



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная электроника»

С. Н. Кухаренко

ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ САНИТАРИИ

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по дисциплине «Охрана труда»
для студентов специальности 1-36 04 02
«Промышленная электроника»**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2008

УДК 621.38(075.8)
ББК 65.246я73
К95

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
заочного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 20.02.2007 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Автоматизированный электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого
д-р техн. наук, проф. *В. И. Луковников*

Кухаренко, С. Н.

К95 Основы промышленной санитарии : лаб. практикум по дисциплине «Охрана труда» для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника» / С. Н. Кухаренко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 43 с. – Систем. требования: РС не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-759-9.

Дано понятие производственной среды и факторов, воздействующих на организм человека. Рассмотрены шумовые, оптические факторы, а также аппаратура защиты от поражения электрическим током.

Для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника».

**УДК 621.38(075.8)
ББК 65.246я73**

ISBN 978-985-420-759-9

© Кухаренко С. Н., составление, 2008
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2008

ВВЕДЕНИЕ

Цикл лабораторных работ по дисциплине «Охрана труда», рассматриваемых в данном практикуме, знакомит студентов со свойствами шума и методами их измерения, свойствами оптического и лазерного излучения и нормированными уровнями воздействия. Также рассмотрены параметры, принцип действия устройств защитного отключения и методы контроля основных параметров этих устройств.

Целью выполнения лабораторных работ является закрепление теоретических сведений, полученных при изучении курса лекций, а также приобретение практических навыков контроля и определения уровней воздействия производственной среды. В процессе подготовки и выполнения лабораторных работ студенты знакомятся с устройством измерительных устройств, их конструкцией и характеристиками.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Выполнение лабораторной работы включает в себя несколько этапов: самостоятельная подготовка во внеурочное время, допуск к работе, выполнение измерений и обработка результатов, оформление отчета.

При самостоятельной подготовке студент должен изучить методику измерения, усвоить цель работы и порядок ее выполнения, подготовить отчет.

Для получения допуска к выполнению работы на стенде необходимо представить отчет о предыдущей работе и подготовленный отчет к очередной работе, ответить на вопросы преподавателя.

При выполнении лабораторных работ необходимо учитывать следующее:

1. Измерения, выполняемые цифровыми приборами, должны содержать не менее трех значащих цифр (необходимо выбирать предел измерения таким, чтобы на индикаторе было не менее трех цифр), измерения, выполненные аналоговыми приборами и осциллографом, должны содержать не менее двух цифр.

2. При подключении генераторов, осциллографов и вольтметров необходимо соединять общий провод прибора с общим проводом стенда.

3. Отключение стенда от электрической сети и разборка схемы производятся после предоставления результатов измерения преподавателю и с разрешения преподавателя.

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующее:

- 1) цель работы;
- 2) схему эксперимента;
- 3) методику обработки результатов;
- 4) таблицы с результатами измерений и вычислений;
- 5) графики исследованных функциональных зависимостей выполненных на координатной бумаге или в программе MathCAD;
- 6) выводы о выполненной работе, в которых указано сопоставление между полученными результатами измерения, а также сравнение результатов со справочными данными.

Лабораторная работа № 1

САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

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

Общие сведения

Рациональное освещение производственных помещений и рабочих мест является важным вопросом охраны труда. Неправильно организованное освещение повышает напряженность труда, приводит к зрительному и общему утомлению, снижает производительность труда и его качество. Длительная работа при неправильном освещении может привести к снижению остроты зрения и заболеваниям глаз.

Особое значение имеет освещение при работе операторов. Плохое освещение, помимо повышенного утомления, может привести к ошибочным действиям, создающим аварийные ситуации или нарушающим ход технологического процесса.

К основным факторам, определяющим высокое качество освещения, относятся достаточная и равномерно распределенная в помещении освещенность, постоянство освещенности во времени, отсутствие слепимости и резких теней на освещаемых поверхностях.

Наименьшая освещенность рабочих поверхностей в производственных помещениях, обеспечивающая нормальную работу человека, устанавливается в зависимости от характеристик зрительной работы и регламентируется строительными нормами и правилами (СНиП II-4-79) [1]. К характеристикам зрительной работы относится, в частности, ее разряд, зависящий от размера наименьшего объекта

различения, контраста объекта с фоном и вида фона. Таблица зависимости разряда работы и требуемых уровней освещенности от этих параметров приложена к стенду. Нормы составлены с учетом того, что основными источниками искусственного света на производстве являются газоразрядные лампы, однако допускается использование ламп накаливания. Следует обратить внимание, что оптимальная освещенность от газоразрядных ламп выше, чем от ламп накаливания. Это объясняется различием спектрального состава света ламп и особенностями его зрительного восприятия человеческим глазом. При одной и той же освещенности, равной оптимальной для лампы накаливания, освещенность от лампы дневного света кажется человеку недостаточной («сумеречный» эффект). Это учитывается в нормах. Значения освещенности указаны для двух систем искусственного освещения – общего и комбинированного, при котором к общему освещению добавляется местное.

Для зрительного восприятия человека основное значение имеет интенсивность светового воздействия на глаз. В качестве меры интенсивности принимается яркость воспринимаемого объекта. Яркость L – отношение силы света – ΔI , излучаемого элементом ΔS светящейся или отражающей поверхности в данном направлении, к площади проекции этой поверхности на плоскость, перпендикулярную к этому направлению

$$L = \frac{\Delta I}{\Delta S_{\text{сп}} \cdot \cos \alpha}, \quad (1.1)$$

где $S_{\text{сп}}$ – площадь светящейся поверхности; α – угол между направлением на точку наблюдения и нормалью к светящейся поверхности. Единицей яркости является кандела на квадратный метр ($\text{кд}/\text{м}^2$). Для измерения яркости используются яркомеры. Для диффузных поверхностей, у которых яркость одинакова во всех направлениях, ее можно найти по формуле

$$L = \rho \frac{E}{\pi}, \quad (1.2)$$

где E – освещенность, создаваемая сторонним источником света; ρ – коэффициент отражения, определяемый как отношение отраженного поверхностью светового потока Φ_{ρ} к падающему на нее потоку Φ :

$$\rho = \frac{\Phi_{\rho}}{\Phi}. \quad (1.3)$$

Если $\rho > 0,4$, то считается, что поверхность создает светлый фон; если $0,4 > \rho > 0,2$ – средний фон; если $\rho < 0,2$ – темный фон. Большое значение для зрительного восприятия имеет соотношение яркостей объекта различения $L_{об}$ и фона $L_{ф}$, характеризуемое значением яркостного контраста K . Различают прямой контраст – $K_{пр}$ при $L_{об} < L_{ф}$ и обратный $K_{обр}$ при $L_{об} > L_{ф}$.

$$K_{пр} = \frac{L_{ф} - L_{об}}{L_{ф}}; \quad K_{обр} = \frac{L_{об} - L_{ф}}{L_{об}}. \quad (1.4)$$

Если значение $K > 0,5$, при нормировании употребляют термин «большой» контраст, если $0,5 > K > 0,2$ – «средний», если $K < 0,2$ – «малый» [2].

Несмотря на то, что яркость и яркостный контраст являются наиболее объективными параметрами, характеризующими условия зрительной работы, нормирование освещения производится обычно по освещенности E , которая проще измеряется и более тесно связана с источником света.

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

Указания по расчету коэффициента пульсации

Коэффициент пульсации освещенности $K_{п}$ – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока, выражающийся формулой

$$K_{п} = \frac{E_{\min} - E_{\max}}{2 \cdot E_{\text{ср}}}, \quad (1.5)$$

где E_{\max} и E_{\min} – максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания в люксах; $E_{\text{ср}}$ – среднее значение освещенности за этот же период, люксы.

При использовании осветительных установок с газоразрядными источниками света, питаемыми переменным током, может возникнуть стробоскопический эффект. Этот эффект заключается в искажении

зрительного восприятия вращающихся и циклически движущихся объектов в мелькающем свете, возникающем при совпадении или кратности частотных характеристик движения объектов и изменения светового потока во времени в осветительных установках. При этом вращающийся объект кажется неподвижным или вращающимся в обратном направлении. Искажение восприятия движущихся объектов приводит к увеличению напряженности труда и росту травматизма. При частоте питающей сети $f = 50$ Гц основная частота пульсаций светового потока ламп $F = 2f = 100$ Гц. Тогда стробоскопический эффект будет наблюдаться при скорости вращения диска $n = 100$ об/с. В случае, если вращающийся диск (или маховик) разделен на N одинаковых секторов, эффект наблюдается при $n_{\min} = 100/N$ об/с.

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

Кроме «естественных» пульсаций света с частотой, равной удвоенной частоте переменного тока, в промышленных сетях возможны низкочастотные пульсации с частотой единицы и даже доли герца, обусловленные колебаниями напряжения из-за непостоянных или сильно нелинейных потребителей, таких как мощные выпрямители, сварочные установки, дуговые печи. Эти пульсации также оказывают вредное влияние на человеческий организм.

Лабораторная установка

Для контроля и измерения освещенности применяется фотоэлектрический люксметр. Стенд для исследования освещенности на рабочем месте состоит из двух частей. Первая включает в себя лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), амперметр, схему включения светильника с лампами накаливания и механизм подъема – опускания светильника. Вторая часть – установка для исследования параметров освещения, создаваемого люминесцентными лампами. Состоит из трех люминесцентных ламп, двигателя со стробоскопическим диском и пульта управления, а также фотоприемника, подключенного к осциллографу.

На панели можно набрать при помощи выключателей, схему подключения ламп к одной или к разным фазам трехфазной сети.

Порядок выполнения работы

Исследования на стенде с лампами накаливания

1. *Исследование местного освещения.* Подать напряжение на стенд, включить светильник с лампой накаливания мощностью 60 Вт и установить при помощи ЛАТР напряжение 220 В. Ознакомиться с устройством люксметра. Светильник расположить на высоте 1,05 м над фотоэлементом люксметра. Измерить освещенность под светильником (в точке, соответствующей центру рабочей поверхности) и через каждые 0,1 м при удалении фотоэлемента от этой точки в направлениях вправо, влево, вперед, назад (для упрощения измерений на рабочей поверхности нанесена координатная сетка). Измерения освещенности в центре рабочей поверхности под светильником произвести для значений высоты подвеса лампы над фотоэлементом 0,30; 0,45; 0,70; 0,90 м. При оценке распределения освещенности на рабочих поверхностях принято строить кривые равных освещенностей (изолуксы). В данном упрощенном исследовании по результатам измерений необходимо построить графики изменения освещенности в продольном и поперечном направлениях, которые будут являться сечениями изолукс. Включить светильник с лампой накаливания на номинальное напряжение 220 В. Измерить ток в цепи лампы. Измерить освещенность в центральной точке рабочей поверхности (под светильником) при высоте подвеса 0,90 м. Изменяя при помощи ЛАТР напряжение питания светильника с лампой накаливания (от 240 до 160 В), произвести замеры тока и освещенности для каждого из значений напряжения (через 20 В). Измерения провести для одной из трех ламп различной мощности (по указанию преподавателя). Определить относительное изменение коэффициента полезно действия при каждом из напряжений (световой поток при номинальном напряжении принять за единицу).

Исследования на стенде с люминесцентными лампами

1. Включить стенд с люминесцентными лампами. Включить одну лампу и при помощи ЛАТР установить напряжение 220 В. Снижая напряжение питания лампы, установить напряжение, при котором лампа гаснет. Затем, медленно повышая напряжение, установить напряжение U_3 , при котором лампа зажигается. Меняя напряжение питания светильника от значения U_3 до 240 В, произвести замеры тока лампы и освещенности для каждого из значений напряжения (через 10 В).

2. Включить светильник с тремя люминесцентными лампами на напряжение 220 В (высота подвеса светильника 0,45 м). Измерить освещенность на рабочей поверхности при включенных, одной, двух и трех лампах, в начале к одной фазе затем к трем различным фазам.

3. Подать сигнал с выходных клемм фотодиода на вход Y осциллографа, убедиться в изменении сигнала при затемнении фотодиода. Зарисовать с экрана кривую сигнала, пропорционального освещенности, при подключении одной люминесцентной лампы и трех ламп к одной фазе и к разным фазам, а также при включении светильника с лампой накаливания. Определить коэффициенты пульсации освещенности для различных опытов.

4. Включить три люминесцентные лампы на одну фазу трехфазной сети. Включить двигатель со стробоскопическим диском. Изменяя скорость вращения диска, установить скорость, соответствующую появлению стробоскопического эффекта. Подключить три люминесцентные лампы на три фазы трехфазной сети. Убедиться в том, что при этом стробоскопический эффект пропадает или значительно уменьшается.

Содержание отчета

1. Таблицы и графики, иллюстрирующие зависимость освещенности от высоты подвеса светильника для разных типов светильников. График распределения освещенности на горизонтальной плоскости.

2. Зависимость освещенности от напряжения питания для люминесцентных ламп и ламп накаливания.

3. Уровни освещенности, при подключении одной и трех люминесцентных ламп к одной фазе и к разным фазам.

4. Выводы по результатам определения коэффициента пульсаций освещенности и по исследованию условий появления стробоскопического эффекта (определить частоты стробоскопического эффекта).

5. Схемы включения в сеть трех люминесцентных ламп в одну фазу и в три разные фазы трехфазной сети.

6. Выводы о влиянии производственного освещения на безопасность и напряженность труда.

Контрольные вопросы

1. Каково устройство и принцип действия люксметра?
2. Перечислить основные факторы, определяющие качество освещения.

3. Какими нормативными документами, регламентируется освещенность рабочих поверхностей?
4. Что понимают под термином «характеристика зрительной работы»?
5. От чего зависит разряд зрительной работы?
6. Что такое интенсивность светового воздействия и как оно связано с зрительным восприятием человека?
7. В чем состоит сущность стробоскопического эффекта и каковы способы его устранения?

Литература

1. СНиП П-4–79. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования. – Москва : Стройиздат, 1980.
2. Кнорринг, Г. М. Осветительные установки / Г. М. Кнорринг. – Ленинград : Энергоиздат, 1981.
3. Охрана труда в машиностроении / под ред. Е. Я. Юдина и С. В. Белова. – Москва : Машиностроение, 1983.
4. Куценко, Г. Ф. Охрана труда в электроэнергетике : практ. пособие / Г. Ф. Куценко. – Минск : ДизайнПРО, 2005. – 784 с.

Лабораторная работа № 2

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Цель работы: изучение вредных и опасных производственных факторов, а также техники безопасности при эксплуатации лазеров и лазерного оборудования.

Общие сведения

При эксплуатации лазеров и лазерных установок персонал может подвергаться воздействию большого числа опасных и вредных производственных факторов. Степень их воздействия зависит от пространственно-энергетических характеристик лазерного излучения, условий эксплуатации лазерных установок и их конструктивных особенностей. При этом можно выделить два типа опасных и вредных производственных факторов. К первому типу относятся факторы, воздействующие в основном на отдельные органы, ко второму на весь организм. Первый тип факторов включает лазерное излучение, аэродисперсные системы, вредные химические вещества и шум. Ко второму типу факторов относят вибрацию, электромагнитные поля, по-

вышенное напряжение, ионизирующее излучение, микроклиматические условия. Подробнее рассмотрим опасные и вредные производственные факторы, имеющие место при эксплуатации лазеров.

Лазерное излучение. Основную опасность лазерное излучение представляет при воздействии на орган зрения. Повреждение глаз может произойти в результате действия как прямого, так и отраженного излучения. В производственных условиях облучение прямым лазерным излучением возможно лишь при грубом нарушении правил техники безопасности.

Влияния этого фактора опасности определяется плотностью энергии (мощности) излучения лазера, длиной волны, условиями его использования и режимом работы (импульсный, непрерывный). Можно отметить, что лазерное излучение является определяющим при оценке степени безопасности технологических процессов при использовании лазерных установок.

Аэрозоли. Образование аэродисперсных систем связано с взаимодействием лазерного излучения с мишенями. Аэрозоли могут ингаляционным путем поступать в органы дыхания, а также воздействовать на кожные покровы. В последнем случае опасность представляют аэрозольные частицы, имеющие высокую температуру, которые могут приводить к ожогу кожи. Интенсивность образования аэродисперсных систем обусловлена плотностью энергии (мощности) лазерного излучения, свойствами мишени, взаимодействующей с излучением, и режимом работы лазера (импульсный, непрерывный).

Вредные химические вещества. Данная категория опасных и вредных производственных факторов обусловлена образованием токсических веществ и газов при взаимодействии лазерного излучения с различными средами, выделением вредных веществ из отдельных сборочных единиц лазера при его работе и радиолизом воздуха. Выраженность этих факторов зависит от тех же параметров, что и в первых двух случаях. Следует отметить, что возникновение вышеуказанных трех категорий опасных и вредных производственных факторов связано непосредственно с лазерным излучением. Химические токсические вещества могут воздействовать как на органы дыхания, так и на кожу.

Шум. Он возникает при работе лазерных установок, имеет различный характер и может быть стабильным при работе лазеров в непрерывном режиме, а также от сборочных единиц и агрегатов, комплектующих установку, и импульсным – при эксплуатации твердотельных лазеров. В основном шум воздействует на органы слуха.

Вибрация. Возникновение вибрации, как правило, неразрывно связано с шумом. В процессе эксплуатации лазерных установок вибрация возникает в результате работы отдельных сборочных единиц. Она воздействует на весь организм.

Электромагнитные поля. Для определенных лазерных установок неблагоприятными факторами могут явиться электромагнитные поля высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот, воздействующие на организм в целом.

Повышенное напряжение. Источники питания током лазеров являются в основном обычными электротехническими устройствами. Поэтому мероприятия, обеспечивающие безопасность при наладке и обслуживании этих устройств, имеют неспецифический характер.

Ионизирующее излучение. Высокотемпературная плазма, образующаяся при взаимодействии мощного лазерного излучения с материалом мишени, может явиться источником нейтронного и гамма-излучения. Кроме того, не исключена возможность появления мягкого рентгеновского излучения при работе электронной аппаратуры.

Микроклимат. Микроклиматические условия при эксплуатации лазерных установок определяются рядом параметров: скоростью движения воздуха в рабочих помещениях, влажностью воздуха, температурой в помещении, фоном, обусловленным работой сборочных единиц и агрегатов лазерных установок.

В зависимости от класса лазерных установок степень выраженности рассмотренных опасных и вредных производственных факторов различна.

С момента появления первых лазеров внимание исследователей было обращено на способность генерируемого лазерами излучения оказывать неблагоприятное воздействие на организм человека или отдельные его органы, и в первую очередь на глаза и кожу.

Патологические эффекты воздействия лазерного излучения на глаза. Сравнительно легкая уязвимость роговицы и хрусталика глаза при воздействии электромагнитных излучений самых различных длин волн, а также способность оптической системы глаза увеличивать плотность энергии (мощности) излучения видимого и ближнего инфракрасного диапазона на глазном дне на несколько порядков по отношению к роговице выделяет его в наиболее уязвимый орган.

Взаимодействуя с элементами оптической системы лазерное излучение может вызвать их повреждение. Степень повреждения глаза главным образом зависит от таких физических параметров, как время облучения, плотность потока энергии, длина волны и вид излучения

(импульсное или непрерывное), а также индивидуальных особенностей глаза. При рассмотрении воздействия лазерного излучения на орган зрения необходимо отдельно разбирать действие излучения с длинами волн в интервале 0,4–1,4 мкм и длинами волн вне этого интервала. Для электромагнитного излучения с длинами волн короче 0,4 мкм и длиннее 1,4 мкм оптические среды глаза являются непрозрачными, и поэтому фокусирующее действие не имеет места.

Воздействие ультрафиолетового излучения на орган зрения в основном приводит к поражению роговицы (кератит). Наибольшим фотокератическим действием обладает излучение с длиной волны 0,288 мкм. Излучение с длиной волны короче 0,32 мкм почти полностью поглощается в роговице и водянистой влаге передней камеры глаза, а с длинами волн 0,32–0,39 мкм – в хрусталике. За счет высокого коэффициента поглощения излучения в роговице и водянистой влаге передней камеры даже на длине волны 0,32 мкм минимальная величина энергии, необходимая для возникновения нежелательных химических реакций в хрусталике, в 2–3 раза больше, чем соответствующая энергия для роговицы. Поэтому помутнение хрусталика (катаракта) под влиянием ультрафиолетового излучения практически никогда не наблюдается. Поверхностные ожоги роговицы лазерным излучением с длиной волны в пределах ультрафиолетовой области спектра устраняются в процессе самозаживания.

Для лазерного излучения с длиной волны 0,4–1,4 мкм критическим элементом органа зрения является сетчатка (Несмотря на то, что и здесь (при больших мощностях) может происходить повреждение переднего отдела глаза, основное значение приобретает повреждение сетчатки, которое начинает происходить при уровнях энергии еще не вызывающих повреждения прозрачных сред глаза.) Она представляет собой функционально наиболее значимый элемент глаза, обладает высокой чувствительностью к электромагнитным волнам видимой области спектра и характеризуется большим коэффициентом поглощения электромагнитных волн видимой, инфракрасной и ближней ультрафиолетовой областей.

Повреждение глаза может изменяться от слабых ожогов сетчатки, сопровождающихся незначительными или полностью отсутствующими изменениями зрительной функции, до серьезных повреждений, приводящих к ухудшению зрения и даже к полной его потере.

Длительное облучение сетчатки в видимом диапазоне на уровнях, не намного меньших порога ожога, может вызывать необратимые

изменения в ней. Длительное облучение глаза в диапазоне ближнего инфракрасного излучения может привести к помутнению хрусталика.

Повреждение сетчатки обязательно сопровождается нарушением функции зрения. Клетки сетчатки, как и клетки центральной нервной системы, после повреждения не восстанавливаются.

Повреждения сетчатки под влиянием лазерного излучения можно разделить на две группы. К первой относятся временные нарушения зрительной функции глаза без видимых изменений глазного дна. Примером такого повреждения является ослепление от яркости световой вспышки. Ко второй относятся повреждения, сопровождающиеся разрушением сетчатки, проявляющиеся в виде ермического повреждения ожогового или «взрывного» характера.

Ослепление от яркости световой вспышки является самым слабым проявлением поражающего действия лазерного излучения. Оно носит обратимый характер и выражается в возникновении «слепого пятна» в поле зрения. Результатом такого ослепления является полный распад зрительного пигмента в фоторецепторах сетчатки под действием видимого света большой яркости. Ослепление наступает при наблюдении источника яркого света, который создает на роговице плотность излучения порядка 150 Вт/см^2 . Восстановление зрительного пигмента в фоторецепторах сетчатки иногда затягивается на несколько минут.

Воздействие на глаз сверхпороговых интенсивностей излучения вызывает тепловой ожог глазного дна с необратимым повреждением сетчатки. Минимальное повреждение проявляется мельчайшим, видимым в офтальмоскоп изменением сетчатки, представляющим собой небольшое белое пятно из свернувшихся белков с областью кровоизлияния в центре. Поврежденный участок окружен зоной отека. Спустя несколько дней на месте повреждения появляется рубец из соединительной ткани, не способный нести функцию зрительного восприятия.

Импульсное лазерное излучение представляет большую опасность, чем непрерывное, так как в этом случае повреждение глазного дна вызывается комбинированным действием – термическим и механическим. Механическое действие излучения проявляется в виде «взрыва» зерен меланина, причем сила «взрыва» такова, что зерна пигмента выбрасываются в стекловидное тело.

Облучение менее интенсивными уровнями может вызывать начальные изменения, при которых восстановление зрительной функции возможно, однако считается, что повторное облучение при таких

же, достаточно низких энергетических уровнях может привести к невосстанавливаемым повреждениям.

При воздействии лазерного излучения на сетчатку особенно опасны повреждения центральной ямки и желтого пятна – наиболее важных функциональных областей глаза. Повреждение этих областей сопровождается почти полной потерей зрения. Чем больше угол между зрительной осью и направлением падения лазерного луча, тем меньше степень нарушения функции зрения.

Непроизвольные движения глазного яблока приводят к тому, что отдельные участки сетчатки изменяют свое положение относительно падающего излучения много раз в секунду. Поэтому непрерывное и импульсно-периодическое излучение вызывают повреждения сетчатки в области, большей, чем площадь сфокусированного на ней изображения, даже в том случае, если во время облучения пучок не отклоняется от прямой линии видения.

В стекловидном теле и водянистой влаге передней камеры задерживается около 5 % проходящей через них энергии электромагнитных волн видимой области спектра.

Поглощение энергии излучения различными структурами глаза растет с увеличением длины волны излучения в ближней инфракрасной области. Излучения с длинами волн более 1,4 мкм практически полностью поглощаются в стекловидном теле и водянистой влаге передней камеры. При умеренных повреждениях эти среды глаза способны самовосстанавливаться.

Небольшие ожоги радужной оболочки могут закончиться самозаживлением и не вызывают постоянных нарушений зрения. Тяжелые ожоги приводят к образованию рубцовой ткани, деформации радужной оболочки с потерей остроты зрения. Степень повреждения радужной оболочки лазерным излучением в значительной мере зависит от ее окраски. Например, зеленые и голубые глаза характеризуются большим повреждением, а карие – небольшим.

Лазерное излучение средней инфракрасной области спектра может причинить тяжелое повреждение роговице, сопровождающееся денатурацией белков и полной потерей прозрачности (образованием бельма). Главный механизм воздействия инфракрасного излучения – тепловой. Степень теплового повреждения роговицы зависит от поглощенной дозы излучения, причем травмируется не сосудистая оболочка, расположенная глубже, а тонкий эпителиальный слой. Если доза излучения велика, то может произойти полное разрушение за-

щитного эпителия с одновременным помутнением радужной оболочки из-за коагуляции белка и хрусталика, развивается катаракта.

Хрусталик повреждается около обожженных участков радужной оболочки. Это свидетельствует о том, что изменения в хрусталике носят вторичный характер, т. е. инфракрасное излучение поглощается пигментным эпителием радужной оболочки и, превращаясь в тепло, приводит к повреждению соседних участков хрусталика.

Таким образом, лазерное излучение оказывает повреждающее действие на все структуры органа зрения. Основным механизмом повреждений – тепловое действие.

При оценке допустимых уровней энергии лазерного излучения необходимо учитывать суммарный эффект, производимый им как на прозрачные среды глаза, так и на сетчатку и сосудистую оболочку.

Оценим действие лазерного излучения на сетчатую оболочку глаза.

Оптические свойства глаза играют большую роль при определении повреждения сетчатки. При этом учитываются также качество изображения, размер зрачка (соответственно освещенность, создаваемая на сетчатке), спектральное поглощение и рассеяние средами глаза, а также спектральная отражательная способность глазного дна и рассеяние в различных слоях сетчатки.

Размер зрачка в значительной мере определяет количество энергии излучения, попадающей в глаз и, следовательно, достигающей сетчатки. Для глаза, адаптированного к темноте, диаметр зрачка колеблется от 2 до 8 мм; при дневном свете обычно диаметр зрачка составляет 2–3 мм, при взгляде на Солнце зрачок сужается до 1,6 мм в диаметре. Величина поступающей внутрь глаза световой энергии пропорциональна площади зрачка. Следовательно, суженный зрачок пропускает световой поток в 15–25 раз меньше, чем зрачок расширенный.

Площадь изображения источника излучения на сетчатке зависит от его углового размера, определяемого в основном расстоянием до источника. Для большинства неточечных источников размер изображения на сетчатке вычисляется по законам геометрической оптики. Зная эффективное фокусное расстояние l нормального расслабленного глаза (для аккомодированного на бесконечность глаза $f = 1,7$ см), можно вычислить размер D_r изображения источника лазерного излучения на сетчатке в том случае, если известны расстояние r до источника и размер D_i самого источника излучения:

$$D_r = \frac{D_i \cdot f}{r}. \quad (2.1)$$

Из этой формулы следует:

$$\frac{A_i}{A_r} = \frac{r^2}{f^2}, \quad (2.2)$$

где A_i – площадь источника излучения; A_r – площадь изображения источника излучения на сетчатке.

Данные формулы справедливы для источников с угловыми размерами до 20° . При угловых размерах, больших 20° , ошибка в определении D_r может составить более 5 %.

Интенсивность облучения W_c роговицы и энергетическая яркость W_y лазерного источника с небольшими угловыми размерами пропорциональны и связаны выражением

$$W_y = \frac{W_c}{\Omega_s} = W_c \frac{r^2}{A_i} = W_c \frac{f^2}{A_r}, \quad (2.3)$$

где Ω_s – телесный угол, под которым виден источник излучения.

Полная энергия W_r , проникающая в глаз через зрачок площадью A_c и достигающая сетчатки, определяется из выражения

$$W_r A_r = r W_c A_c = r W \frac{\pi d_p^2}{4}, \quad (2.4)$$

где d_p – диаметр зрачка.

Поэтому для источников лазерного излучения с небольшими угловыми размерами количественную зависимость между полной энергией, проникающей в глаз, и яркостью источника можно выразить следующим образом:

$$W_r = \frac{\pi \cdot d_p^2 \cdot W_y \cdot r}{4 \cdot f^2} \approx 0,27 \cdot d_p^2 \cdot W_y \cdot r, \quad (2.5)$$

где f – фокусное расстояние глаза, равное 1,7 см.

Уравнение (2.5) имеет большое практическое значение, поскольку дает возможность вычислить допустимую яркость лазерного источника исходя из допустимой интенсивности облучения или освещенности сетчатки, не обращаясь к углу наблюдения.

Биологические эффекты воздействия лазерного излучения на кожу. Кожа является первой линией защиты организма от повреждения лазерным излучением. Кожа представляет собой не просто механический барьер, а важный, физиологически активный орган, обширные повреждения которого могут привести к гибели организма.

Степень повреждения кожи зависит от первоначально поглощенной энергии. Повреждения кожи, вызванные лазерным излучением, могут быть различными: от легкой эритемы (покраснения) до поверхностного обугливания и, в конечном счете, до образования глубоких дефектов кожи. Особенно значительные повреждения наблюдаются на пигментированных участках, например, на родимых пятнах, на местах с сильным загаром, или коже, обладающей естественным темным цветом. При воздействии на светлую кожу лазерное излучение проникает в подкожные ткани и повреждает расположенные в них сосуды и нервы.

Повреждения кожи, вызванные воздействием лазерного излучения, близки по характеру к термическим ожогам и отличаются от них тем, что поврежденный участок имеет четкую границу, за которой находится небольшая область покраснения. Пузыри, образующиеся при воздействии лазерного излучения, располагаются в эпидермисе, а не под ним. Вблизи поврежденных участков обнаруживаются свободные радикалы и другие признаки ионизации, что позволяет предполагать наличие кроме теплового других механизмов повреждения кожи.

С повышением энергии излучения происходит увеличение размеров очагов поражения. Облучение кожи несфокусированным излучением с энергией около 100 Дж приводит к утрате чувствительности облученного участка на несколько дней (без видимых повреждений). Под влиянием облучения изменяется активность некоторых ферментов, наблюдается образование в коже свободных радикалов. Гистохимические и люминесцентно-микроскопические исследования кожных покровов после воздействия лазерного излучения позволяют обнаружить определенные нарушения в углеводном и липидном (жировом) обменах кожи.

Длительное воздействие на кожу ультрафиолетового излучения ускоряет ее старение и может служить предпосылкой для злокачественного перерождения клеток. Облучение обширных участков кожи вызывает определенные сдвиги в обмене веществ, системе кроветворения, внутренних органах. Пороговые уровни энергии лазерного излучения, воздействующие на кожу, значительно выше пороговых уровней, воздействующих на глаза.

Минимальное повреждение кожи образуется при воздействии лазерного излучения с плотностью энергии 0,1–1 Дж/см² (в зависимо-

сти от степени окраски кожи и длительности воздействия). Наибольшее биологическое воздействие оказывает лазерное излучение с длинами волн 0,28–0,32 мкм. Оно наиболее глубоко проникает в кожу и обладает выраженным канцерогенным действием. Биологические эффекты, возникающие при облучении кожи лазерным излучением в зависимости от длины волны, приведены в табл. 2.1.

Действие лазерного излучения на внутренние органы. Лазерное излучение (особенно дальней инфракрасной области спектра) способно проникать через ткани тела и взаимодействовать с биологическими структурами на значительной глубине, поражая внутренние органы. Механизм образования повреждений объясняется тепловым действием сфокусированного излучения или влиянием ударной волны.

Важной особенностью воздействия лазерного излучения на внутренние органы является чередование поврежденных и неповрежденных слоев тканей. Согласно одной из гипотез это явление связано с эффектом стоячих волн, которые образуются в результате отражения падающего излучения от костных поверхностей или границ между различными тканями. Поврежденные участки ткани совпадают с пучностями, где плотность потока энергии многократно возрастает по сравнению с плотностью потока энергии падающего излучения. Подобные повреждения могут не вызывать боли непосредственно после облучения и не выявляться при внешнем осмотре.

Таблица 2.1

Биологические эффекты, возникающие при облучении кожи лазерным излучением

Ультрафиолетовая область	Видимая область	Инфракрасная область
Различные фотохимические реакции, эритема, разрыв химических связей у большинства молекул, входящих в состав живой ткани, различные перерождения, стимулирование появления новообразований, образование свободных радикалов, действие на внутренние органы	В основном термическое действие	Выраженные деструктивные изменения термического характера (ожоги различной степени), микроскопические (гистологические и гистохимические) изменения, поражение внутренних органов
<i>Примечание.</i> Могут возникать изменения со стороны органов дыхания, пищеварения, сердечно-сосудистой и эндокринной систем, нарушение обмена веществ		

Наибольшую опасность для внутренних органов представляет сфокусированное лазерное излучение. Однако необходимо учитывать, что и несфокусированное излучение может фокусироваться в глубине ткани тела человека. Степень повреждения внутренних органов в значительной мере определяется интенсивностью потока излучения и цветом окраски органа. Так, печень является одним из наиболее уязвимых внутренних органов. Тяжесть повреждения внутренних органов также зависит от длины волны падающего излучения. Наибольшую опасность представляют излучения с длинами волн, близкими к спектру поглощения химических связей органических молекул, входящих в состав биологических тканей.

Воздействие лазерного излучения на организм в целом. В опытах на животных и при клиническом обследовании лиц, работающих с лазерами и подвергающихся воздействию малых доз излучения, показана возможность неблагоприятного действия лазерного излучения и на организм в целом.

У части работающих наблюдаются патологические изменения, проявляющиеся в виде функциональных расстройств в деятельности центральной нервной системы, что выражается в повышенной возбудимости нервных процессов.

Имеют место также явления вегетативно-сосудистой дисфункции, нарушения сердечно-сосудистой регуляции. Это проявляется в неустойчивости артериального давления крови, повышенной потливости, склонности пульса к замедлению.

У операторов лазерных установок иногда наблюдают повышенные раздражительность, утомляемость глаз и всего организма. Имеются данные об определенных изменениях в показателях периферической крови, выражающихся в общем уменьшении клеточных элементов и в первую очередь гемоглобина, тромбоцитов, эритроцитов и лейкоцитов.

Экспериментальные данные показывают, что с помощью микровоздействия низкоэнергетического излучения газовых лазеров оказывается возможным направленно изменить внутриклеточные биохимические процессы; в одних случаях стимулировать эти процессы, в других – вызывать их торможение.

Так, замечено, что в определенных дозах красное монохроматическое излучение гелий-неонового лазера действует как биологической стимулятор, вызывая повышение регенеративной способности тканей.

Облучение глаз лазерным излучением сопровождается развитием дистрофических изменений в коре головного мозга.

Все это свидетельствует о том, что у людей, работающих с лазерными установками, могут возникать как патологические изменения, обусловленные тепловым механизмом действия излучения, так и различного характера функциональные изменения, обусловленные скрытыми биологическими эффектами. Чаще жалуются специалисты, работающие с излучением видимого диапазона в условиях малой освещенности, при сравнительно продолжительных воздействиях излучений на глаза, в тесных, мало приспособленных для проведения соответствующих работ помещениях.

В ряде случаев функциональные нарушения самостоятельно не проходят и требуют медицинского вмешательства. Несомненно большое значение в уменьшении неблагоприятного действия лазерного излучения на организм имеет строгое соблюдение соответствующих инструкций, правил и рекомендаций по технике безопасности при работе с лазерами. Меры безопасности при работе с лазерами складываются из использования общих (коллективных) и индивидуальных средств защиты и выполнения общих и индивидуальных мер предосторожности.

Общие меры предосторожности. Запрещается прямо смотреть на луч лазера или на его зеркальное отражение, если плотность энергии превышает допустимые для глаза уровни облучения.

Не следует наводить луч лазера, глядя на него невооруженным глазом, так как необходимость наблюдения вдоль оси лазерного луча значительно увеличивает опасность поражения органа зрения в результате отражения.

Необходимо принимать меры, исключая возможность приближения персонала к предполагаемой траектории пучка с любой стороны. Точки фокусировки пучка при работе ОКГ должны быть защищены диафрагмами; в конце пучка устанавливается ловушка для поглощения излучения и защиты от брызг, испарений и аэрозолей, выделяемых веществом. Для уменьшения рассеяния света линзы, кюветы, призмы и другие устройства, стоящие на пути распространения светового пучка, должны снабжаться блендами. На конечном участке лазерного луча рекомендуется устанавливать мишень.

Все автоколлимационные оптические устройства и другие приспособления для визуальной юстировки ОКГ должны быть снабжены постоянно смонтированными защитными фильтрами с полосой поглощения, включающей как основную частоту лазера, так и ее наибо-

лее интенсивные гармоники. Защитные стекла фильтров необходимо периодически проверять, чтобы гарантировать их оптическую плотность. Эти проверки необходимы, так как в процессе работы с мощными световыми потоками защитные стекла (очки) могут изменить свои первоначальные оптические характеристики.

Нужно всегда помнить, что защитные очки с фильтрами, задерживающими излучение на частоте, генерируемой данной установкой, обеспечивают лишь частичную защиту. Необходимо использовать только те очки, которые рассчитаны на защиту от излучения данного лазера, при этом должна быть исключена возможность ошибочного применения очков, рассчитанных на другую длину волны. С этой целью рекомендуется применять оправы различного цвета, а на светофильтре указывать его оптическую плотность. Защитные очки, подвергшиеся воздействию излучения с высокой плотностью потока, могут частично утратить свои защитные свойства, и потому должны изыматься из употребления.

В процессе работы с лазерным излучением может появиться необходимость прерывания лазерного луча огнестойкой мишенью. И в этом случае обслуживающий персонал должен находиться на достаточно большом расстоянии от лучепроводящего тракта. В некоторых случаях целесообразно даже ограждать весь тракт, используя для этой цели волноводы (световоды).

Работы с лазерами должны проводиться при ярком общем освещении. В этом случае размеры зрачка наименьшие, что способствует уменьшению энергии излучения, которая может случайно попасть в глаз.

Если работы с мощным лазером проводятся на открытом пространстве, то в этом случае запрещается передвижение людей и транспорта, в том числе и воздушного, в пределах потенциально опасных зон.

На лазерных установках средней мощности необходимо использовать блокировки и автоматические затворы для защиты глаз операторов. При работе с открытыми установками ОКГ запрещается вносить в зону луча блестящие предметы.

При проведении работ с импульсными ОКГ, работающих в импульсном режиме с очень малой частотой следования импульсов (менее 0,1 Гц), должна быть установлена сигнализация: световая – во время заряда конденсаторной батареи и звуковая – за 2–3 с перед излучением мощного импульса. На дверях помещения, в котором расположены особо мощные ОКГ, устанавливается предупредительная

сигнализация в виде световых табло, включающихся автоматически с началом заряда батарей конденсаторов. Световые сигналы должны быть хорошо различимы через защитные очки.

При использовании батарей конденсаторов с энергией полного заряда менее 15000 Дж они могут располагаться в одном помещении с пультом управления. Батареи большей энергии заряда следует располагать в соседнем блокируемом помещении или вне помещения, так как они могут при заряде разрушаться.

Ограждения, препятствующие проходу людей в зону с повышенной интенсивностью облучения, должны быть изготовлены из непрозрачного теплостойкого материала и могут представлять собой экраны, щиты, шторы, занавески и т. п.

Мишень – устройство, ограничивающее распространение лазерного луча, должно быть изготовлена из несгораемого и неплавящегося материала. Для создания рассеянного отражения поверхность мишени должна быть матового цвета, с возможно меньшим коэффициентом отражения света на частоте излучения лазера. Окружающие мишень поверхности рекомендуется окрашивать в светлый цвет для создания более благоприятных условий адаптации глаз. Широкое распространение получили мишени, выполненные из асбоцемента. Еще лучше полностью исключить необходимость непосредственного наблюдения воздействия лазерного луча на мишень. Для этой цели удобны устройства, включающие в себя отражающие фокусирующие приспособления с диффузионными экранами и телевизионной системой. Детектор света, размещенный в лаборатории, может дать необходимое представление об опасности отраженных лазерных лучей.

При работе с лазерами следует всегда соблюдать правила пожарной безопасности. Даже при работе с маломощными лазерами существует опасность возникновения пожара и взрывов от взаимодействия лазерного излучения с некоторыми растворителями. Для уменьшения вредных последствий от взрывов рекомендуется ставить ловушки, укрепляемые над лазерной установкой.

Индивидуальная защита. Ввиду того, что воздействие лазерного излучения, особенно диффузно отраженного, на организм человека изучено недостаточно и предельно допустимые гигиенические нормы по монохроматическим излучениям в видимой и в соседних с ним областях оптического диапазона пока еще твердо не установлены, при решении вопросов защиты от излучений ОКГ следует стремиться к уменьшению плотностей потоков энергии на рабочих местах.

Индивидуальная защита глаз достигается применением специальных светофильтров, оптическая плотность которых на всех длинах волн, излучаемых ОКГ, должна быть достаточно большой для того, чтобы снизить интенсивность облучения глаз до безопасной величины. В качестве светофильтров рекомендуется применять стекла с соответствующей оптической плотностью.

Цветные стеклянные фильтры обеспечивают ослабление не более чем в 10^9 раз, очки с диэлектрическими покрытиями – не более чем в 10^8 .

Спектральная характеристика светофильтра очков должна обеспечивать не только достаточное подавление излучения ОКГ, но и пропускание большей части частотного спектра видимого света, с тем, чтобы работающий сохранил способность видеть достаточно хорошо предметы, за которыми он ведет наблюдение и которыми манипулирует, а также свет ламп, используемых в системе световой сигнализации.

Форма оправы защитных очков должна быть такой, чтобы полностью исключить возможность попадания излучения ОКГ внутрь очков через щели между оправой и лицом; оправа должна обеспечивать широкое поле зрения.

Во избежание утомления глаз из-за запотевания стекол оправы очков должна иметь светонепроницаемые щели для вентиляции. Целесообразно иметь набор очков с коробчатой оправой, не препятствующей одновременному пользованию обычными корректирующими очками. В паспорте на очки должен быть указан диапазон длин волн, на которые очки рассчитаны, а также указана величина оптической плотности светофильтров.

Для защиты глаз при работе с аргоновым лазером целесообразно использовать защитные очки и экраны из плексигласа янтарного цвета или из пластмассы рубиновой окраски. Так, при работе с аргоновыми лазерами с мощностью излучения 3–10 Вт можно использовать плексиглас типа «2442» янтарного цвета с оптической плотностью 2. Наряду с защитой от основного излучения аргонового лазера необходима также защита от ультрафиолетового излучения, исходящего от газоразрядных трубок лазерной установки.

Защита от ультрафиолетовых и инфракрасных лучей наиболее ответственна, так как глаз человека не восприимчив к ним.

При работе с такими лазерами (например, с лазерами на углекислом газе) мишень должна тщательно экранироваться, а руки и одежду следует держать как можно дальше от нее.

Надежную защиту глаз от невидимого инфракрасного излучения газового лазера на углекислом газе обеспечивает фильтр, выполненный из двух пластинок плавленого кварца.

Излучение газового лазера на гелий-неоне с генерируемой длиной волны 0,63 мкм эффективно задерживается фильтром из стекла Вg-18. Однако газовые и полупроводниковые лазеры могут генерировать помимо ультрафиолетового излучения и многие волны инфракрасной области, при этом инфракрасное излучение благодаря незначительной мощности какого-либо неблагоприятного воздействия на глаз (при кратковременном действии) не оказывает. Однако облучение на протяжении длительного времени может вызывать необратимые поражения глаз.

Лазеры на углекислом газе с длиной волны излучения 10,6 мкм и мощностью свыше 100 мВт могут вызвать ожоги поверхностных слоев роговицы, поскольку такое излучение почти полностью ею поглощается.

В соответствии с ГОСТ 9411–66 для применения в светофильтрах защитных очков рекомендованы следующие марки стекол (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Некоторые параметры стекол, используемых для светофильтров

Диапазон длин волн, поглощаемых стеклом, нм	Тип стекла	Марка стекла
Меньше 350	ЖС – желтое стекло	ЖС10, ЖС11
450	ЖС – желтое стекло	ЖС17, ЖС18
540	ОС – оранжевое стекло	ОСИ, ОС12

При работе с лазерами персонал должен быть одет в халаты, пользоваться защитными перчатками, специальными экранами для защиты кожи и защитными очками. В первую очередь следует обеспечить надежную защиту от прямого излучения.

Таковы общие и индивидуальные меры по обеспечению требований безопасности при работе с когерентными источниками света.

Ход выполнения работы

1. В лабораторной работе предлагается исследовать эффективность применения различных светофильтров для разных источников монохромного излучения.

2. Лабораторный стенд состоит из двух, независимо подключаемых к питающей цепи источников оптического излучения, тубуса для размещения светофильтров и фотоприемника.

3. Подключить один из источников излучения и, поочередно размещая на пути светового потока светофильтры, определить коэффициент ослабления по формуле

$$k_{\text{осл}} = \frac{U_{\text{Ф}}}{U_{\text{пр}}},$$

где $U_{\text{Ф}}$ – напряжение на выходе фотоприемника при установленном светофильтре; $U_{\text{пр}}$ – напряжение на выходе фотоприемника без ослабления.

4. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

Тип светофильтра	Первый источник		Второй источник	
	$U_{\text{Ф}}$, мВ	$k_{\text{осл}}$	$U_{\text{Ф}}$, мВ	$k_{\text{осл}}$

Сделать выводы о пригодности типа светофильтра к конкретному типу излучения.

Содержание отчета: цель работы, таблица результатов измерений, выводы.

Контрольные вопросы

1. Основные, опасные и вредные производственные факторы при эксплуатации лазерного оборудования.

2. Патологические эффекты воздействия лазерного излучения на глаза.

3. Как определить энергию лазерного излучения, проникающую в глаз через зрачок?

4. Биологические эффекты воздействия лазерного излучения на кожу.

5. Каково действие лазерного излучения на внутренние органы?

6. Патологические изменения в организме человека при воздействии лазерного излучения.

7. Общие правила безопасности при работе с лазерным излучением.

8. Перечислить индивидуальные средства и правила защиты от лазерного излучения.

Литература

1. Рахманов, Б. Н. Безопасность при эксплуатации лазерных установок / Б. Н. Рахманов, Е. Д. Чистов. – Москва : Машиностроение, 1981.
2. Лазерное излучение / под ред. В. Я. Гранкина. – Москва : Изд-во М-ва обороны СССР, 1977.

Лабораторная работа № 3

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

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

Общие сведения

Шум – вредный производственный фактор, влияющий на нервную и сердечно-сосудистую системы человека. Он является одним из видов загрязнения окружающей среды. Ограничению его вредного воздействия служит санитарное нормирование шума – установление допустимых параметров шума на рабочем месте. Нормируемым параметром является уровень звукового давления. Уровнем звукового давления в децибелах называется величина

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (3.1)$$

где P – среднеквадратичное значение звукового давления за интервал измерения, дБ; P_0 – опорное значение звукового давления, равное $2 \cdot 10^{-5}$ дБ.

Ввиду того, что человеческое ухо воспринимает уровень звукового давления нелинейно в диапазоне частот, уровень звука с целью санитарных норм принято оценивать по относительным частотным характеристикам с обозначениями A, B, C, D . Все шумомеры должны иметь частотную характеристику A . Шумомеры, включая микрофон, дополнительно могут иметь частотные характеристики B, C, D или некоторые из них в соответствии с рис. 3.1.

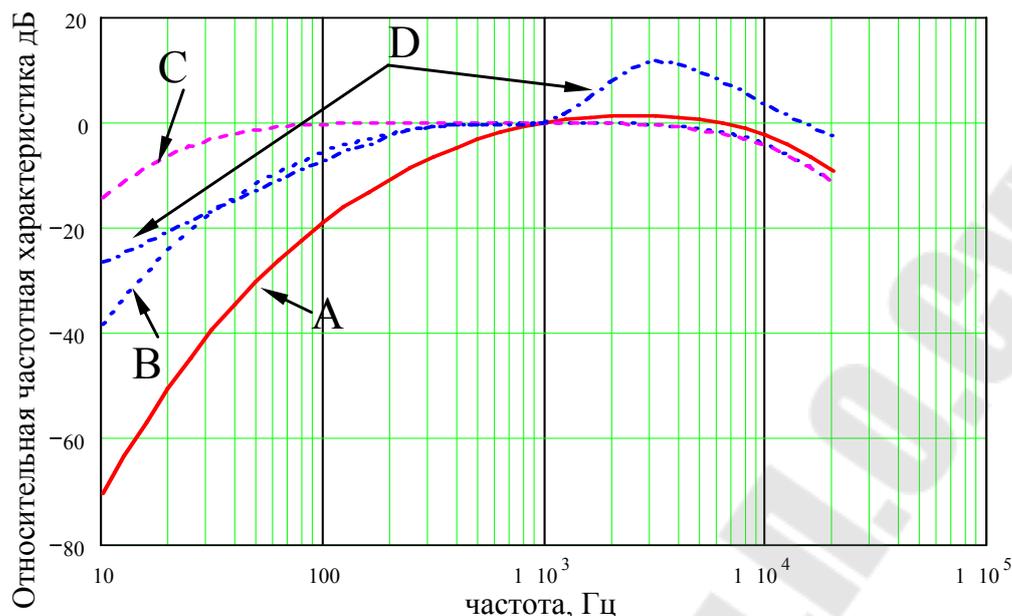


Рис. 3.1. Стандартизированные частотные характеристики шумомеров

Для ориентировочной оценки шума введены допустимые уровни звука в децибелах по шкале *A* шумомера (дБА), уровень, определяемый по этой шкале, принято обозначать L_A .

В большинстве случаев значение звукового давления во времени и в частотном диапазоне величина не постоянная. При оценке уровней шума при анализе обстановки пользуются следующей терминологией:

- постоянный шум – шум, уровень которого изменяется во времени не более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике шумомера «медленно»;
- не постоянный шум – шум, уровень звука которого изменяется во времени более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике шумомера – «медленно»;
- колеблющийся шум – непостоянный шум, уровень звука которого непрерывно изменяется во времени;
- прерывистый шум – непостоянный шум, уровень звука которого периодически резко падает до уровня фонового шума, причем длительность интервалов, в течении которых уровень звука остается постоянным и превышающим уровень фонового шума, составляет более 1 с;
- импульсный шум – непостоянный шум, состоящий из одного или нескольких звуковых импульсов, каждый длительностью менее 1 с, при этом уровни звука, дБА, измеренные при включении временных характеристик «медленно» и «импульс» шумомера, отличаются не менее чем на 7 дБА.

Обычно шум непостоянный как по величине так и по спектру поэтому непостоянные уровни шума принято характеризовать эквивалентным (по энергии) уровнем звука – $L_{Aэкв}$, дБА – величиной определяемой по формуле

$$L_{Aэкв} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \right], \quad (3.2)$$

где $P_A(t)$ – изменяющееся во времени звуковое давление, измеренное при включении частотной характеристики «А» измерительной аппаратуры, Па; T_m – продолжительность измерения шума, мин.

Определение шума по (1) реализуют автоматизированные измерители, позволяющие выполнять измерения на достаточно малых промежутках времени dt . Измерение непостоянного шума в ручную выполняют методом серии измерений с равными интервалами и обработкой результатов измерения по формуле

$$L_{Aэкв} = 10 \lg \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1L_{Ai}} \right], \quad (3.3)$$

где L_{Ai} – измеренный уровень звука, дБА, на i -м интервале; N – общее число равных отсчетов за время измерения.

Помимо интегрального показателя, эквивалентного (по энергии) уровня звука, СНиП нормируют среднее значение уровня звука в октавных полосах - допустимое значение уровня звукового давления устанавливается для частотного интервала, который называется октавой. Октава – это частотный интервал, в котором верхняя граничная частота $f_{вг}$ больше нижней граничной $f_{нг}$ в 2 раза:

$$\frac{f_{вг}}{f_{нг}} = 2.$$

Октаву характеризуют среднегеометрической частотой $f_{сг} = \sqrt{f_{вг} \cdot f_{нг}}$. Стандартом установлен ряд среднегеометрических октавных полос: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000. Среднее значение уровня звука в октавных полосах принято определять по формуле

$$L_m = 10 \lg \sum_{i=1}^N 10^{0,1L_i} - 10 \lg n, \quad (3.4)$$

где L_i – i -й из усредненных уровней звука в октавной полосе, дБ.

Как правило, допустимые уровни представляют в виде кривых, называемых предельными спектрами (ПС). Предельный спектр получает номера по числу децибел, которые допускаются в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц. В зависимости от рода выполняемой работы различаются ПС-45, ПС-55, ПС-60, ПС-75. Для того чтобы определить, удовлетворяет ли шум на рабочем месте санитарным нормам, нужно снять спектрограмму шума в октавных полосах и сравнить с допустимыми для данного вида работы ПС.

Структурная схема шумомера (рис. 3.2) включает микрофон, преобразующий звуковые колебания в электрические.

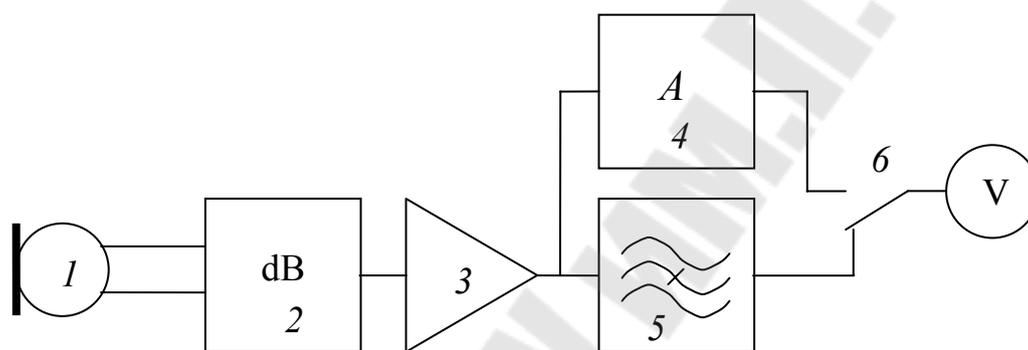


Рис. 3.2. Структурная схема шумомера

Прибор должен работать в широком динамическом диапазоне. Чтобы обеспечить достаточное усиление самых слабых сигналов и избежать перегрузки при прохождении наиболее интенсивных сигналов, шумомер снабжен аттенюаторами (делителями) 2, позволяющими переключать усиление шумомера ступенями по 10 дБ. Усиление осуществляется усилителем 3. Избирательные цепи 4, 5 служат для формирования нужной амплитудночастотной характеристики. Выбор нужной характеристики выполняется переключателем 6. Считывание показаний прибора производится сложением показаний аттенюаторов и стрелочного прибора шумомера V. Шумомер имеет четыре частотных характеристики – A, B, C и линейную, которые создаются корректирующими цепями 4. Линейная характеристика используется при подключении к шумомеру набора фильтров для определения распределения уровней звуковых давлений по частотам. Характеристика A шумомера предназначена для измерений уровней звука по шкале A (дБА).

Уровнем звука в дБА называется скорректированный уровень звукового давления, измеренный шумомером с помощью характеристики A, в которой снижена чувствительность на низких частотах, аналогично

снижению чувствительности к звукам этих частот человеческого уха. Этот параметр позволяет ориентировочно оценить, соответствует ли шум на рабочем месте допустимым уровням или нет, не производя спектрального анализа данного шума.

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

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

Другим способом борьбы с шумом является звукопоглощение.

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

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

Увеличение толщины материала приводит к увеличению коэффициента звукопоглощения на более низких частотах. Объясняется это тем, что для звукопоглощения важна не абсолютная длина пути

звука в материале, а величина пути по отношению к длине звуковой волны $\frac{L}{\lambda}$. При увеличении толщины звукопоглощающего материала

понижается частота, на которой сохраняется отношение $\frac{L}{\lambda} \geq \frac{1}{4}$.

Считается технически и экономически эффективной величина снижения шума в зоне прямого звука в области средних частот (до 800 Гц) не превышает 4–5 дБ, в зоне отраженного звука эта величина составляет 10–12 дБ. При необходимости снижения шума на большую величину звукопоглощающие облицовки следует применять совместно с другими мероприятиями по шумоглушению.

Звукоизоляция. Для звукоизоляции применяют твердые материалы, рассчитанные на то, чтобы не пропустить звук из одного объема в другой за счет его отражения. Простейшим видом звукоизолирующего ограждения является однородная стена, разделяющая два помещения с различными уровнями шума (перегородка).

Собственная звукоизоляция или звукоизолирующая способность стены ($R_{\text{соб}}$) определяется соотношением: $R_{\text{соб}} = 10 \lg \frac{1}{\tau}$ Дб, где τ – коэффициент звукопроводности, равный отношению энергии, прошедшей через стену, к энергии падающей.

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

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

$$R_{\text{ф}} = R_{\text{соб}} + 10 \lg \alpha_{\text{диф}}. \quad (3.5)$$

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

При $\alpha_{\text{диф}} = 1$, $R_{\text{ф}} = R_{\text{соб}}$ – эффект звукоизоляции полностью реализуется без поглощения звуковой энергии.

Наличие щелей и отверстий существенно ухудшает звукоизоляцию.

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

При распространении прямого звука от источника шума за экраном возникает звуковая тень или, другими словами, снижение уровней звукового давления. Экраны наиболее эффективны для снижения шума высоких и средних частот и плохо снижают низкочастотный шум, который за счет эффекта дифракции легко огибает экраны. Снижение уровня звукового давления прямого звука в расчетной точке, расположенной за экраном, называется акустической эффективностью экрана.

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

Обычно экраны изготавливаются из оргстекла, стальных или алюминиевых листов толщиной 1,5–2 мм. Эффективность экрана зависит от его геометрических размеров, частоты звука, взаимного расположения источника, экрана и точки измерения. В помещениях, где велик вклад отраженных сигналов, применение акустических экранов малоэффективно. В этом случае акустические экраны должны применяться совместно с акустической обработкой помещения.

Эффективность любого мероприятия по шумоглушению $L_{\text{п}}$ определяется

$$L_{\text{п}} = L_1 - L_2, \text{ дБ}, \quad (3.6)$$

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

В настоящей лабораторной работе определяется эффективность снижения шума с помощью звукоизолирующего кожуха и звукоизолирующего кожуха, облицованного звукопоглощающим материалом, акустических экранов и перегородок.

Порядок выполнения работы

Перед началом работы включить шумомер и дать ему прогреться не менее 5 мин.

1. Исследование зависимости параметров шумового фона на рабочем месте от частоты. Не включая источник шума, снять рас-

пределение уровней звукового давления от частоты и уровень звука шумовой помехи (проникающих помех) на рабочем месте с характеристикой A . Измерение повторить три раза. Вычислить среднее значение $L_{Aэкв}$ и в каждой октавной полосе L_m . Сделать вывод о характере шума (низко-, средне- или высокочастотный). Измерения проводят на расстоянии не менее 1,5 метра от пола и других препятствий.

2. Исследование зависимости параметров шума на рабочем месте от частоты с включенным источником шума. Измерить уровни звуковых давлений в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц и уровень звука. Каждое измерение произвести не менее трех раз. Определить среднее значение и среднее значение с учетом поправки на шумовой фон в каждой октавной полосе по формуле (3.3). Сопоставить результаты измерений шума с предельно допустимыми нормами. Сделать вывод о соответствии параметров шума допустимым нормам.

3. Исследование средств защиты от шума. ЗаклЮчить источник шума в звукоизолирующий кожух, не содержащий звукопоглотителя. Произвести измерения, аналогичные указанным в п. 1. Определить эффективность звукоизолирующего кожуха в октавных полосах. Объяснить принцип работы звукоизолирующего кожуха.

4. ЗаклЮчить источник шума в звукоизолирующий кожух со звукопоглотителем. Произвести измерения, аналогичные указанным в п. 2. Определить эффективность звукоизолирующего кожуха со звукопоглотителем в октавных полосах. Объяснить, почему эффективность звукоизолирующего кожуха со звукопоглотителем выше, чем без звукопоглотителя (на высоких частотах).

5. Снять кожух с источника шума. Установить между источником шума и микрофоном экран или перегородку (по указанию преподавателя). Произвести измерения, аналогичные указанным в п. 2. Определить эффективность акустического экрана. Объяснить физические принципы действия акустического экрана и перегородки.

Содержание отчета

Отчет должен содержать таблицу с результатами измерений, спектрограммы предельного спектра уровней звукового давления, полученных при измерении источника шума и для измерений с шумопонижающими мероприятиями, расчетные значения шумопонижающих мероприятий в октавных полосах.

Контрольные вопросы

1. Какими параметрами нормируют шумовое воздействие на рабочем месте?
2. Почему амплитудночастотные характеристики измерительного тракта нелинейные, какие характеристики обязательны для всех шумомеров?
3. Дайте определение видов шума.
4. Как определяется эквивалентное шумовое воздействие за интервал времени?
5. Как нормируют уровень шума неравномерного в полосе частот?
6. Что такое октавные полосы, среднегеометрические октавные полосы?
7. Нарисуйте структурную схему шумомера, объясните назначение основных узлов.
8. Перечислите методы снижения шума на рабочем месте.
9. Какими характеристиками обладают поглотители шума?
10. Как связан спектральный состав шума с физическими размерами шумопоглотителя?
11. Как определяется эффективность мероприятий по снижению шума?

Лабораторная работа № 4

АВТОМАТЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Цель работы: изучение основных параметров устройств защитного отключения, методов их контроля и измерения.

Общие сведения

Защитным отключением называется автоматическое отключение всех фаз участка сети, обеспечивающее безопасное для человека сочетание тока и времени его прохождения при замыкании на корпус или снижении уровня изоляции ниже определенного значения.

Назначение защитного отключения – обеспечение электробезопасности, что достигается за счет ограничения времени воздействия опасного тока на человека. Защита осуществляется специальным устройством защитного отключения (УЗО), которое, работая в дежурном режиме, постоянно контролирует ток или потенциал в защищаемой электрической цепи.

Принцип работы УЗО состоит в том, что оно постоянно контролирует входной сигнал и сравнивает его с наперед заданной величиной (уставкой). Если входной сигнал превышает уставку, то устройство срабатывает и отключает защищаемую электроустановку от сети. В качестве входных сигналов устройств защитного отключения используют различные параметры электрических сетей, которые несут в себе информацию об условиях поражения человека электрическим током.

Защитное отключение рекомендуется применять в качестве основной или дополнительной меры защиты, если безопасность не может быть обеспечена путем устройства заземления или зануления или если устройство заземления или зануления вызывает трудности по условиям выполнения или экономическим соображениям.

В жилых и общественных зданиях рекомендуется применение устройств защитного отключения (УЗО) на ток срабатывания не более 30 мА и время срабатывания до 100 мс.

В жилых домах УЗО рекомендуется устанавливать на вводе в квартиру.

При этом номинальный ток УЗО должен быть рассчитан на нагрузку квартиры. Рекомендуется также использование УЗО для переносных электробытовых приборов.

В общественных зданиях область применения УЗО определяется заданием на проектирование.

Наибольший эффект от применения УЗО достигается при его использовании в комплексе с другими защитными мерами, однако в ряде случаев (например, для действующих объектов), когда проведение всего комплекса мероприятий по обеспечению электробезопасности растягивается на длительный период, установка УЗО значительно повышает уровень электробезопасности.

По эффективности действия реальной альтернативы защитному отключению пока не существует, о чем однозначно свидетельствуют результаты научных исследований и успешная практика применения УЗО во всем мире.

В ближайшие годы УЗО будут являться основным и наиболее радикальным электротехническим средством, а это означает, что нормативная база должна развиваться и совершенствоваться, чтобы отвечать требованиям времени.

В настоящее время применение средств УЗО регламентировано требованиями МЭК 1200-53 «Электроустановки зданий (глава 53). Выбор и монтаж электрооборудования. Коммутационная аппаратура и аппаратура управления. Требования к устройству электроустановок зданий».

В данном стандарте разъясняются правила выполнения защиты электроустановок и электрооборудования с учетом времятоковых характеристик устройств защиты (в том числе УЗО), ожидаемых токов короткого замыкания и тепловых характеристик проводников.

В п. 539.3 стандарта рассмотрены вопросы обеспечения селективности работы УЗО в многоступенчатых системах защиты.

Все УЗО, по виду входного сигнала, классифицируют на несколько типов представленных на рис. 4.1.

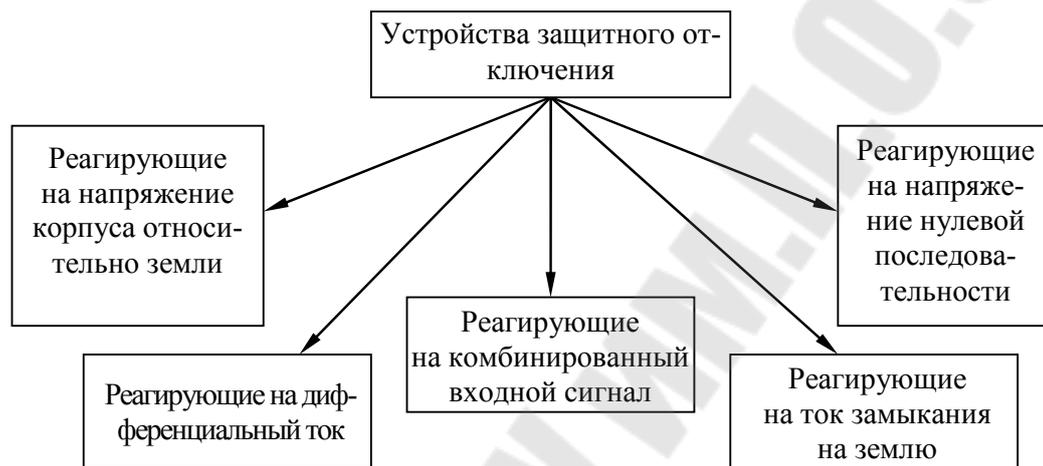


Рис. 4.1. Классификация УЗО по виду входного сигнала

Основными элементами любого устройства защитного отключения являются датчик, преобразователь и исполнительный орган.

Основными параметрами, по которым подбирается то или иное УЗО являются: номинальное напряжение и ток нагрузки, т. е. рабочие параметры электроустановки, уставка; время срабатывания устройства, защитный ток.

Номинальное напряжение (U_n) – действующее значение напряжения, при котором обеспечивается работоспособность УЗО.

Номинальный ток нагрузки (I_n) – значение тока, которое УЗО может пропускать в продолжительном режиме работы.

Номинальный неотключающий дифференциальный ток ($I_{\Delta n0}$) – значение дифференциального тока, которое не вызывает отключение УЗО при заданных условиях эксплуатации $I_{\Delta n0} = 0,5I_{\Delta n}$.

Предельное значение неотключающего сверхтока (I_{nm}) – минимальное значение неотключающего сверхтока при симметричной нагрузке двух и четырехполюсных УЗО или несимметричной нагрузке четырехполюсных УЗО.

Сверхток – любой ток, который превышает номинальный ток нагрузки.

Номинальная включающая и отключающая способность (коммутационная способность) (I_m) – действующее значение ожидаемого тока, который УЗО способно включить, пропускать в течение своего времени размыкания и отключить при заданных условиях эксплуатации без нарушения его работоспособности. Минимальное значение $I_m = 10 \cdot I_n$, типовое $I_m = 12 \cdot I_n$.

Номинальное время отключения (T_n) – промежуток времени между моментом внезапного возникновения отключающегося дифференциального тока и моментом гашения дуги на всех полюсах. Значения максимально допустимого времени отключения УЗО определяются в соответствии с ГОСТ 12.1.038–82.

Основные принципы работы УЗО

1. Реагирующие на потенциал корпуса или стекающий ток, относительно земли. Функциональная схема этого типа защиты приведена на рис. 4.2.

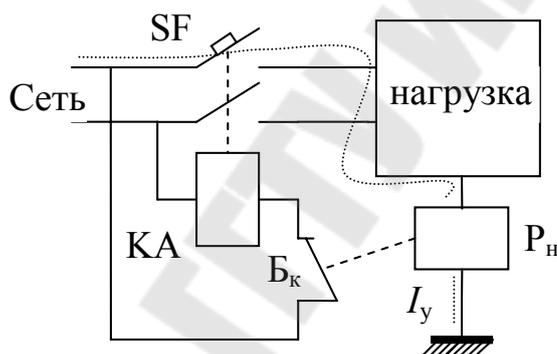


Рис. 4.2. Схема защитного отключения с реакцией на напряжение корпуса относительно земли или тока, стекающего на землю

Работает схема следующим образом. Нарушение изоляции нагрузки вызывает стекание тока I_y с корпуса устройства на заземляющий проводник через обмотку реле P_n . Определенный уровень этого тока приводит к срабатыванию реле и размыканию блокировочных контактов B_k в цепи питающего контактора. Значение тока или напряжения срабатывания реле P_n является уставкой в данной системе защиты.

К достоинствам данного метода необходимо отнести его простоту и низкую стоимость, к недостаткам – зависимость уровня защиты от параметров электромагнитного реле P_n , необходимость защитного заземления либо цепи стекания тока утечки I_y .

2. Защитное отключение, реагирующее на максимально допустимый ток в питающей сети. Функциональная схема защиты приведе-

на на рис. 4.3. Принцип действия основан на разблокировании затворного механизма ЗМ электромагнитами КТ1, КТ2 при превышении тока уставки в питающей сети. В настоящее время это наиболее распространенный метод защиты, используемый в автоматах защиты АП-50, АЕ-2000. Применение этого метода позволяет реализовать пожарную защиту и защиту от поражения электрическим током в сетях с заземленными потребителями.

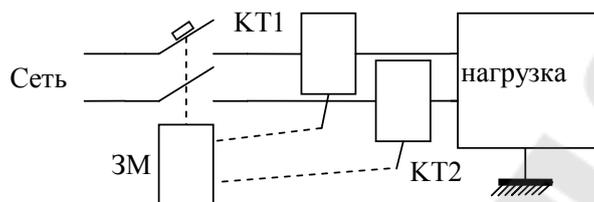


Рис. 4.3. Схема защиты, реагирующей на ток замыкания на землю

Схема УЗО, реагирующего на дифференциальный ток нагрузки, приведена на рис. 4.4. Принцип действия такого вида защиты основан на контроле баланса магнитных потоков в сердечнике дифференциального токового трансформатора T_i . Если токи и наводимые ими потоки в обмотках W_{i1} , W_{i2} равны, то на выводах индикаторной обмотки W_u отсутствует напряжение. Разбаланс токов в проводах, вызванный стеканием тока на землю либо тело человека, формирует на выводах W_u напряжение, пропорциональное разбалансу токов. Это напряжение усиливается и сравнивается с уставкой $U_{уст}$ устройством сравнения, которое управляет механизмом КА размыкания контактов SF.

Преимущество данного метода в том, что для его реализации нет необходимости формирования потенциала для сравнения. Совместно с максимальной токовой защитой данный принцип позволяет в полной мере обеспечить защиту электрической сети любой конфигурации. Недостатком дифференциального метода считается его чувствительность к электромагнитным импульсам и помехам, что усложняет реализацию селективности защиты.

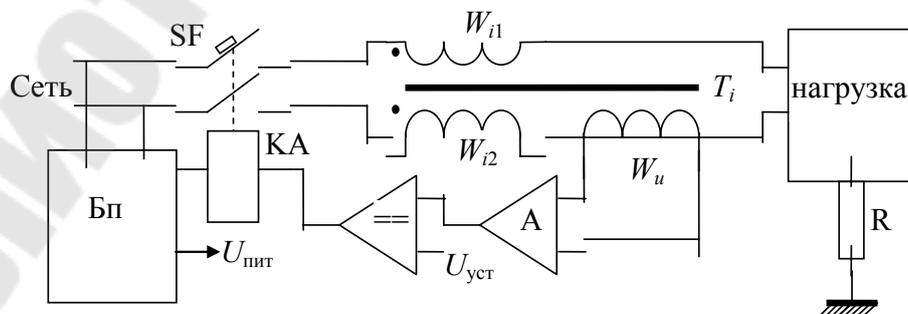


Рис. 4.4. Функциональная схема УЗО, реагирующего на дифференциальный ток нагрузки

Защитное отключение с реакцией на напряжение нулевой последовательности функционально представлено на рис. 4.5. В этой схеме в качестве датчика сигнала на отключение используется так называемый фильтр нулевой последовательности. Фильтр, состоящий из трех конденсаторов, включенных звездой, в нулевую точку которого включено реле максимального напряжения.

При равенстве проводимостей (сопротивлений) изоляции фаз относительно земли напряжение нулевой последовательности, приложенное к обмотке реле KV, равно нулю. При повреждении изоляции одной фазы и при увеличении ее проводимости симметрия фазных напряжений нарушается и появляется напряжение тем большее, чем больше проводимость изоляции поврежденной фазы. В результате этого реле срабатывает и отключает установку.

Недостатком данного метода можно считать ограниченность его применения только в трехфазных сетях с изолированной нейтралью.

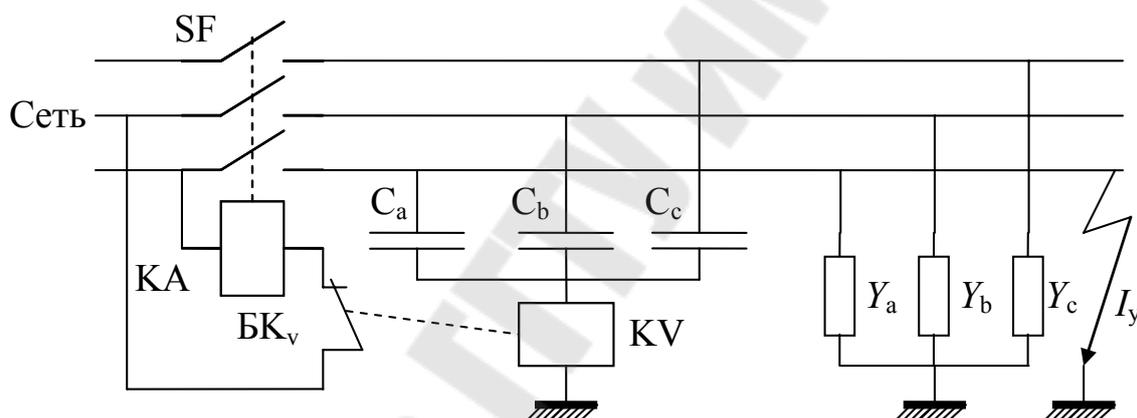


Рис. 4.5. Защитное отключение с реакцией на величину напряжения нулевой последовательности

Ход работы

1. Измерение параметров максимальной токовой защиты.

В начале необходимо произвести измерение отключающего тока исследуемого автоматического выключателя по следующей методике:

- Установить ЛАТР Т1 в минимальное напряжение.
- Включить стенд, исследуемый автоматический выключатель, а также короткозамыкатель SF2.
- Плавно повышая напряжение при помощи ЛАТРа, контролировать ток в цепи исследуемого выключателя в момент срабатывания. Опыт необходимо повторить не менее 3-х раз и определить среднее значение тока срабатывания, а также напряжение на выходе трансформатора.

- Используя результаты предыдущего опыта, выполняют измерение времени срабатывания:
 - Выключить короткозамыкатель SF2, включить стенд и исследуемое устройство защиты.
 - Увеличить напряжение на выходе трансформатора в 1–2 раза от уровня срабатывания, для надежного срабатывания защиты.
 - Включить короткозамыкатель SF2 и заметить максимальное напряжение на выходе схемы измерения времени. Для трех измерений определить время срабатывания по формуле

$$t_{\text{ср}} = k_{\text{и}} \cdot U, \quad (4.1)$$

где $k_{\text{и}}$ – коэффициент измерителя, значение которого приведено на стенде. По результатам трех измерений определить среднее значение времени срабатывания.

Измерение параметров устройств защиты дифференциального типа.

Измерение значения отключающего тока – $I_{\Delta n}$:

- Включить стенд и исследуемое УЗО.
- Перевести регулятор защитного тока R_3 в положение min, затем включить дифференциальный ток тумблером «Диф. ток».
- Плавно увеличивая значение тока резистором R_3 , регистрировать значение $i_{\text{диф}}$ в момент отключения и определить среднее значение отключающего тока $I_{\Delta n}$ для серии измерений.
- При измерении времени отключения необходимо воспользоваться результатами предыдущего опыта.
- При помощи резистора R_3 увеличить значение тока отключения ориентировочно в 1–2 раза и включить дифференциальный ток.
- Схема измерения времени срабатывания измеряет интервал времени между замыканием ключа и моментом нулевого тока в цепи нагрузки. Выходное напряжение схемы измерения пропорционально этому времени, таким образом, время срабатывания определяется по формуле: $t_{\text{ср}} = k_{\text{и}} \cdot U$.
- Выполнить серию измерений и определить среднее значение времени срабатывания.

Результаты измерений и вычислений свести в таблицу.

Контрольные вопросы

1. Какие устройства называют защитными. Их основное назначение?

2. Сформулировать принцип работы защитного отключения и области применения.
3. Привести классификацию УЗО по виду входного сигнала.
4. Перечислить основные номинальные параметры, по которым выбирают УЗО.
5. Дать определение номинального неотключающего тока.
6. Привести функциональную схему УЗО, реагирующего на потенциал корпуса, пояснить принцип действия.
7. Привести функциональную схему УЗО, реагирующего на максимально допустимый ток в питающей сети, пояснить принцип действия.
8. Пояснить принцип действия УЗО, реагирующего на дифференциальный ток нагрузки, перечислить достоинства и недостатки данного метода.
9. Пояснить принцип действия УЗО, реагирующего на напряжение нулевой последовательности, перечислить области применения.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Общие указания.....	3
Лабораторная работа № 1. Санитарно-гигиеническая оценка параметров производственного освещения	4
Лабораторная работа № 2. Обеспечение лазерной безопасности	10
Лабораторная работа № 3. Исследование параметров производственного шума и определение эффективности мероприятий по защите шума	27
Лабораторная работа № 4. Автоматы защиты от поражения электрическим током	35

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ САНИТАРИИ

**Лабораторный практикум
по дисциплине «Охрана труда»
для студентов специальности 1-36 04 02
«Промышленная электроника»**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. В. Гладкова*
Компьютерная верстка *М. В. Аникеенко*

Подписано в печать 24.11.08.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Цифровая печать. Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,34.

Изд. № 44.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.