на корпус человек, прикоснувшись к заземленному оборудованию, попадает под максимальное напряжение прикосновения (см. рис. 2)

$$U_{\text{пр}} = \varphi_3 = I_3 R_3. \quad (6)$$

Поэтому выносное заземляющее устройство применяется только при малых токах замыкания на землю  $I_3$ , когда напряжение прикосновения не превышает допустимых значений, установленных ГОСТ 12.1.038 – 82 (табл. 2).

Таблица 2

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

Нормируемая величина	Предельно допустимые уровни (не более) 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	Св. 1,0
$U$ , В	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	36
$I$ , А												6

В *контурном заземляющем устройстве* (см. рис. 2) применяют групповой заземлитель, состоящий из нескольких параллельно включенных одиночных заземлителей (электродов) 7, который обеспечивает наименьшее сопротивление защитного заземления.

При выполнении контурного заземляющего устройства вертикальные электроды группового заземлителя, соединенные между собой стальными горизонтальными полосами 6 сваркой, размещают по периметру (контур) площадки, на которой находится заземляемое оборудование, или электроды распределяют по всей защищаемой площадке по возможности равномерно.

В случае замыкания на корпус электроустановки стекание тока в землю со всех электродов заземлителя происходит одновременно (см. рис. 2). На графике распределения потенциалов на поверхности защищаемой площад-

ки, полученного сложением потенциальных кривых от каждого электрода в отдельности, видно, что при групповом заземлителе в зоне растекания тока наблюдается повышение и выравнивание потенциалов на поверхности площадки. В результате снижается напряжение прикосновения и, следовательно, повышается безопасность работающих на защищаемой площадке людей.

При размещении электродов на расстоянии не более 8 – 10 м друг от друга максимальные значения напряжения прикосновения в этом случае не превысят допустимых уровней.

На предприятиях при выполнении защитного заземления в заземляющих устройствах используют естественные заземлители и искусственные.

В качестве *естественных заземлителей* можно использовать: различные металлоконструкции зданий, имеющие соединение с землей; арматуру железобетонных конструкций; свинцовые оболочки проложенных в земле 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.

В соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок контроль сопротивления защитного заземления проводят перед вводом заземления в эксплуатацию и периодически, но не реже одного раза в год.

### **Вопросы к работе**

1. Что такое защитное заземление? Какова область его применения?
2. Что такое замыкание на корпус электроустановки? Какова основная причина замыкания на корпус?
3. В каком случае и насколько может стать опасным прикосновение человека к корпусу изолированной от земли электроустановки?
4. Каков принцип действия защитного заземления?
5. Каким способом при замыкании на корпус можно уменьшить потенциал заземленного оборудования?
6. При замыкании фазы на корпус заземленной установки от чего зависит величина напряжения прикосновения?
7. Повысится ли безопасность при увеличении сопротивления защитного заземления?
8. При какой минимальной величине напряжения переменного тока во всех случаях следует выполнять защитное заземление?
9. Что собой представляет заземляющее устройство? Какие различают типы заземляющих устройств?

10. Что собой представляет групповой заземлитель? Каковы его преимущества перед одиночным?

11. Каковы достоинства контурного заземляющего устройства? На каком расстоянии друг от друга следует располагать в нем электроды?

12. Что разрешается использовать на предприятиях в качестве естественных заземлителей?

13. Что используют в качестве электродов искусственных заземлителей?

14. Какой величины должно быть сопротивление защитного заземления установок напряжением до 1000 В? Как часто оно должно контролироваться?

15. От величины какого параметра защитного заземления зависит эффективность его действия? Как часто этот параметр должен контролироваться?

16. Как изменится напряжение прикосновения с увеличением расстояния между человеком и заземлителем?

#### Лабораторная работа № 4

### Исследование эффективности действия зануления

Цель работы – исследовать эффективность действия зануления в трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью.

#### Краткие теоретические сведения.

*Зануление* – это преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником корпуса и других металлических нетоковедущих частей электроустановки, которые могут оказаться под напряжением (рис. 3).

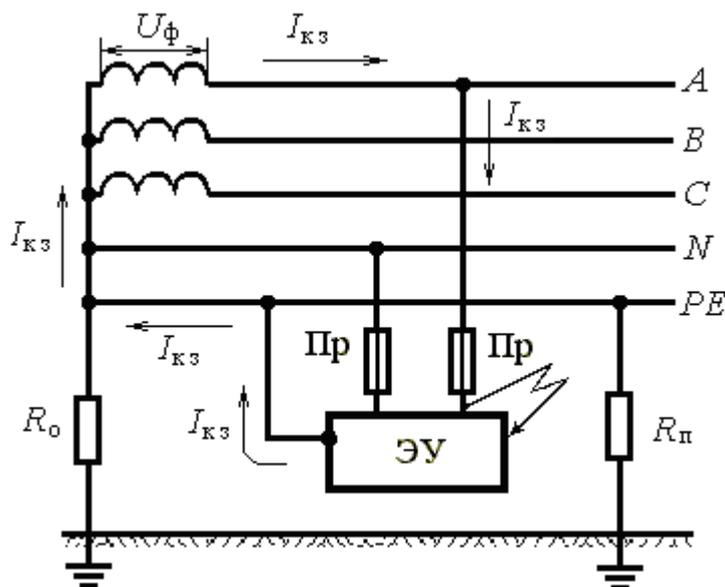


Рис. 3. Принципиальная схема зануления

*Нулевым защитным проводником PE* называется проводник, соединяющий зануляемые части, например, корпус электроустановки с глухозаземленной нейтралью сети.

*Глухозаземленной нейтралью* называется нейтральная точка обмотки источника тока (трехфазного генератора или трансформатора), присоединенная к заземлителю 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 в случае прикосновения к металлическим нетоковедущим частям электроустановок, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус.

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

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

Если электроустановка изолирована от земли, то в случае замыкания фазы на корпус, прикосновение к электроустановке будет так же опасно, как и к фазному проводу – человек может оказаться под напряжением прикосновения  $U_{пр}$  практически равным фазному напряжению сети – 220 В.

Область применения зануления – трехфазные четырехпроводные сети с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

*Принцип действия* зануления – превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание между фазой и нулевым защитным проводником, в результате чего срабатывает максимальная токовая защита – плавкие предохранители или автоматические выключатели, и обеспечивается автоматическое отключение поврежденной установки от питающей сети.

*Назначение* нулевого защитного проводника – создание электрической цепи с малым сопротивлением, чтобы ток короткого замыкания  $I_{кз}$  был достаточно большим для быстрого срабатывания защиты. Согласно указаниям Правил устройства электроустановок (ПУЭ) ток короткого замыкания 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.

Для уменьшения опасности поражения током, возникающей в случае обрыва нулевого защитного проводника  $PE$  и замыкании фазы на корпус установки за местом обрыва (рис. 4), нулевой защитный проводник должен иметь повторное заземление  $R_n$ .

При случайном обрыве нулевого защитного проводника и замыкании фазы на корпус установки за местом обрыва отсутствие повторного заземления приведет к тому, что корпуса всех установок за местом обрыва окажутся под напряжением относительно земли равным фазному напряжению сети  $U_{ф}$ . Это напряжение, опасное для человека, будет существовать длительное

время, поскольку поврежденная установка автоматически не отключится и ее будет трудно обнаружить среди исправных, чтобы отключить вручную.

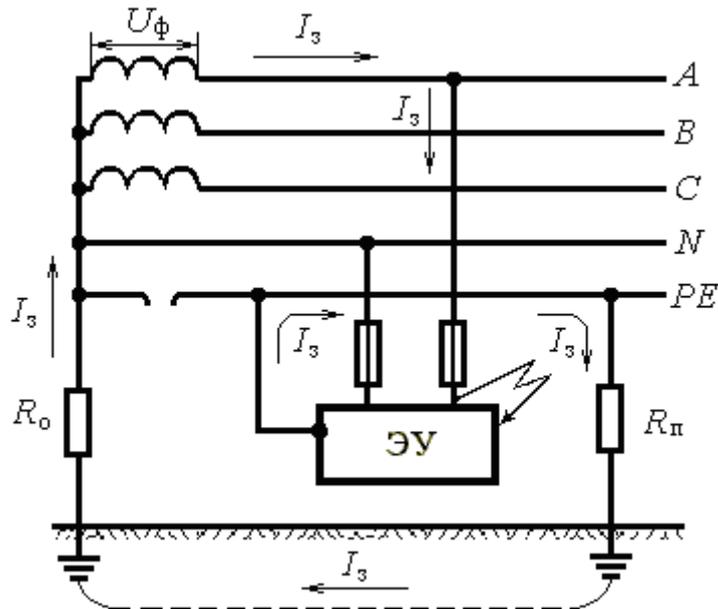


Рис. 4. Случай замыкания фазы на корпус при обрыве нулевого защитного проводника в сети с его повторным заземлением

Если же нулевой защитный проводник будет повторно заземлен, то при его обрыве сохранится цепь тока через землю, в результате чего напряжение зануленных корпусов электроустановок, находящихся за местом обрыва, снизится приблизительно до  $0,5 U_{\phi}$ . Следовательно, повторное заземление значительно уменьшает опасность поражения током при обрыве 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 запрещается ставить предохранители, рубильники и другие приборы, которые могут нарушить его целостность.

### Вопросы к работе

1. Что такое зануление? В каких электрических сетях оно применяется?
2. Что называется нулевым защитным проводником? Чем нулевой провод отличается от нулевого защитного проводника?
3. Каково назначение нулевого защитного проводника?
4. В каком случае зануление устраняет опасность поражения током?
5. Что такое замыкание на корпус электроустановки? Какова основная причина замыкания на корпус?
6. В случае замыкания на корпус и отсутствия зануления под каким напряжением может оказаться человек, прикоснувшись к корпусу?
7. Каков принцип действия зануления? Какое из устройств максимальной токовой защиты обеспечивает большую безопасность?

8. Какие устройства используются в качестве максимальной токовой защиты? Каково время срабатывания каждого из устройств?

9. От какого параметра нулевого защитного проводника зависит эффективность действия зануления?

10. Каков будет путь тока в случае замыкания на корпус зануленной электроустановки?

11. Какой фактор определяет скорость срабатывания защиты? Какой величины этот фактор должен быть согласно требованиям ПУЭ?

12. С учетом результатов проведенных исследований назовите факторы, от которых зависит эффективность действия зануления.

13. С какой целью нулевой защитный проводник должен иметь повторное заземление?

14. За счет чего уменьшается опасность поражения током при обрыве нулевого защитного проводника, имеющего повторное заземление?

15. В случае обрыва нулевого защитного проводника, имеющего повторное заземление, при замыкании на корпус каков будет путь тока? Почему не срабатывает токовая защита?

16. Почему в нулевом защитном проводнике запрещается устанавливать предохранители, выключатели, рубильники?

#### 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.

#### **Краткие теоретические сведения**

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

Опасность поражения током 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 уже через 1 – 2 с может вызвать фибрилляцию сердца – хаотические разновременные сокращения волокон сердечной мышцы

(фибрилл). В результате сердце перестает нормально сокращаться, и кровообращение в организме прекращается, что может стать причиной смерти.

В случае включения человека в электрическую цепь величина тока, проходящего через его тело, зависит от ряда факторов: схемы включения человека в цепь, схемы сети, режима ее нейтрали, напряжения сети, степени изоляции токоведущих частей сети – фазных проводов (фаз) от земли, величины емкости фаз относительно земли и других факторов.

Для питания электроустановок напряжением до 1000 В применяют две схемы трехфазных электрических сетей: трехпроводную с изолированной нейтралью и четырехпроводную с глухозаземленной нейтралью (рис. 5).

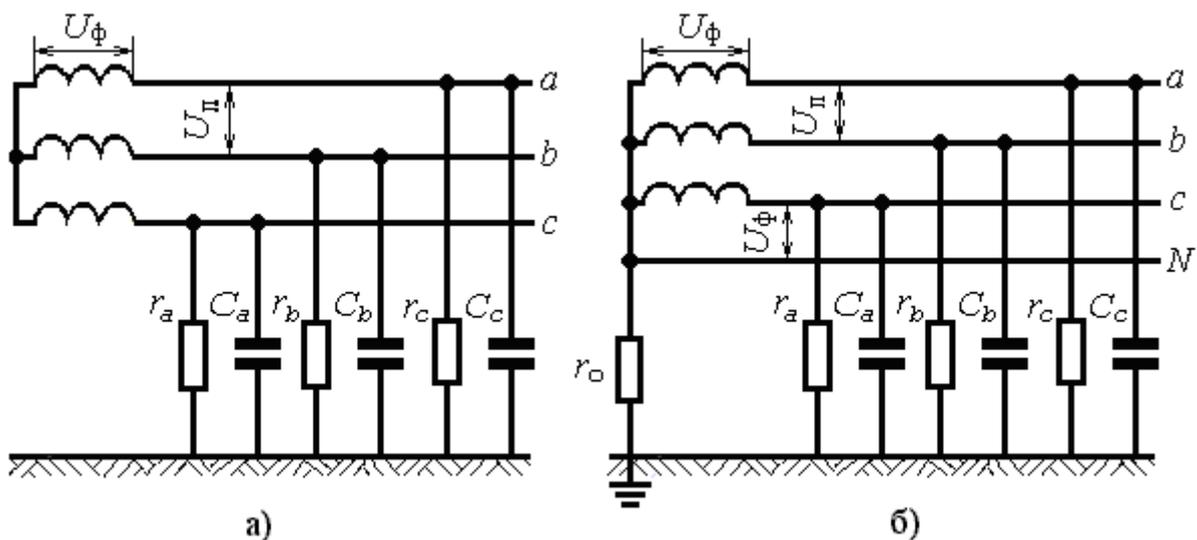


Рис. 5. Схемы трехфазной сети: а – трехпроводной с изолированной нейтралью; б – четырехпроводной с глухозаземленной нейтралью

*Нейтралью* называется нейтральная точка обмотки источника тока, например, генератора или трехфазного трансформатора \*. Обмотка многофазного источника энергии в этом случае должна быть соединена в симметричную схему «звезда».

*Изолированной нейтралью* называется нейтральная точка обмотки источника тока (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 нейтральная точка обмотки источника тока (генератора или трансформатора), присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление  $r_0$ .

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

При эксплуатации трехфазных сетей наиболее характерными схемами включения человека в цепь 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  $r_0$  или несовершенную изоляцию проводов сети относительно земли.

Двухфазное включение более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее в данной сети напряжение – линейное  $U_{л}$ , а ток, проходящий через тело человека  $I_{ч}$ , оказываясь независимым от режима нейтрали, сопротивления обуви и пола, также имеет наибольшее значение:

$$I_{ч} = U_{л} / R_{ч}, \quad (7)$$

где  $U_{л}$  – линейное напряжение – напряжение между фазными проводами (см. рис. 5), равное  $\sqrt{3} U_{ф}$ , В;  $U_{ф}$  – фазное напряжение – напряжение между началом и концом одной обмотки источника тока или между фазным и нулевым проводом  $N$ , В;  $R_{ч}$  – сопротивление тела человека, Ом.

Однофазное включение при прикосновении к одной из фаз сети происходит значительно чаще, но оно менее опасно, чем двухфазное, поскольку напряжение, под которым оказывается человек, не превышает фазного. Следовательно, меньше будет ток, проходящий через тело человека.

Кроме того, на величину этого тока влияют также: режим нейтрали сети, сопротивление изоляции и емкость фазных проводов относительно земли, сопротивление обуви и пола, на котором стоит человек, и другие факторы.

В трехфазных сетях с глухозаземленной нейтралью потенциал нейтральной точки источника тока близок к потенциалу земли. Поэтому при нормальном режиме работы такой сети в случае прикосновения к одной из фаз (рис. 6) человек попадает под фазное напряжение  $U_{ф}$  и сила тока, проходящего через тело человека и сопротивление заземления нейтрали  $r_0$ , будет

$$I_{ч} = \frac{U_{ф}}{R_{ч} + r_0}. \quad (8)$$

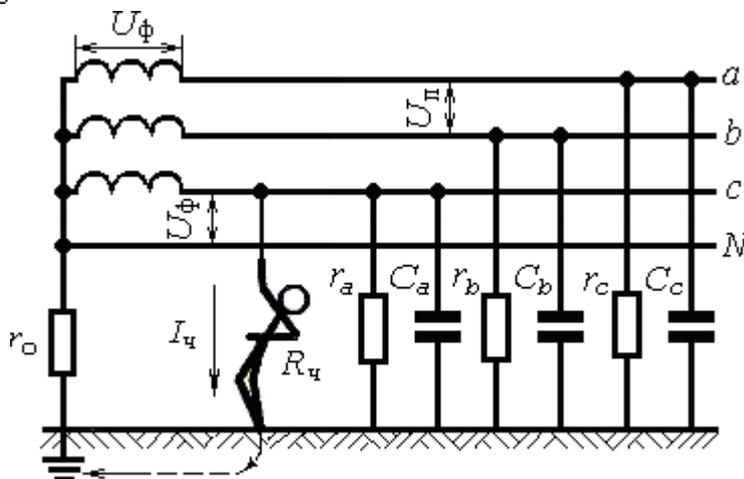


Рис. 6. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью

Как правило, сопротивление заземления нейтрали  $r_0 \leq 10$  Ом; сопротивление же тела человека  $R_{\text{ч}}$  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

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}}/R_{\text{ч}}. \quad (9)$$

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

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + r_{\text{об}} + r_{\text{п}}}. \quad (10)$$

В случае прикосновения человека (рис. 7) к одной из фаз трехфазной сети с изолированной нейтралью (например, фазе  $c$ ) ток протекает от места контакта, как и ранее, через руку, тело, обувь, пол и одновременно – через несовершенную изоляцию фазных проводов к двум другим фазам ( $a$  и  $b$ ).

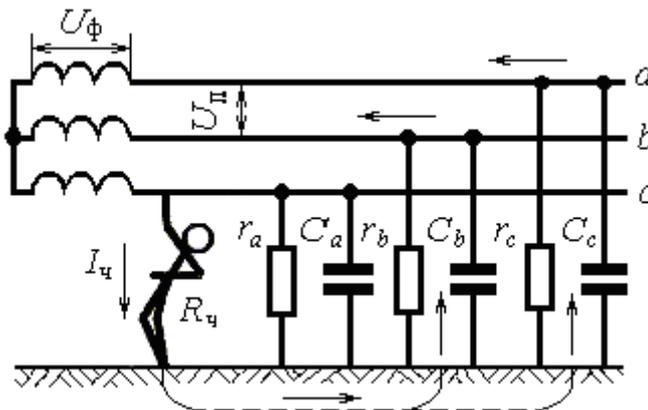


Рис. 7. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной сети с изолированной нейтралью

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

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{r(r + 6R_{\text{ч}})}{9R_{\text{ч}}^2(1 + r^2\omega^2C^2)}}}, \quad (11)$$

где  $r$  – сопротивление изоляции провода относительно земли, Ом;  $C$  – емкость провода относительно земли, Ф.

Для упрощения сопротивление изоляции и емкость проводов относительно земли приняты одинаковыми для всех проводов сети:  $r_a = r_b = r_c = r$ ;  $C_a = C_b = C_c = C$ .

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

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\Phi}}{R_{\text{ч}} + \frac{r}{3}}. \quad (12)$$

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 (11) примет вид

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\Phi}}{\sqrt{R_{\text{ч}}^2 + \left(\frac{1}{3\omega C}\right)^2}}. \quad (13)$$

Из выражения (10) 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 следует обеспечивать высокий уровень изоляции и ее контроль.

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

Однако в сетях с большой емкостью проводов относительно земли защитная роль изоляции в обеспечении безопасности при прикосновении к фазе утрачивается [см. уравнение (13)]. 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 (9) и (12) показывает, что при однофазном включении в сеть с изолированной нейтралью величина тока, протекающего через тело человека, 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 линолеумом токопроводящий пол (бетонный, кирпичный, металлический); применять на рабочем месте изолирующие подставки и резиновые коврики; использовать при работе монтерский инструмент с изолированными рукоятками; поддерживать в помещении влажность и температуру воздуха, от которых зависит величина электрического сопротивления тела человека, не выше допустимых значений.

### Компенсация емкостных токов

При прикосновении к одной из фаз трехфазной сети с изолированной нейтралью сила тока, проходящего через тело человека, как было отмечено выше, зависит не только от сопротивления изоляции проводов, но в значительной мере и от емкости проводов сети относительно земли [см. уравнение (11)]. В кабельных и разветвленных сетях большой протяженности емкость фазных проводов относительно земли  $C$  весьма велика. Следовательно, в таких сетях емкостное сопротивление  $x_C$  мало, и в случае прикосновения к фазе сила тока, проходящего через тело человека, [см. уравнение (13)] 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 фазному проводу (например,  $a$ ), обладающему большой емкостью относительно земли  $C_a$ , (рис. 11) величину тока, проходящего через тело,  $I_{\text{ч}}$  уменьшают за счет компенсации емкостной составляющей тока  $I_C$  с помощью индуктивной катушки  $L_{\text{к}}$ , включаемой между нейтральной точкой источника тока и землей.

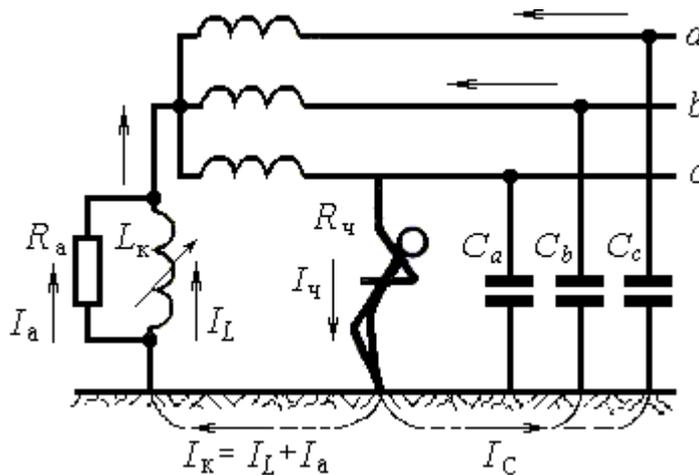


Рис. 11. Схема компенсации емкостного тока:  
 $L_{\text{к}}$  – компенсирующая катушка индуктивности;  
 $R_{\text{а}}$  – активное сопротивление катушки

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

$$I_{\text{ч}} = \sqrt{I_{\text{а}}^2 + (I_{\text{L}} - I_{\text{C}})^2}, \quad (12)$$

где  $I_{\text{а}}$  – активная,  $I_{\text{L}}$  – индуктивная и  $I_{\text{C}}$  – емкостная составляющие тока, А.

Активная составляющая тока  $I_{\text{а}}$  обусловлена активными потерями в катушке индуктивности  $L_{\text{к}}$  и потерями на гистерезис в сердечнике катушки; индуктивная  $I_{\text{L}}$  и емкостная  $I_{\text{C}}$  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

$$\omega L_k = \frac{1}{3\omega C}, \quad (13)$$

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 прикосновении к одной из фаз сети ток, проходящий через тело человека, будет равен только активной составляющей  $I_{\text{ч}} = I_a$ , 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  $I_L = I_C$ : когда ток, проходящий через тело человека,  $I_{\text{ч}}$  равен только активной составляющей  $I_{\text{ч}} = I_a$ ;

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.

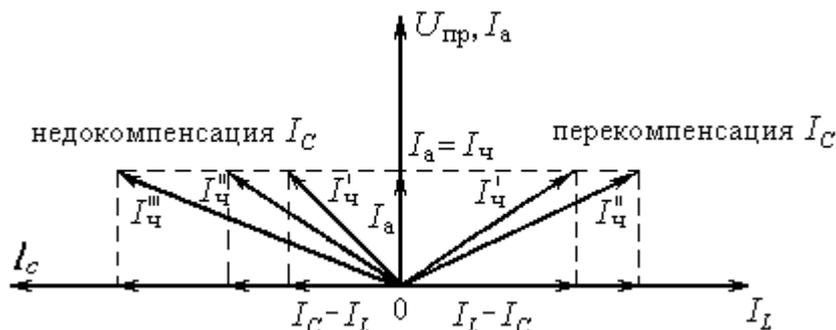


Рис. 12. Векторные диаграммы компенсации емкостного тока

### Вопросы к работе

1. Что такое нейтраль? Какая в этом случае применяется схема соединения обмотки источника тока?

2. Какие бывают схемы включения человека в трехфазную сеть? Какое из включений более опасно?

3. При какой схеме включения человека в трехфазную сеть утрачивается защитная роль сопротивления пола и обуви? Объяснить.

4. Какой фактор является главным при оценке опасности поражения током? От каких факторов зависит его величина?

5. Какой минимальной силы ток частотой 50 Гц считается опасным для человека? Чем опасно прохождение такого тока через тело?
6. Какой величины принимают сопротивление тела человека в расчетах? Каким образом можно увеличить величину этого сопротивления?
7. В случае однофазного включения в сеть с глухозаземленной нейтралью от каких факторов зависит сила тока, проходящего через тело человека?
8. При какой схеме трехфазной сети в случае однофазного включения сопротивление изоляции проводов не играет защитной роли?
9. В случае однофазного включения в сеть с изолированной нейтралью от каких факторов зависит сила тока, проходящего через тело человека?
10. Какой величины должно быть сопротивление изоляции новых электропроводок напряжением до 1000 В?
11. При какой схеме трехфазной сети более опасно однофазное включение человека? Укажите путь тока при таком включении в этой сети.
12. Какие необходимо применять меры и средства защиты для уменьшения опасности поражения током при работе с электроустановками?
13. Какого типа полы в помещениях являются токопроводящими?
14. В каком типе трехфазных сетей применяется метод компенсации емкостных токов? В чем суть данного метода?
15. С какой целью в помещениях, где есть электроустановки, влажность и температура воздуха должны поддерживаться не выше допустимых норм?
16. Объяснить зависимость силы тока, проходящего через тело человека, при однофазном включении в сеть от величины емкости фаз?

#### Лабораторная работа № 6

### **Исследование искусственного освещения на рабочем месте**

Цель работы – изучение количественных и качественных характеристик освещения; оценка влияния типа источника света и цветовой отделки интерьера помещения на освещенность и коэффициент использования светового потока.

#### **Краткие теоретические сведения**

Освещение – необходимый фактор не только для нормального функционирования организма человека, но и для осуществления любых работ. Около 90 % из общего объема информации о внешней среде человек получает через зрительный аппарат. На производстве недостаточное освещение затрудняет, а в некоторых случаях делает невозможным осуществление рабочих операций, снижает производительность и качество труда и может явиться причиной аварий, травматизма и профессиональных заболеваний.

При освещении производственных помещений используют *естественное освещение*, создаваемое прямыми солнечными лучами и рассеянным светом небосвода; *искусственное освещение*, создаваемое электрическими

источниками света, и *совмещенное освещение*, при котором в светлое время суток недостаточное естественное освещение дополняется искусственным.

### **Светотехнические характеристики освещения.**

*Свет* имеет сложную корпускулярно-волновую природу и представляет собой часть оптической области спектра – видимое излучение с длиной электромагнитных волн от 0,38 до 0,77 мкм, обеспечивающее зрительное восприятие.

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

*Световой поток*  $\Phi$  – мощность лучистой энергии, оцениваемая по производимому ею зрительному ощущению.

За единицу светового потока принят люмен (лм).

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

$$I_a = d\Phi/d\omega, \quad (14)$$

где  $d\Phi$  – световой поток (лм), равномерно распределяющийся внутри элементарного телесного угла  $d\omega$ , ср (стерадиан).

Единица измерения силы света – кандела (кд), равная световому потоку в 1 лм, распространяющемуся внутри телесного угла в 1 ср.

*Освещенность* – поверхностная плотность светового потока:

$$E = d\Phi/dS, \quad (15)$$

где  $dS$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>, на которую падает световой поток  $d\Phi$ .

Единица измерения освещенности – люкс (лк).

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

$$B = I_a/dS \cdot \cos\alpha, \quad (16)$$

где  $I_a$  – сила света в данном направлении, кд;  $dS$  – площадь излучающей поверхности, м<sup>2</sup>;  $\alpha$  – угол между направлением излучения и плоскостью, град.

Единицей измерения яркости является кд/м<sup>2</sup>.

**Искусственное освещение.** Для создания искусственного освещения в осветительных установках используют светильники.

*Светильник* – представляет собой совокупность электрического источника света и осветительной арматуры, предназначенной для перераспределения излучаемого источником светового потока в требуемом направлении, предохранения глаз работающих от слепящего действия источника света, для подвода электрического питания, крепления и защиты источника света от механических повреждений и воздействия окружающей среды.

Искусственное освещение в производственных помещениях применяют при работе в темное время суток, при недостаточном естественном освещении или в помещениях, где оно отсутствует.

Искусственное освещение по конструктивному исполнению бывает *общее* и *комбинированное*, когда к общему освещению добавляется местное, концентрирующее световой поток непосредственно на рабочих местах.

Общее освещение равномерное или локализованное предназначено для освещения всего помещения с помощью светильников, размещенных в верхней части помещения. *Общее равномерное освещение* создает условия для выполнения работ в любом месте освещаемого помещения без учета расположения оборудования. При *общем локализованном освещении* светильники размещают с учетом расположения рабочих мест, что позволяет создавать на местах повышенную освещенность.

Комбинированное освещение рекомендуется устраивать при выполнении точных зрительных работ, для освещения наклонных рабочих поверхностей, на рабочих местах, где оборудование создает резкие тени, а также при необходимости создания в процессе работы определенной направленности светового потока с помощью местных светильников.

Применение одного местного освещения в производственных помещениях запрещается, так как резкий контраст между ярко освещенными и неосвещенными местами приводит к зрительному напряжению, замедляет скорость работы и может стать причиной несчастных случаев.

#### **Источники искусственного освещения.**

В осветительных установках искусственного освещения в качестве источников света применяются лампы накаливания и газоразрядные лампы.

В *лампах накаливания* видимое излучение возникает в результате нагрева током вольфрамовой нити до температуры, близкой к температуре плавления вольфрама. Эти источники света удобны в эксплуатации, простоты в изготовлении, не требуют дополнительных пусковых устройств, надежны в работе при колебаниях напряжения в электрической сети и различных метеорологических условиях, выпускаются для сетей напряжением 127 и 220 В и для сетей малых напряжений – 12, 24 и 36 В.

Наряду с отмеченными преимуществами лампы накаливания имеют и существенные недостатки: малую световую отдачу (отношение светового потока, создаваемого лампой, к её электрической мощности) – не более 20 лм/Вт, сравнительно небольшой срок службы – менее 2000 часов, значительно отличающийся от солнечного спектральный состав света, в котором преобладают желтые и красные лучи, что искажает цветопередачу.

В зависимости от конструкции лампы накаливания бывают вакуумные, газонаполненные биспиральные с криптоновым наполнением, зеркальные с диффузно - отражающим слоем.

Все большее распространение получают *галогенные лампы накаливания*. Наличие в колбе галогенной лампы паров йода позволяет повысить температуру накала вольфрамовой нити, в результате световая отдача увеличивается до 40 лм/Вт и спектр излучаемого света приближается к естественному.

Кроме того пары вольфрама, испаряющегося с нити накала, соединяются с йодом и вновь оседают на нить, препятствуя её истощению. Срок службы этих ламп до 3 тыс. ч.

*Газоразрядные лампы* – это источники света низкого и высокого давления, в которых видимое излучение возникает в результате электрического разряда в атмосфере инертных газов и паров металлов, а также за счет явления люминесценции.

Наиболее распространенные газоразрядные лампы низкого давления – *люминесцентные*. Они имеют форму цилиндрической стеклянной трубки с двумя электродами, наполненную дозированным количеством ртути и смесью инертных газов. Внутренняя поверхность трубки покрыта тонким слоем люминофора, который преобразует ультрафиолетовое излучение, возникающее при газовом электрическом разряде, в видимый свет.

Люминесцентные лампы в зависимости от применяемого в них люминофора создают разный спектральный состав света и бывают белого (ЛБ), теплого белого (ЛТБ) и холодного белого света (ЛХБ), дневного света (ЛД), дневного света с исправленной цветопередачей (ЛДЦ).

К газоразрядным лампам высокого давления относят лампы ДРЛ (дуговые ртутные люминесцентные); галогенные лампы ДРИ (дуговые ртутные с йодидами); ксеноновые лампы ДКсТ (дуговые ксеноновые трубчатые) и др.

Основным преимуществом газоразрядных ламп перед лампами накаливания является большая светоотдача от 40 до 110 лм/Вт. Они имеют значительно больший срок службы – свыше 10 тыс. ч., низкую температуру поверхности лампы, близкий к солнечному свету спектр излучения, обеспечивающий высокое качество цветопередачи. Кроме того, газоразрядные люминесцентные лампы обеспечивают более равномерное освещение и рекомендуются для применения в светильниках общего освещения.

Существенным недостатком газоразрядных ламп, питающихся от электрической сети переменного тока, является пульсация светового потока вследствие малой инерционности свечения люминофора. Это может привести к появлению *стробоскопического эффекта*, который проявляется в искажении зрительного восприятия движущихся или вращающихся объектов. При кратности или совпадении частоты пульсации светового потока и частоты вращения объекта вместо одного предмета видны изображения нескольких, искажаются скорость и направление движения. Стробоскопический эффект опасен, так как вращающиеся части механизмов, детали, инструмент могут показаться неподвижными и стать причиной травматизма.

К недостаткам газоразрядных ламп следует также отнести: необходимость применения специальных пусковых устройств, зависимость работоспособности лампы от температуры окружающей среды и величины питающего напряжения, длительный период разгорания у ламп высокого давления (10 – 15 минут).

### **Нормирование искусственного освещения.**

Нормируемыми показателями для систем искусственного освещения согласно строительных норм и правил СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» являются: величина минимальной освещенности рабочих поверхностей, коэффициент пульсации освещенности и показатель ослепленности.

Допустимая величина наименьшей освещенности рабочих поверхностей  $E_{\min}$  в производственных помещениях в СНиП 23-05-95 устанавливается в зависимости от характера зрительной работы, применяемой системы освещения, типа используемых источников света (см. табл. 2).

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

*Объект различения* – наименьший элемент рассматриваемого предмета или дефект, которые необходимо различить в процессе работы (например, линия, знак, нить, пятно, трещина, риска и т. п.).

*Фон* – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой объект рассматривается. Фон характеризуется коэффициентом отражения, зависящем от цвета и фактуры поверхности. Коэффициент отражения  $\rho$  определяется как отношение отраженного от поверхности светового потока  $\Phi_{\text{отр}}$  к падающему на неё световому потоку  $\Phi_{\text{пад}}$ .

Фон считается светлым при коэффициенте отражения поверхности, на которой рассматривается объект, более 0,4; средним – при коэффициенте отражения от 0,2 до 0,4; темным – при коэффициенте отражения менее 0,2.

*Контраст объекта различения с фоном  $K$*  определяется отношением абсолютной величины разности яркостей объекта различения  $V_o$  и фона  $V_{\phi}$  к наибольшей из 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.

Важными нормируемыми показателями, характеризующими качество искусственного освещения, являются коэффициент пульсации освещенности и показатель ослепленности.

*Коэффициент пульсации освещенности  $K_{\text{п}}$*  – это критерий глубины колебаний освещенности во времени в результате изменения светового потока используемых источников света.

Величина коэффициента пульсации освещенности  $K_{\text{п}}$  (%) определяется по формуле

$$K_{\text{п}} = 100 (E_{\text{макс}} - E_{\text{мин}}) / 2 \cdot E_{\text{ср}}, \quad (17)$$

где  $E_{\text{макс}}$ ,  $E_{\text{мин}}$  и  $E_{\text{ср}}$  – максимальное, минимальное и среднее значение освещенности за период её колебания, лк.

Значение коэффициента пульсации освещенности меняется от нескольких процентов (для ламп накаливания) до нескольких десятков процентов (для газоразрядных ламп).

Таблица 2

Допустимая наименьшая освещенность рабочих поверхностей  
в производственных помещениях (выписка из СНиП 23-05-95)

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение								
						Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности $P$ и коэффициента пульсации освещенности $K_p$ , %					
						при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения	$P$	$K_p$ , %				
						всего	в том числе от общего							
Наивысший точности	Менее 0,15		а	Малый	Темный	5000	500	—	20	10				
				Малый	Средний	4500	500	1250	10	10				
				Средний	Темный	4000	400	1000	20	10				
				б	Малый	Светлый	3500	400	750	10	10			
					Средний	Средний	2500	300	600	20	10			
					Большой	Темный	2000	200	500	10	10			
				в	Средний	Светлый	1500	200	400	20	10			
					Большой	Светлый	1250	200	300	10	10			
					Большой	Средний								
				Очень высокой точности	От 0,15 до 0,3	II	а	Малый	Темный	4000	400	—	20	10
								Малый	Средний	3500	400	750	10	10
								Средний	Темный	3000	300	600	20	10
б	Малый	Светлый	2500					300	500	10	10			
	Средний	Средний	2000					200	400	20	10			
	Большой	Темный	1500					200	300	10	10			
в	Средний	Светлый	1000					200	300	20	10			
	Большой	Средний	750					200	200	10	10			
	Большой	Средний												
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	III	а					Малый	Темный	2000	200	500	40	15
								Малый	Средний	1500	200	400	20	15
								Средний	Темный	1000	200	300	40	15
				б	Малый	Светлый	750	200	200	20	15			
					Средний	Средний	750	200	300	40	15			
					Большой	Темный	600	200	200	20	15			
				в	Средний	Светлый	400	200	200	40	15			
					Большой	Светлый								
					Большой	Средний								
				Средней точности	От 0,5 до 1,0	IV	а	Малый	Темный	750	200	300	40	20
								Малый	Средний	500	200	200	40	20
								Средний	Темный					
б	Малый	Светлый	400					200	200	40	20			
	Средний	Средний												
	Большой	Темный												
в	Средний	Светлый	—					—	200	40	20			
	Большой	Светлый												
	Большой	Средний												
Малой точности	От 1,0 до 5,0	V	а					Малый	Темный	400	200	300	40	20
								Малый	Средний	—	—	200	40	20
								Средний	Темный					
				б	Малый	Светлый	—	—	200	40	20			
					Средний	Средний								
					Большой	Темный								
				в	Средний	Светлый	—	—	200	40	20			
					Большой	Светлый								
					Большой	Средний								
				г	Средний	Светлый	—	—	200	40	20			
					Большой	Светлый								
					Большой	Средний								

Малое значение коэффициента пульсации для ламп накаливания объясняется большой тепловой инерцией нити накала, препятствующей заметному уменьшению светового потока лампы накаливания  $\Phi_{\text{лн}}$  в момент перехода мгновенного значения переменного напряжения сети через 0 (см. рис. 3).

В то же время газоразрядные лампы (в том числе люминесцентные) обладают малой инерцией и меняют свой световой поток  $\Phi_{\text{лл}}$  почти пропорционально амплитуде напряжения питающей сети.

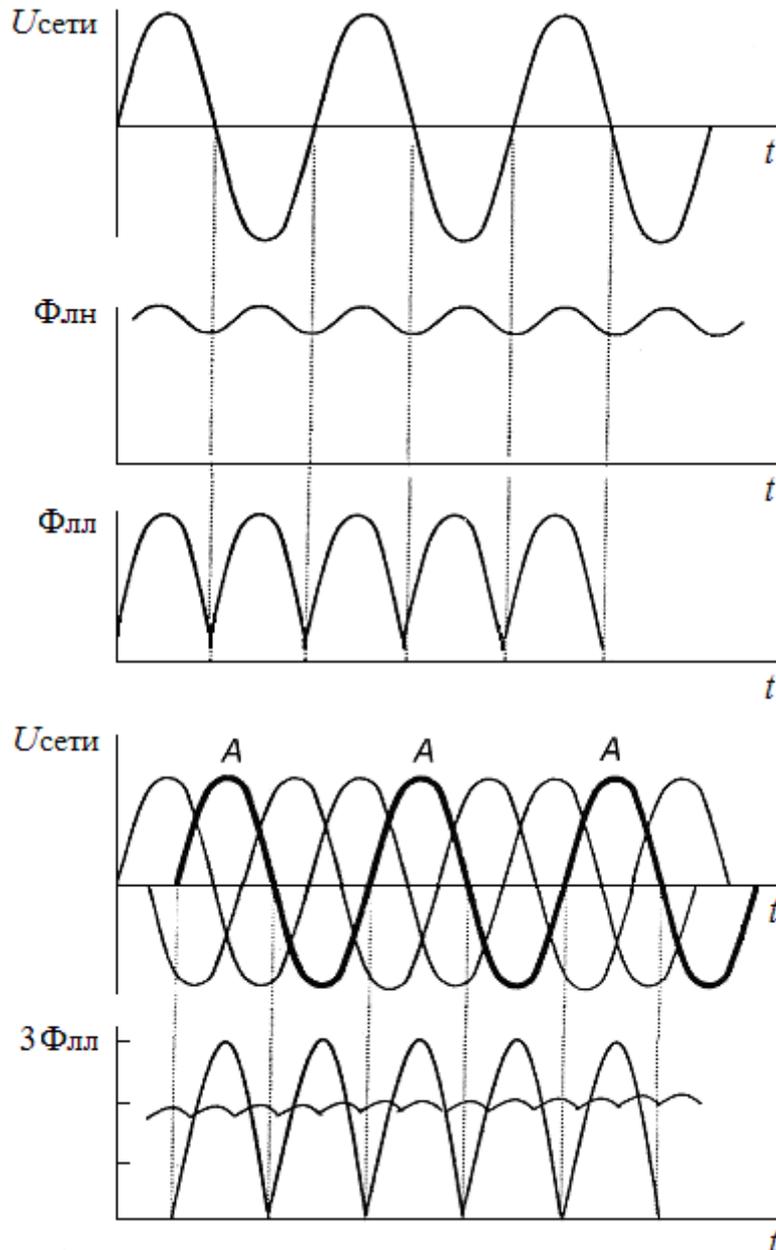


Рис. 3. Пульсации светового потока при однофазном и трехфазном питающем напряжении

Для уменьшения коэффициента пульсации освещенности люминесцентные лампы включаются в разные фазы трехфазной электрической сети. Это хорошо поясняет нижняя кривая на рис. 3, где показан характер изменения

во времени суммарного светового потока, создаваемого тремя люминесцентными лампами  $3 \Phi_{\text{лл}}$ , включенными в первом случае в одну фазу, например, фазу А сети, а затем в разные фазы трехфазной сети.

В последнем случае за счет сдвига фаз в трехфазной сети на  $1/3$  периода “провалы” в световом потоке каждой из ламп компенсируются световыми потоками двух других ламп, в результате пульсации суммарного светового потока, следовательно, и освещенности существенно меньше.

*Показатель ослепленности*  $P$  – это критерий оценки слепящего действия источников света, определяемый по формуле

$$P = (S - 1) \cdot 10^3, \quad (18)$$

где  $S$  – коэффициент ослепленности, рассчитываемый по формуле

$$S = (\Delta B_{\text{пор}})_s / \Delta B_{\text{пор}}, \quad (19)$$

где  $\Delta B_{\text{пор}}$  – пороговая разность яркости объекта и фона при обнаружении объекта на фоне равномерной яркости, кд/м<sup>2</sup>;  $(\Delta B_{\text{пор}})_s$  – пороговая разность яркости объекта и фона при наличии в поле зрения блеского (яркого) источника света, кд/м<sup>2</sup>.

### **Расчет искусственного освещения.**

Для расчета *общего равномерного освещения* помещения, в котором выполняются однотипные работы на горизонтальной рабочей поверхности, применяют метод коэффициента использования светового потока.

Основная расчетная формула метода имеет вид

$$\Phi = (E \cdot S \cdot k_3 \cdot z) / (N \cdot \eta \cdot n), \quad (20)$$

где  $\Phi$  – световой поток лампы, лм;  $E$  – допустимая наименьшая освещенность, лк;  $S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;  $k_3$  – коэффициент запаса;  $z$  – коэффициент неравномерности освещенности (для люминесцентных ламп  $z = 1,1$ );  $N$  – число светильников, шт.;  $\eta$  – коэффициент использования светового потока (в долях единицы);  $n$  – число ламп в светильнике, шт.

### **Порядок выполнения расчета искусственного освещения.**

При расчете обычно задаются типом и числом светильников  $N$ . Допустимая величина наименьшей освещенности рабочей поверхности  $E$  устанавливается СНиП 23-05-95 в соответствии с назначением помещения.

Для определения по светотехническому справочнику коэффициента использования светового потока  $\eta$  рассчитывается индекс помещения  $i$  и оцениваются коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка  $\rho_{\text{п}}$ , стен  $\rho_{\text{ст}}$  и рабочей (расчетной) поверхности  $\rho_{\text{рп}}$ .

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = (A \cdot B) / [h \cdot (A + B)], \quad (21)$$

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

Затем по формуле (20) рассчитывается необходимый световой поток лампы  $\Phi$ , обеспечивающий в помещении нормируемое значение освещенности  $E$ , и по светотехническому справочнику выбирается тип и мощность

стандартной лампы со световым потоком  $\Phi_{\text{гост}}$ , близким по величине расчетному.

В практике допускается отклонение светового потока выбранной лампы от расчетного в пределах от  $-10\%$  до  $+20\%$ .

Относительное отклонение светового потока  $\delta$ , % определяется:

$$\delta = 100 (\Phi_{\text{гост}} - \Phi) / \Phi. \quad (22)$$

При невозможности выбора лампы, удовлетворяющей допустимому отклонению, корректируется число светильников или высота их подвеса и производится повторный расчет светового потока и выбор источника света, отклонение светового потока которого не превысят указанные пределы.

### Вопросы к работе

1. Что собой представляет светильник?
2. Какие функции выполняет осветительная арматура в светильнике?
3. Каким бывает по конструктивному исполнению искусственное освещение? Почему запрещается применять одно местное освещение?
4. Что такое общее освещение? Какими способами можно увеличить освещенность, создаваемую общим освещением?
5. Что такое комбинированное освещение? В каких случаях оно применяется?
6. Какие преимущества у ламп накаливания перед газоразрядными?
7. Каков принцип действия ламп, применяемых в аудитории? Каковы преимущества у данных ламп?
8. Какие недостатки у газоразрядных ламп?
9. Какова причина пульсации светового потока источников света? У какого типа ламп больше коэффициент пульсации освещенности?
10. Что такое стробоскопический эффект и чем он опасен?
11. Допустимые значения каких показателей искусственного освещения устанавливаются СНиП 23-05-95? Какие из них измерялись в работе?
12. В зависимости от каких факторов устанавливаются допустимые значения показателей искусственного освещения?
13. Какие факторы определяют характеристику зрительной работы?
14. Что такое объект различения? Приведите примеры.
15. Каким способом можно уменьшить коэффициент пульсации освещенности? В чем суть предложенного способа?
16. По какой характеристике, полученной при расчете освещения, выбирается источник света? Какие параметры лампы необходимо определить?

Лабораторная работа № 8  
**Определение дозы облучения источником  
ионизирующего излучения**

Цель работы – научиться определять дозу облучения при воздействии на человека источника ионизирующего излучения и оценивать радиационную опасность в зоне облучения.

**Краткие теоретические сведения**

*Ионизирующим излучением* называется излучение, взаимодействие которого с веществом приводит к образованию в этом веществе ионов разного знака. Источниками ионизирующего излучения могут быть радиоактивные вещества (радионуклиды) и электрофизические устройства (рентгеновские аппараты, ускорители, высоковольтные электроустановки, дефектоскопы и др.), которые применяют в контрольно-измерительных приборах и системах автоматики, в научно-исследовательских работах, медицине, атомной энергетике.

Различают следующие виды ионизирующего излучения:

- *альфа-излучение* – поток ядер атомов гелия;
- *бета-излучение* – поток электронов или позитронов;
- *гамма-излучение* и *рентгеновское* (тормозное или характеристическое) *излучение* – фотонное (электромагнитное) излучение;
- *нейтронное излучение* – поток нейтронов.

Все виды ионизирующих излучений при уровнях облучения человека, превышающих допустимый, представляют особую опасность для жизни и здоровья людей. Ионизация живой ткани приводит к разрыву молекулярных связей, образованию вредных химических соединений, не свойственных организму. Это приводит к гибели клеток, нарушению биологических процессов и обмена веществ. Даже при незначительных дозах облучения происходит торможение функций кроветворных органов, нарушение свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, ослабление действия иммунной системы.

Продолжительное воздействие ионизирующего излучения на организм человека может вызвать два вида эффектов, которые клинической медициной относятся к болезням: *детерминированные пороговые эффекты* – лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие и др. и *стохастические* (вероятностные) *беспороговые эффекты* – злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни.

Степень вредного воздействия разных видов ионизирующего излучения на человека зависит от их проникающей способности и удельной ионизации – числа пар ионов, образующихся в тканях организма на каждом сантиметре пути пробега. В ряду альфа-бета-гамма- и рентгеновского излучений проникающая способность возрастает, а удельная ионизация уменьшается.

При работе с источниками ионизирующего излучения может возникнуть внешнее, внутреннее и комбинированное облучение персонала.

*Внешнее облучение* обусловлено действием источников, находящихся на рабочих местах и в помещениях; *внутреннее облучение* – радиоактивной пылью, попавшей в организм вместе с воздухом, пищей, водой; *комбинированное облучение* – совместным действием внешнего и внутреннего.

При внешнем облучении наиболее опасны рентгеновское и гамма-излучения. При внутреннем – все виды излучения (особенно альфа), действующие непрерывно и практически на все органы.

Для оценки радиационной обстановки (опасности) и ожидаемых медицинских последствий облучения людей источником ионизирующего излучения используются следующие основные показатели.

*Активность (A)* – мера радиоактивности какого-либо количества радионуклида:

$$A = dN/dt, \quad (23)$$

где  $dN$  – ожидаемое число спонтанных ядерных превращений, происходящих за промежуток времени  $dt$ .

Единицей активности является беккерель (Бк). Используемая ранее внесистемная единица активности кюри (Ки) составляет  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк.

*Поглощенная доза (D)* – величина энергии ионизирующего излучения, переданная облучаемому веществу:

$$D = de/dm, \quad (24)$$

где  $de$  – средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, находящемуся в элементарном объеме;  $dm$  – масса вещества в этом объеме.

Поглощенная доза измеряется в джоулях, деленных на килограмм (Дж/кг), и имеет специальное название – грей (Гр). Используемая ранее внесистемная единица поглощенной дозы – рад равна 0,01 Гр.

*Эквивалентная доза ( $H_{T,R}$ )* – поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида ионизирующего излучения:

$$H_{T,R} = W_R D_T, \quad (25)$$

где  $D_T$  – средняя поглощенная доза в органе или ткани  $T$ ;  $W_R$  – взвешивающий коэффициент для данного вида ионизирующего излучения, учитывающий эффективность (опасность) этого излучения.

Для рентгеновского, гамма- и бета- излучений взвешивающий коэффициент  $W_R = 1$ , для альфа-частиц – 20.

При одновременном воздействии нескольких видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения:

$$H_T = \sum_R H_{T,R}, \quad (26)$$

Единицей эквивалентной дозы является зиверт (Зв).

*Эффективная доза (E)* применяется для оценки риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности.

Эффективная доза представляет собой сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E = \sum_T W_T H_T, \quad (27)$$

где  $H_T$  – эквивалентная доза в органе или ткани  $T$ ;  $W_T$  – взвешивающий коэффициент для этого органа или ткани  $T$ .

Значения взвешивающих коэффициентов  $W_T$  для органов и тканей, таких как костный мозг, легкие, желудок, печень, кожа и др. в зависимости от их разной чувствительности в возникновении стохастических эффектов радиации установлены от 0,01 до 0,2.

Единица эффективной дозы – зиверт (Зв).

Для обеспечения безопасности в условиях воздействия на человека ионизирующего излучения применяются Нормы радиационной безопасности НРБ-99, которые устанавливают основные пределы доз облучения для следующих категорий облучаемых лиц: персонала (группы А и Б) и всего населения (см. табл.3).

*Предел дозы (ПД)* – величина годовой эффективной или эквивалентной дозы облучения от техногенных источников ионизирующего излучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы.

Таблица 3

Основные пределы доз (выписка из НРБ-99)

Нормируемые величины	Пределы доз	
	персонал (группа А)	население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год		
в хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
в коже	500 мЗв	50 мЗв
в кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

*Персонал* – лица, работающие с техногенными источниками излучения (группа А) или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б).

Обеспечение безопасности работающих с техногенными источниками ионизирующего излучения осуществляют путем соблюдения Норм радиационной безопасности, применения защиты временем, защиты расстоянием,

экранирования источников излучения, использования средств индивидуальной защиты.

Продолжительность пребывания работника в зоне облучения не должна превышать времени, в течение которого человек при данной мощности излучения получает эквивалентную или эффективную дозу, равную пределам доз (ПД), установленных Нормами радиационной безопасности.

Мощность дозы излучения прямо пропорциональна активности точечного радионуклида и обратно пропорциональна квадрату расстояния до его источника. Следовательно, при возможности использования нуклидов малой активности и соблюдения необходимого расстояния, можно в ряде случаев обеспечить защиту населения, включая персонал, от вредного воздействия ионизирующего излучения.

Если за счет указанных мероприятий не удастся снизить дозу облучения до допустимого уровня, то применяют защитные устройства – экраны.

Экраны предназначены для поглощения либо ослабления ионизирующего излучения. Конструктивно они могут быть передвижными или стационарными. Защитными экранами служат стенки контейнеров для перевозки радиоактивных веществ, стенки сейфов для их хранения, стенки герметичных боксов для работы с открытыми радионуклидами, корпуса приборов, в которых используются источники ионизирующего излучения и др.

Выбор материала для изготовления защитного экрана зависит от вида ионизирующего излучения, энергии излучения, активности источника и др.

Для защиты от альфа-излучения применяют экраны из фольги, плексигласа и стекла толщиной несколько миллиметров.

Экраны для защиты от бета-излучения изготавливают из материалов с малой атомной массой: алюминия, стали, жести, плексигласа, стекла. При применении экранов из тяжелых материалов существует опасность возникновения тормозного (рентгеновского) излучения.

Наиболее эффективно использование комбинированных экранов, у которых со стороны источника бета-излучения располагают материал с малой атомной массой, а за ним с большой.

Для защиты от гамма-излучения и рентгеновского излучения применяют материалы с большой атомной массой и высокой плотностью: свинец, чугун, сталь, вольфрам и т.п. Стационарные экраны, являющиеся частью строительных конструкций, изготавливают из бетона и баритобетона.

Смотровые окна в защитных экранах и в установках с источниками излучения изготавливают из свинцового стекла, стекла с жидким наполнителем (бромистым и хлористым цинком) и др.

Материалом для изготовления эластичных экранов и средств индивидуальной защиты (фартуков, перчаток и др.) служит свинцовая резина.

Необходимую толщину защитного экрана определяют по справочным таблицам и номограммам.

### Вопросы к работе

1. Что такое ионизирующее излучение? Какие различают его виды?
2. Чем опасна ионизация живой ткани?
3. От каких характеристик зависит степень вредного действия разных видов ионизирующего излучения?
4. Какие виды облучения могут возникнуть при работе с источниками ионизирующего излучения? Какой вид облучения наиболее опасен?
5. Чем может быть вызвано внешнее облучение? Какие виды ионизирующего излучения наиболее опасны при внешнем облучении?
6. Чем может быть вызвано внутреннее облучение? Какой вид ионизирующего излучения наиболее опасен при таком облучении?
7. Какие показатели используются для оценки радиационной обстановки и ожидаемых последствий облучения?
8. Что такое эквивалентная доза? Как ее величина определялась в работе? Укажите единицу измерения.
9. Какой вид ионизирующего излучения при расчете эквивалентной дозы имеет наиболее высокий взвешивающий коэффициент?
10. Пределы каких показателей ионизирующего излучения устанавливаются НРБ-99? Укажите единицу измерения.
11. С учетом каких факторов в НРБ-99 устанавливаются пределы эквивалентной дозы?
12. Какими мерами и средствами обеспечивается безопасность работающих с источниками ионизирующего излучения?
13. Какие применялись меры и средства защиты от опасного облучения в процессе выполнения лабораторной работы?
14. Какой вид ионизирующего излучения создает  $C_{\alpha}^{60}$ ? Из каких материалов изготавливают экраны, защищающие от такого излучения?
15. Для защиты от ионизирующего излучения из какого материала изготавливаются эластичные экраны и средства индивидуальной защиты?
16. Какой параметр ионизирующего излучения измерялся в ходе работы? Укажите единицу его измерения.

## Литература

1. Безопасность жизнедеятельности / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. – М.: Высш. школа, 2003.
2. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда: Учеб. Пособие для вузов / Под ред. О.Н. Русака. – СПб: Изд-во МАНЭБ, 2001.
3. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности.– М.: Энергоатомиздат, 1991.
4. Справочная книга для проектирования электрического освещения / под ред. Г.Н. Кнорринга. – Л.: Энергия, 1976.
5. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – М. Стройиздат, 1996.
6. Захаров С.Г., Каверзнева Т.Т. Влияние электромагнитного излучения на жизнедеятельность человека и способы защиты от него. Учебное пособие. – СПбГТУ, 1992.
7. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
8. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 1992.
9. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
10. Фильев В.И. Регулирование условий труда на предприятиях РФ. – М.: Интел-Синтез, 1996.