

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

---

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО**

---

В.П. Малышев, Т.Т. Каверзнева, В.И. Салкуцан, А.И. Ульянов,  
М.А. Полюхович, Ю.В. Логвинова, А.С. Доронин, Т.С. Житникова,  
В.Д. Каченкова, Д.И. Идрисова, С.А. Шавуров, Н.А. Чумаков,  
С.В. Ефремов

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

**Учебное пособие**

**Санкт-Петербург  
2026**

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого Н.В. Румянцева.

Авторский коллектив

Кандидат тех. наук Малышев В.П., кандидат тех. наук Каверзнова Т.Т.,  
кандидат тех. наук Салкуцан В.И., кандидат тех. наук Ульянов А.И.,  
кандидат тех. наук Полюхович М.А., кандидат тех. наук Логвинова Ю.В.,  
кандидат тех. наук Доронин А.С., кандидат психол. наук Чумаков Н.А.,  
Идрисова Д.И., Житникова Т.С., Каченкова В.Д., Шавуров С.А., Ефремов С.В,

В настоящем учебном пособии использованы материалы, разработанные ранее:

Каверзнова Т.Т. – работы № 4, 5, 5а;  
Малаян К.Р. – работы № 8, 9, 10;  
Малышев В.П. – работы № 7, 8, 8а, 9а, 9б, 10а, 11, 12, 13;  
Маньков В.Д. – работы № 8, 9, 10;  
Монашков В.В. – работы № 2, 3, 14;  
Салкуцан В.И. – работы № 4, 5, 5а;  
Струйков Г.В. – работы № 1, 1а;  
Терентьев О.Н. – работа № 6;  
Чумаков Н.А.– работа № 15.

**Безопасность жизнедеятельности. Лабораторный практикум:**  
учебное пособие / В.П. Малышев и др. - СПб: Изд-во СПбПУ, 2026.  
– 201с.

Является практическим пособием для выполнения лабораторных работ по разделам дисциплины «Безопасность жизнедеятельности».

Предназначено для укрепления, углубления полученных теоретических знаний и приобретения практических навыков по измерению вредных и опасных факторов.

Изложен теоретический материал, необходимый для понимания физических процессов при выполнении лабораторных работ, а также конкретные рекомендации по их выполнению и оформлению результатов. Приведены расчетные задания в случае введения дистанционной формы обучения.

Предназначено для студентов всех специальностей Санкт-Петербургского Политехнического университета Петра Великого, изучающих дисциплину «Безопасность жизнедеятельности».

Научный редактор: Малышев В.П.

Технические редакторы: Вошило В.В., Недвецкая С.В.

## Оглавление

Работа 1. Эффективность и качество освещения.....	4
Работа 2. Микроклимат производственных помещений.....	23
Работа 3. Исследование запыленности воздушной среды.....	29
Работа 4. Звукоизоляция и звукопоглощение.....	39
Работа 5. Исследование виброизоляции.....	51
Работа 6. Защита от теплового излучения.....	68
Работа 7. Исследование условий труда пользователя персонального компьютера.....	76
Работа 8. Исследование опасности поражения током в трехфазных электрических сетях.....	89
Работа 9. Исследование электрического сопротивления тела человека.....	108
Работа 10. Исследование эффективности защитных мер в электроустановках.....	125
Работа 11. Защита от облучения электромагнитным полем сверхвысокой частоты.....	145
Работа 12. Измерение уровня электромагнитного поля, создаваемого СВЧ печью.....	153
Работа 13. Лазерное излучение и защита от него.....	161
Работа 14. Ионизирующие излучения.....	171
Работа 15. Первая помощь.....	179
Приложение 1. Правила по охране труда при проведении лабораторных работ в лаборатории безопасности жизнедеятельности инженерно-строительного института .....	194

## **Работа № 1**

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ОСВЕЩЕНИЯ**

**Цель работы:** получение знаний о светотехнических характеристиках искусственных источников света, а также получение навыков по измерению этих характеристик и оценке влияния количественных и качественных показателей освещенности на здоровье человека.

#### **1. Теоретическая часть**

##### **1.1.Общие сведения**

Важнейшим источником информации, поступающей в мозг человека из внешней среды, является зрение. Качество информации, получаемое посредством зрения, во многом зависит от освещения. Освещение, удовлетворяющее гигиеническим и экологическим требованиям, называется **рациональным**. Рациональное освещение производственных помещений оказывает положительное психофизиологическое воздействие на работающих. Способствует повышению производительности труда, обеспечению его безопасности, сохранению высокой работоспособности человека в процессе труда.

Свет оказывает положительное влияние на эмоциональное состояние человека, действует на обмен веществ, сердечно-сосудистую систему, нервно-психическую сферу. Он является важным стимулятором не только зрительного анализатора, но и организма в целом.

При недостаточной освещенности и плохом качестве освещения состояние зрительных функций находится на низком исходном уровне, повышается утомление зрения в процессе выполнения работы, возрастает опасность получения травм. В тоже время, существует опасность отрицательного влияния на органы зрения слишком большой яркости (блескости) источников света. Следствием этого может явиться временное нарушение зрительных функций глаза (явление слепимости). При этом, следует учитывать, что основная обработка изображения происходит в мозгу. Поэтому при нерациональной освещенности зрительный аппарат, центральная нервная система и мозг функционируют в перенапряженном режиме, что сказывается на самочувствии человека.

С другой стороны очень важны энергетические параметры источников света. Важно, чтобы энергетическая эффективность искусственных источников была достаточно высокой. В соответствии с Федеральным законом № 261-ФЗ от 23.11.2009г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» в 2011 году были выпущены два документа, регламентирующие требования энергоэффективности источников света: Постановление Правительства

(ПП) РФ от 24 декабря 2020 года № 2255 «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения» и Свод правил СП 52.13330.2016 (актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение»). Постановление Правительства устанавливает требования к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока, в отношении минимально допустимых значений их световой отдачи и коэффициента мощности (энергоэффективности).

В табл.1.1 приведены минимальные требования к коэффициенту мощности светильников, взятые из ПП № 2255 от 24.12.2020г. (табл.20).

Таблица 1.1

### Минимальные требования к коэффициенту мощности светильников

Вид светильника	Коэффициент мощности, не менее
С люминесцентными лампами	0,95
С натриевыми лампами высокого давления, с металлогалогенными лампами или с ртутными лампами высокого давления	0,90
Со светодиодами при потребляемой мощности до 5 Вт включительно	0,50
Со светодиодами при потребляемой мощности от 5 до 10 Вт включительно	0,70
Со светодиодами при потребляемой мощности от 10 до 25 Вт включительно	0,80
Со светодиодами при потребляемой мощности более 25 Вт	0,95.

### 1.2.Основные светотехнические понятия и определения

**Свет (видимое излучение)** – представляет собой излучение, которое, воздействуя на рецепторы сетчатки (палочки и колбочки), вызывает зрительное ощущение.

По своей природе это электромагнитные волны длиной от 380 до 760нм (1нанометр =  $10^{-9}$ м). Наибольшая чувствительность зрения – к излучению длиной волны 555нм (желто-зеленый цвет), которая уменьшается к границам видимого спектра.

Свет характеризуется количественными и качественными показателями. К количественным показателям относятся: световой поток, сила света, освещенность, яркость и некоторые другие.

**Световой поток  $\Phi$**  – поток лучистой энергии через произвольную площадь в единицу времени. Единица светового потока - люмен (лм), - это световой поток, излучаемый точечным источником с телесным углом в 1 стерадиан при силе света равной 1 канделе.

**Сила света  $I$**  – пространственная плотность светового потока в заданном направлении. Она равна отношению светового потока

к величине телесного угла (стерадиана), в котором он излучается. Единицей силы света является кандела (кд)  $I = \Phi / \Omega$  (1.1)

**Телесный угол  $\Omega$**  – часть пространства, ограниченная конусом с вершиной в центре сферы, опирающимся на поверхность  $S$ . Телесный угол определяется отношением площади  $S$ , которую конус вырезает на поверхности сферы, к квадрату радиуса  $R$  этой сферы, по формуле

$$\Omega = S / R^2 \quad (1.2)$$

**Освещенность  $E$**  - поверхностная плотность светового потока, т.е. плотность светового потока  $\Phi$  по поверхности  $S_{нов}$ , на которую он падает

$$E = \Phi / S_{нов} \text{ (лк)} \quad (1.3)$$

Единицей освещенности является **люкс (лк)** – освещенность поверхности площадью 1 кв.м при световом потоке падающего на него излучения равном одному люмену.

**Яркость  $L$**  - поверхностная плотность силы света в данном направлении, которая определяется силой света, излучаемой с единицы площади поверхности в заданном направлении, или другими словами – отношение силы света в данном направлении  $I$  к площади проекции излучающей поверхности на плоскость  $S_{np}$ , которая перпендикулярна данному направлению  $L = I / S_{np}$  (кд/м<sup>2</sup>) (1.4)

Для оценки условий зрительной работы учитывают качественные характеристики: фон, контраст объекта с фоном, видимость объекта. К качественным показателям освещения относятся также: коэффициент пульсации, показатели ослеплённости, спектральный состав света и некоторые другие.

**Фон** - это поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различия, на которой он рассматривается.

**Коэффициент отражения поверхности** - отношение величины отраженного светового потока к падающему  $\rho = \Phi_{отр} / \Phi_{пад}$  (1.5)

Фон считается светлым, если коэффициент отражения  $\rho > 0,4$ , средним при  $0,2 \leq \rho \leq 0,4$  и темным при  $\rho < 0,2$ .

**Контраст объекта с фоном** определяется соотношением  $k = \frac{|L_{об} - L_{ф}|}{L_{ф}}$ ,

где  $L_{об}$  - яркость объекта,  $L_{ф}$  - яркость фона. Контраст считается большим при  $k > 0,5$ , средним при  $0,2 \leq k \leq 0,5$  и малым при  $k < 0,2$ .

**Коэффициент пульсаций освещенности ( $K_n$ )** – это критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в осветительном приборе в результате изменения во времени светового потока источников света при их питании переменным током, который определяется соотношением

$$K_n = \frac{E_{макс} - E_{мин}}{2E_{сред}} \cdot 100\%,$$

где  $E_{макс}$ ,  $E_{мин}$ ,  $E_{сред}$  - максимальная, минимальная и средняя освещенности за период колебания напряжения питания.

При повышенной пульсации освещенности возникает перенапряжение нервной системы, головные боли и повышенная утомляемость.

Основной характеристикой искусственных источников света является световая отдача. **Световая отдача  $\dot{\eta}$**  - отношение номинального светового потока источника света  $\Phi_{\text{ном}}$  к потребляемой им мощности  $P$

$$\dot{\eta} = \Phi_{\text{ном}} / P \text{ (лм/Вт)} \quad (1.6)$$

**Электрическая мощность** - физическая величина, характеризующая скорость передачи или преобразования электрической энергии.

В электрической цепи постоянного тока, зная напряжение на зажимах потребителя и протекающий ток, можем определить потребляемую мощность, умножив величину тока на напряжение

$$P = I \cdot U = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

В цепи переменного тока формулы для расчета мощности и само понятие мощности несколько сложнее. В общем случае в электрической цепи синусоидального переменного тока изменение напряжения и тока во времени не совпадают. Или другими словами - напряжение и ток не совпадают по фазе. Ток отстает по фазе от напряжения при индуктивной нагрузке, и опережает напряжение при емкостной нагрузке. Только в частном случае, когда нагрузка чисто активная, ток и напряжение совпадают по фазе.

В сети переменного тока различают **полную, активную и реактивную мощность**. Отметим, что само понятие реактивной мощности актуально только для электротехнических устройств переменного тока. Оно никогда не применяется к потребителям постоянного тока в силу малости соответствующих эффектов, проявляющихся кратковременно только при переходных процессах (включение/выключение, регулирование, изменение нагрузки).

**Полная мощность  $S$**  в цепи переменного тока (для однофазной нагрузки) равна произведению действующего значения тока  $I$  на действующее значение напряжения  $U$  (измеряется в ВА - вольт-амперах, кВА - киловольт-амперах). Полная мощность для однофазной нагрузки определяется по формуле

$$S = I \cdot U = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1.7)$$

Полная мощность состоит из двух составляющих – активной  $P$ , и реактивной  $Q$  мощности.

**Активная мощность  $P$**  - это та часть электрической энергии, выработанной генератором, которая безвозвратно преобразуется в тепловую (лампы накаливания, электроплиты, электропечи сопротивления, потери в трансформаторах и линиях электропередачи) или в механическую энергию (электрические двигатели). Активная мощность измеряется Ваттами (Вт). Активную мощность можно определить по

следующей формуле (для однофазной нагрузки)  $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$  (1.8)

«**Косинус фи**» ( $\cos\varphi$ ) в электроэнергетике еще называют **коэффициентом мощности**. Коэффициент мощности характеризует потребителя электрической энергии с точки зрения наличия в нагрузке реактивной составляющей, при которой переменный ток и напряжение не совпадают по фазе. Коэффициент мощности показывает, насколько переменный ток в нагрузке сдвигается по фазе относительно напряжения на ней (отстает или опережает). Численно коэффициент мощности равен косинусу этого фазового сдвига. В электроэнергетике для коэффициента мощности принято обозначение  $\cos\varphi$  (где  $\varphi$  - угол сдвига по фазе между током и напряжением). При наличии в нагрузке реактивной составляющей наряду со значением коэффициента мощности часто указывают и характер нагрузки: активно-ёмкостная или активно-индуктивная. Тогда коэффициент мощности называют соответственно опережающим или отстающим. Коэффициент мощности определяется соотношением

$$\cos\varphi = P / S \quad (1.9)$$

Если ток совпадает по фазе с приложенным напряжением, то угол  $\varphi = 0$ , и соответственно  $\cos\varphi = 1$ . Для электрической сети это оптимальный вариант. В этом случае полная мощность равна активной мощности и вся электрическая энергия в нагрузке превращается в другие виды энергии. Например, в электрочайнике – в тепловую энергию.

Чаще потребители электрической энергии имеют обмотки и магнитопроводы (электрические двигатели, трансформаторы, дроссели газоразрядных ламп, пускатели и реле) необходимые для их нормальной работы. В общем случае такая нагрузка называется индуктивной. При чисто индуктивной нагрузке ток отстает от напряжения на угол  $\varphi = 90^\circ$ , при котором  $\cos\varphi = 0$  и активная мощность также  $P = 0$ .

Для характеристики таких потребителей в электротехнике введено понятие **реактивной мощности**. Это величина, характеризующая нагрузки, создаваемые в электротехнических устройствах колебаниями энергии электромагнитного поля в цепи синусоидального переменного тока, равна произведению среднеквадратичных значений напряжения  $U$  и тока  $I$ , умноженному на  $\sin\varphi$  сдвига фаз между ними

$$Q = U \cdot I \sin\varphi \quad (1.10)$$

Также реактивную мощность можно определить, выразив из формулы (1.7), следующим образом  $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$  (1.11)

Реактивная мощность измеряется в ВА<sub>p</sub>, кВА<sub>p</sub> (соответственно в вольт-амперах реактивных, киловольт-амперах реактивных). Реактивную мощность можно измерить с помощью счетчика реактивной энергии, также как и активную счетчиком активной энергии.

### **1.3. Виды и системы освещения**

Производственное освещение бывает **естественным, искусственным и совмещенным**.

**Естественное освещение** обусловлено прямыми солнечными лучами и рассеянным светом небосвода и меняется в зависимости от географической широты, времени суток, времени года, степени облачности, прозрачности атмосферы и др. Основной характеристикой естественной освещенности является **коэффициент естественной освещенности (КЕО)**, определяемый соотношением

$$KEO = \frac{E_{внутр}}{E_{внеш}} \cdot 100\%,$$

где  $E_{внутр}$  - освещенность в данной точке помещения;  $E_{внеш}$  - освещенность на горизонтальной поверхности под открытым небосводом.

**Искусственное освещение** применяется при недостаточности естественного освещения или отсутствии его (в темное время суток). По функциональному назначению искусственное освещение разделяется на: **рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное и дежурное**. Искусственное освещение создается искусственными источниками света: лампами накаливания, газоразрядными или светодиодными лампами.

Искусственное освещение может быть общим и местным. При общем освещении светильники размещают в верхней зоне равномерно (равномерное освещение) или применительно к расположению оборудования (локализованное освещение).

При местном освещении световой поток от светильников концентрируется непосредственно на рабочих местах. При дополнении общего освещения местным оно называется комбинированным освещением.

Для искусственного освещения помещений рекомендуется применение газоразрядных ламп (люминесцентных, дуговых ртутных, металло-галогенных и др.) или светодиодных ламп (светильников).

**Совмещенное освещение** представляет собой дополнение естественного освещения искусственным в светлое время суток при недостаточном по нормам естественном освещении.

Как правило, на рабочих местах должно использоваться естественное и искусственное освещение. Одно местное освещение в производственных условиях не применяется, так как резкий контраст между ярко освещенными и неосвещенными участками утомляет глаз, замедляет процесс работы и может послужить причиной несчастных случаев и аварий. Минимальная величина освещенности, создаваемая общим освещением в системе комбинированного освещения, должна быть не менее 10% от нормированной величины.

## 1.4.Источники искусственного освещения

**Электрические лампы** - источники оптического излучения, создаваемого в результате преобразования электрической энергии. Электрические лампы подразделяются на:

- **лампы накаливания (ЛН)**, в которых свет создается телом накала, раскаленным в результате прохождения по нему электрического тока;
- **разрядные лампы (РЛ)** - *газоразрядные*, в том числе *люминесцентные*, в которых свет создается в результате электрического разряда в газе, парах металлов или в газовой среде, содержащей пары металлов;
- **светодиодные лампы (СДЛ)**, в которых свет создается вследствие физических процессов в *p-n* переходе.

**ЛН** относятся к тепловым источникам света, в которых свечение возникает путем нагревания нити накала до высоких температур. Они просты и надежны в эксплуатации. Недостатками их являются: низкая световая отдача (порядка 20лм/Вт), ограниченный срок службы (~1000 часов), преобладание излучения в желто-красной части спектра, что искажает цветовое восприятие. Определенными преимуществами обладают галогеновые лампы накаливания. В колбе данных ламп наряду с вольфрамовой спиралью содержатся пары элементов галогеновой группы, например, йода, что повышает температуру накала нити и существенно уменьшает ее испарение. Срок службы данного типа ламп составляет величину до 3000 часов, а световая отдача - до 30лм/Вт.

**РЛ** имеют более высокую световую отдачу (более 100лм/Вт) и в 5 - 10 раз больше срок службы (до 15000 часов) по сравнению с ЛН, а также более широкий диапазон мощностей при весьма разнообразных спектрах излучения. Соответствующий подбор среды и условий разряда позволяет создавать высокоэффективные источники излучений во всех областях оптического диапазона. Всё указанное обусловило широкое применение РЛ не только для освещения, но и для многочисленных специальных целей. Например, для дальномерии, аэрофотосъемки, накачки лазеров, в облучающих установках, а также для изучения перемещающихся объектов и быстропротекающих процессов.

РЛ присущ и ряд недостатков. Прежде всего, это определенная сложность включения их в электрическую сеть, связанная с особенностями разряда, так как для его зажигания требуется более высокое напряжение, чем  $U$  для поддержания устойчивого горения; пульсация светового потока; длительное время (от нескольких секунд до нескольких минут) выхода на оптимальный режим работы, а так же сложность утилизации.

Значительную опасность при использовании газоразрядных ламп представляет, так называемый, *стробоскопический эффект* - явление искажения зрительного восприятия вращающихся объектов в мелькающем свете, возникающее при совпадении кратности частотных характеристик движения объектов и изменения светового потока во времени.

По экономическим и светотехническим характеристикам преимущество следует отдавать РЛ.

В настоящее время широкое применение получили светодиодные источники света - СДЛ (светодиодные лампы). Многие недостатки, присущие лампам накаливания и газоразрядным лампам, у них отсутствуют. К преимуществам светодиодных источников можно отнести следующие: большой срок службы (до 60 000 часов); высокая световая отдача (100лм/Вт и более); низкое рабочее напряжение и малый потребляемый ток; экологическая и пожарная безопасность; чистота и насыщенность цветовой гаммы; лучшая направленность светового потока; отсутствие влияния низких и высоких температур окружающей среды на их эксплуатацию; малый коэффициент пульсаций светодиодных источников составляет 1-2%. Это объясняется тем, что питание этих источников осуществляется от выпрямительного устройства, выходное напряжение которого изменяется незначительно.

**Лампа с арматурой** называется *светильником*. Основное назначение светильников заключается в распределении светового потока источников света в требуемых для осветительных установок направлениях и защите ламп, оптических элементов и электрических аппаратов светильников от воздействия окружающей среды.

Осветительные приборы за счет наличия арматуры испускают в окружающую среду меньшую величину светового потока  $\Phi_c$ , чем сам источник света  $\Phi_l$ . Отношение этих величин определяет **коэффициент полезного действия (КПД) светильника**

$$\eta = \Phi_c / \Phi_l, \quad (1.12)$$

Отношение светового потока  $\Phi_{расч}$ , падающего на расчетную плоскость (плоскость с нормированной освещенностью  $E_{норм}$ ), к световому потоку источника света  $\Phi_l$  называется **коэффициентом использования (КИ) светильника**

$$K_{исп} = \Phi_{расч} / \Phi_l \quad (1.13)$$

## 1.5.Нормирование производственного освещения

**Нормирование** освещенности рабочего места производится в зависимости от точности зрительной работы, характеризуемой размерами объекта различения, а также от контраста с фоном, яркости фона и системы освещения. Значения нормативных данных освещенности рабочего места определяются по СНиП 23–05–95 (2003) Строительные нормы и правила «Естественное и искусственное освещение»; СанПиН 1.2. 3685-21 и другими, в том числе ведомственными нормативными документами.

Для естественного освещения регламентирован коэффициент естественной освещенности (КЕО). Для искусственного - наименьшая освещенность на рабочих поверхностях в производственных помещениях. Согласно СНиП зрительные работы делятся на 8 разрядов в зависимости

от размера различаемой детали, разбиваются на подразряды (а, б, в, г) в зависимости от контраста детали различения с фоном и от коэффициента отражения фона. Для каждого подразряда установлены определенные наименьшие значения освещенности, понижающиеся по мере увеличения размера деталей, увеличения контраста с фоном, увеличения коэффициента отражения и др.

По СНиП определяются нормы освещенности для отдельных разрядов работ при соответствующей системе освещения, коэффициент пульсаций, показатели ослепленности и комфорта, а также КЕО, что необходимо для проектирования зданий и сооружений.

### 1.6. Измерение освещенности

Для измерения освещенности применяют **переносной фотоэлектрический люксметр Ю-116** (рис.1.1). Для измерения коэффициента пульсаций используют **люксметр-пульсметр ТКА-ПКМ** (рис.1.2).

## 2. Практическая часть лабораторной работы № 1 (в ауд. 106 ГК)

**Цель работы:** приобретение навыков измерения освещенности на рабочем месте, коэффициента мощности - косинуса фи ( $\cos\varphi$ ), а также исследования других характеристик светильников.

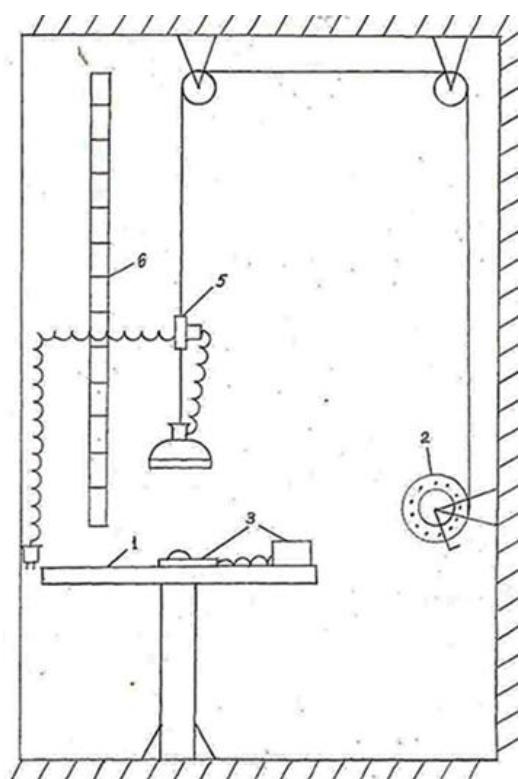


Рис.1.3.Установка ЛР № 1 (106)

### 2.1. Описание лабораторной работы № 1 (в ауд. 106 ГК)

В составе оборудования рабочего места лабораторной работы по измерению освещенности в изолированной от внешнего света комнате в ауд. 106 ГК (рис.1.3) имеются следующие устройства и приборы:

- стол с темной рабочей поверхностью (1);
- лебедочная установка для размещения светильников на различной высоте от поверхности стола (2);
- комплект светильников;
- штатив с рамкой для поддержания фотоэлемента люксметра;
- образцы цветного покрытия;
- приборы для измерения освещенности (3): переносной фотоэлектрический люксметр Ю-116 и люксметр - пульсметр "ТКА-ПКМ";
- розетка для вкл. светильника в сеть (5);
- линейка для измерения высоты подвеса светильника (6).

## 2.2.Условия проведения лабораторной работы № 1 (в ауд. 106 ГК)

Работу по измерению освещенности с использованием **переносного фотоэлектрического люксметра Ю-116** (рис.1.1) начинают выполнять с уже вставленными в селеновый фотоэлемент (2) насадками (основной полусферической матовой насадкой с резьбовым соединением и плоской насадкой маркировки М(10) внутри фотоэлемента). При этом установлена насадка М, т.е. используется фильтр КМ).

На боковой стенке корпуса измерителя расположена вилка для присоединения селенового фотоэлемента. Селеновый фотоэлемент находится в пластмассовом корпусе и присоединяется к измерителю шнуром с розеткой, обеспечивающей правильную полярность соединения. Длина шнура - 1,5м. Светочувствительная поверхность фотоэлемента составляет около  $30\text{cm}^2$ . Для расширения пределов измерений (уменьшения косинусной погрешности) применяется насадка на фотоэлемент, состоящая из полусфера, выполненной из белой светорассеивающей пластмассы, и непрозрачного пластмассового кольца, имеющего сложный профиль с резьбовым соединением. Насадка обозначена буквой К, нанесенной на ее внутреннюю сторону. Эта насадка применяется не самостоятельно, а совместно с одной из трех других насадок, имеющих обозначение М, Р, Т, которые располагаются внутри полусферической насадки. Каждая из этих трех насадок совместно с насадкой К образует три поглотителя с общим номинальным коэффициентом ослабления 10, 100, 1000 и применяется для расширения диапазонов измерений. Отсчет показаний люксметра можно вести по двум шкалам.

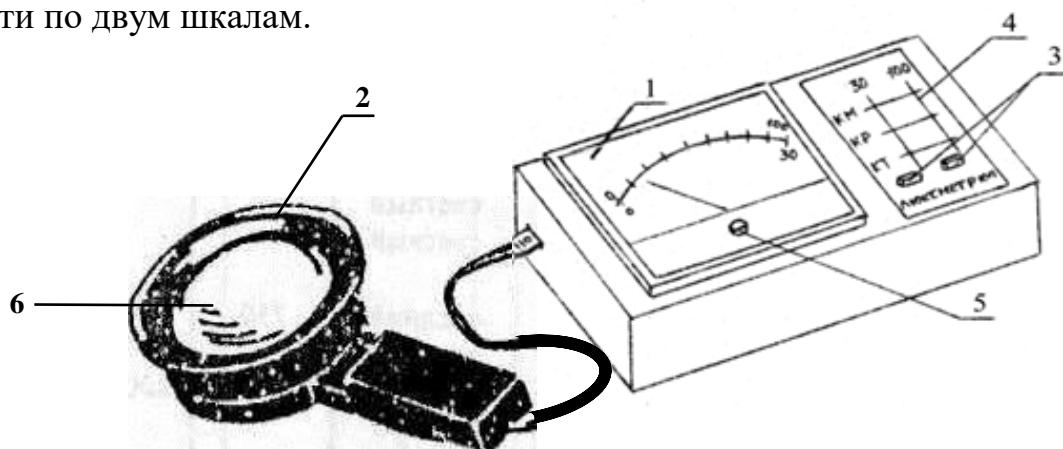


Рис.1.1. Переносной фотоэлектрический люксметр

1 - шкала люксметра; 2 - селеновый фотоэлемент; 3 - кнопки переключателя диапазонов измерений; 4 - табличка пределов измерений; 5 - корректор нуля; 6 - светофильтр.

**Шкалы прибора** неравномерные, градуированы в люксах: одна шкала имеет 100 делений (до 100лк), вторая - 30 делений (до 30лк) в зависимости от положения переключателя "диапазон измерения". Отсчет показаний люксметра можно вести по двум шкалам. Шкалы прибора неравномерные, градуированы в люксах: одна шкала имеет 100 делений (до 100лк), вторая - 30 делений (до 30лк) в зависимости от положения

переключателя "диапазон измерения".

При наличии на фотоэлементе насадок К и М показания умножаются на коэффициент **K=10**, насадок К и Р - на 100; насадок К и Т - на 1000. В данной работе используется насадка **M**.

Пределы допускаемой дополнительной косинусной погрешности люксметра соответствуют величинам, указанным в таблице:

Угол падения света	Предел допускаемой дополнительной косинусной погрешности, в % от измеряемой величины, не более	
	С насадками	Без насадок
60°	±7	10
80°	±15	Не нормируется

Для измерения коэффициента пульсаций используют **люксметр-пульсметр ТКА-ПКМ** (рис.1.2). Устройство прибора сочетает в себе люксметр, который выполняет функцию вычисления уровня освещенности, и пульсметр, необходимый для установления коэффициента пульсации освещённости.

Измерение освещённости, которую создает источник излучения, а также вычисление коэффициента пульсации

- это параметры, которые определяются в ходе проверки освещения не только на рабочих местах, в общественных заведениях, производственных хранилищах и цехах, но и в домашних условиях.

Измерение косинуса фи ( $\cos \phi$ ) производят прибором **Д52-2048** (энерго-монитор), который установлен в отдельном помещении лаборатории № 106 ГК1.

### 2.3. Порядок проведения лабораторной работы № 1 (в ауд. 106 ГК)

Получив задание от преподавателя, изучите общие сведения и условия проведения работы и приступите к ее выполнению в следующем порядке:

**2.3.1. Исследование зависимости величины освещенности от высоты подвеса светильника.** Подвесьте указанный преподавателем светильник на высоту, определенную заданием (табл.1.2), относительно поверхности стола.

**При установке высоты подвеса светильника ручку (рукоятку) подъемного устройства 2 следует потянуть на себя, освобождая ее для вращения (тем самым регулируя длину троса устройства подвеса).**



Рис. 1.2. Внешний вид прибора

1 - Блок обработки сигналов

2 - Фотометрическая головка (датчик)

Таблица 1.2

**Номера вариантов и высоты подвеса светильника**

<b>№ Вар.</b>	<b>Высота (H) подвеса светильника по п. 1 задания, м</b>	<b>Высота (H) подвеса светильника по п. 2, м</b>	<b>Высота (H) подвеса светильника по п. 3, м</b>	<b>Высота (H) подвеса светильника по п. 4, м</b>
<b>1</b>	0,5 - 0,75 - 1,0 - 1,25	0,5	0,5	0,6
<b>2</b>	0,5 - 0,7 - 0,9 - 1,1	0,6	0,6	0,7
<b>3</b>	0,55- 0,75- 0,95- 1,15	0,55	0,55	0,65
<b>4</b>	0,45 - 0,65 - 0,9 - 1,2	0,45	0,45	0,55

С помощью **переносного фотоэлектрического люксметра Ю-116** (рис.1.1 - с пояснениями пользователю) замерьте освещенность в центре стола, обязательно учитывая условия проведения работы.

При измерении освещенности необходимо учитывать следующее:

- На приборе установлена насадка М. При её наличии показания прибора умножаются на коэффициент 10.
- При нажатой **правой кнопке** (напротив надписи «КМ») измерения производятся по шкале от 0 до 100.
- При нажатой **левой кнопке** (напротив надписи «КМ») измерения производятся по шкале от 0 до 30.
- Показания прибора фиксируются после установки селенового элемента со светофильтром под исследуемым светильником через 5 сек

Полученные данные внесите в таблицу, приведенную на отчетном бланке. Затем аналогично измерьте освещенность при других высотах подвеса светильника согласно заданию (см. табл.1.2).

*Если при измерениях стрелка люксметра отклоняется менее чем на 10 делений шкалы, то следует перейти к измерениям без светофильтра.*

Результаты измерений внесите в таблицу отчетного бланка и по ним постройте первый график зависимости:  $E=f(H)$ , где  $E$  - освещенность (лк),  $H$  - высота подвеса (м).

**2.3.2.Исследование зависимости отражения светового потока от цвета рабочей поверхности.** В рамку штатива поместите фотоэлемент фотоэлектрического люксметра Ю-116, и установите его в центре стола, обращенным светочувствительной стороной к рабочей поверхности стола.

Указанные в бланке, пункте 2, светильники поочередно подвесьте на высоту  $H$ (м), указанную в задании (табл.1.2).

Под фотоэлементом поочередно расположите образцы цветного покрытия. От листа каждого цвета измерьте создаваемую им величину отраженной освещенности.

Результаты измерений внесите в таблицу 2 отчетного бланка и по ним постройте графики зависимости:  $E = f$  (цвет) в виде гистограммы.

**2.3.3.Исследование зависимости освещенности поверхности от**

**мощности источников света.** Четыре светильника одинаковой формы с лампами различной мощности (40, 60, 75, 100 Вт) подвесьте на заданной (по заданию п.3 бланка) высоте над центром стола и замерьте создаваемую ими освещенность.

Результаты измерений внесите в таблицу отчетного бланка и по ним постройте график зависимости:  $E=f(P)$ , где  $P$  - мощность источника света.

#### **2.3.4. Исследование зависимости освещенности поверхности от направления освещения.**

Уберите цветные образцы со стола, а в раму штатива поместите фотоэлемент люксметра Ю-116 светочувствительной стороной вверх. Подвести светильник (определенный преподавателем в пункте 4 бланка отчета) на высоту по заданию (табл.1.2, по п.4). Изменяя угол наклона плоскости светоприёмной поверхности селенового фотоэлемента по отношению к светильнику в пределах от  $0^0$  до  $90^0$ , проследите изменение соответствующих показаний фотоэлектрического люксметра.

Результаты измерений внесите в таблицу бланка отчета и по ним постройте график:  $E = f(\phi)$ . В выводах высажите соображения о характере изменения линии графика и причинах изменения освещенности поверхности при ее наклоне.

#### **2.3.5. Сравнение люминесцентных и светодиодных источников света.** Измерьте с помощью люксметра-пульсметра ТКА-ПКМ(08) (рис.1.2) освещенность и пульсацию светового потока в центре рабочего стола от светильников на потолке данного помещения с люминесцентными лампами, а затем со светодиодами и совместно.

Использование прибора люксметр-пульсметр ТКА-ПКМ (08) (рис.1.2) осуществляется нажатием на кнопку «ВКЛ/ВЫКЛ». При этом на экране в правом поле первой строки загорается символ – "батарейка", информирующий о состоянии ёмкости батареи питания, а так же появляется надпись фирмы производителя и название прибора.

После включения прибора для правильного его обнуления производится затемнение датчика (фотометрической головки) прибора и затем нажимается кнопка Режим («Hold»). Процесс обнуления сопровождается надписью: "ПОДОЖДИТЕ, ИДЕТ ИЗМЕРЕНИЕ".

**ВНИМАНИЕ:** засветка измерительной части во время обнуления приводит в последствие к неправильным измерениям!

После пропадания предупреждающей надписи прибор переходит в основной режим измерений. Первая строка " $E =$ " выводит текущую освещенность в лк, во второй строке " $Kp =$ " – коэффициент пульсации светового потока в %.

При измерении освещенности, головка размещается параллельно плоскости освещаемого объекта и источника света. При этом необходимо следить за тем, чтобы на окно фотометрической головки не падала тень от оператора или посторонних предметов. Спустя 2-3

секунды с цифрового индикатора считывается измеренное значение.

Для запоминания измеренного показания на индикаторе прибора кратковременно нажимается кнопка «Режим». В правом поле индикатора появится надпись "HOLD" и производится снятие показаний прибора. Для продолжения измерений необходимо еще раз нажать кнопку «Режим».

По окончании измерений выключите прибор нажатием на кнопку «ВКЛ/ВЫКЛ».

**Вычисление** отношения освещенности к потребляемой мощности для обоих светильников **проводи**, измерив потребляемую мощность по прибору **Д52-2048**, который размещен на стене помещения над выключателем.

Там же измерить  $\cos \varphi$ , используя **кнопку** (под прозрачной крышкой в левом нижнем углу прибора) переключения вида измеряемого прибором параметра.

## 2.Практическая часть лабораторной работы № 1а (ауд.104 ГК)

**Цель работы:** приобретение навыков измерения освещенности и коэффициента пульсации на рабочем месте, а также получение знаний по оценке характеристик осветительных приборов.

### 2.1.Описание лабораторной работы № 1а (ауд.104 ГК)

Лабораторная установка состоит из макета производственного помещения, оборудованного различными источниками искусственного освещения, и люксметра-пульсметра для измерения значений освещенности и коэффициента её пульсации.

Внешний вид макета представлен на рис.1.4.

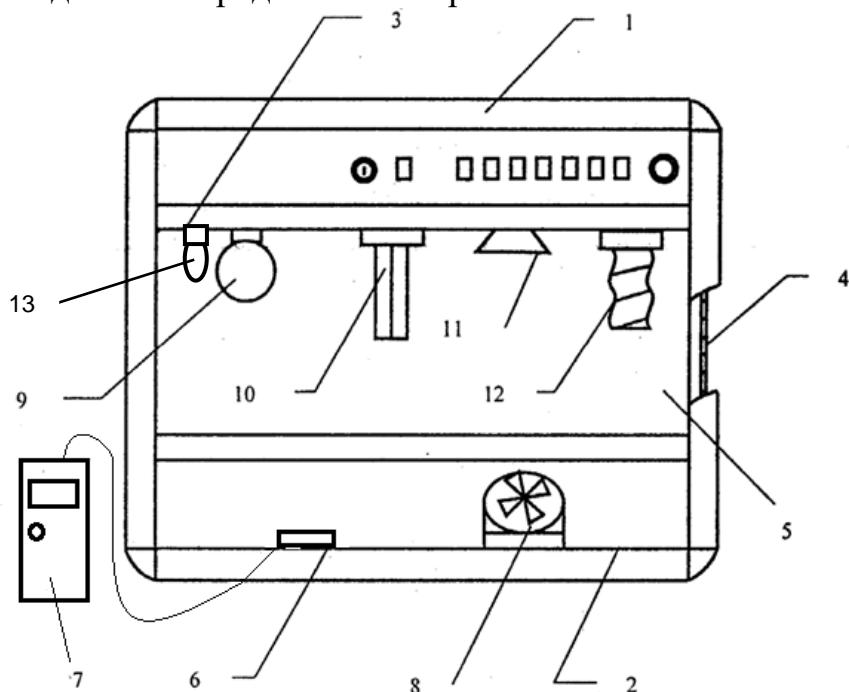


Рис.1.4. Лабораторная установка № 1а - макет производственного помещения.

Макет имеет каркас (1) из алюминиевого профиля, пол (2), потолок (3), боковые стенки (4), заднюю стенку и переднюю стенку (5). Задняя и боковые стенки являются съемными и могут устанавливаться в любой из двух сторон внутрь макета помещения, фиксируясь в проемах каркаса с помощью пазового соединения. Одна сторона стенок окрашена в светлые тона, другая - в темные тона, при этом нижняя окрашенная половина стенки темнее верхней. Передняя стенка (5) жестко вмонтирована в каркас и выполнена из тонированного прозрачного стекла. В передней нижней части каркаса (1) предусмотрено окно для установки измерительной головки (6) люксметра-пульсметра (7) внутрь каркаса.

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

На потолке (3) размещены 8 патронов, в которых установлены две лампы накаливания (9), три люминесцентные лампы (10) типа КЛ9, галогенная лампа (11) и люминесцентная лампа (12) типа СКЛЭН с высокочастотным преобразователем и светодиодная (13). Вертикальная проекция каждой лампы отмечена на полу (2) кружками с цифрами, соответствующими номерам ламп на лицевой панели макета (рис.1.5).

## 2.2.Условия проведения лабораторной работы № 1а (ауд. 104 ГК)

Включение электропитания установки производится переключателем автомата защиты, находящимся на задней панели каркаса (1) - в верхней части слева, и регистрируется сигнальной лампой «Сеть», расположенной на передней панели каркаса (рис.1.5).

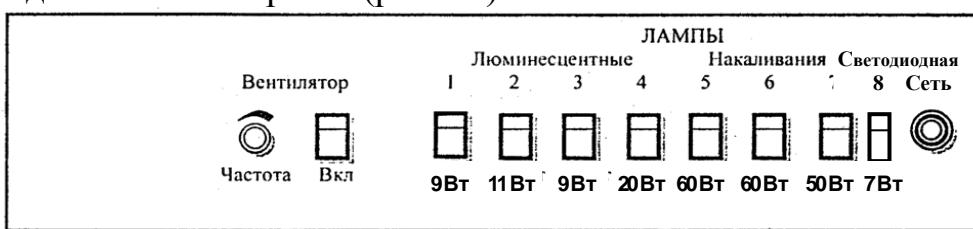


Рис.1.5. Передняя панель каркаса лабораторной установки № 1а.

На передней панели (рис.1.5) расположены органы управления и контроля: - лампа индикации включения напряжения сети;

- переключатель для включения вентилятора;
- ручка регулирования частоты вращения вентилятора;
- переключатели (1-8) для включения ламп.

Схема электропитания позволяет включать отдельно каждую лампу с помощью соответствующих переключателей, расположенных на передней панели каркаса (см. рис.1.5).

Для измерения коэффициента пульсаций используют **люксметр-пульсметр ТКА-ПКМ** (рис.1.2). Устройство прибора сочетает в себе люксметр, который выполняет функцию вычисления уровня освещенности, и пульсметр, необходимый для установления коэффициента пульсации освещенности. Измерение освещенности, которую создает

источник излучения, а также вычисление коэффициента пульсации – это параметры, которые определяются не только в ходе проверки освещения на рабочих местах, в общественных заведениях, производственных хранилищах и цехах, но и в домашних условиях.

**Использование прибора**  
люксметр-пульсметр "ТКА-ПКМ"(08) (рис.1.2) осуществляется нажатием на кнопку **ВКЛ/ВЫКЛ**. При этом на экране в правом поле первой строки загорается символ – "батарейка", информирующий о состоянии ёмкости батареи питания, а также появляется надпись фирмы производителя и название прибора.

Для правильного обнуления прибора производится затемнение датчика (фотометрической головки) прибора и затем нажимается кнопка **Режим («Hold»)**. Процесс обнуления сопровождается надписью на индикаторе: "**ПОДОЖДИТЕ, ИДЕТ ИЗМЕРЕНИЕ**".



Рис. 1.2. Внешний вид прибора.

1 - Блок обработки сигналов

2 - Фотометрическая головка (датчик).

**ВНИМАНИЕ: засветка измерительной части во время обнуления приводит в последствие к неправильным измерениям!**

После пропадания предупреждающей надписи прибор переходит в основной режим измерений. Первая строка "E =" выводит текущую освещенность в лк, во второй строке "Kп =" – коэффициент пульсации светового потока в %.

При измерении освещенности, фотометрическая головка размещается параллельно плоскости измеряемого объекта (источника света). При этом необходимо следить за тем, чтобы на окно фотометрической головки не падала тень от оператора или посторонних предметов. Спустя 2-3 секунды с цифрового индикатора считывается величина измеренного параметра.

Для запоминания измеренного показания на индикаторе прибора кратковременно нажимается кнопка **Режим**. В правом поле индикатора появится надпись "**HOLD**" и производится снятие показаний прибора. Для продолжения измерений необходимо еще раз нажать кнопку **Режим**.

Выключение производится нажатием на кнопку **ВКЛ/ВЫКЛ**.

### 2.3. Порядок проведения лабораторной работы № 1а (в ауд. 104 ГК)

**2.3.1. Получить № варианта** лабораторной работы у преподавателя для дальнейшего использования исходных данных табл.1.3 в проводимых

расчётах. Так же по заданию преподавателя и в его присутствии установить стенки макета производственного помещения (окрашенные в светлые или темные тона) таким образом, чтобы указанные стороны стенок были обращены внутрь макета помещения.

Таблица 1.3

**Номера вариантов для лабораторной работы № 1а  
и характеристика зрительной работы (ауд. 104)**

№ Вар.	Характеристика зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Коэффициент пульсации освещенности	Контраст объекта с фоном	Характе- ристика фона	Тип ламп
1	Высокой точности	0,3 – 0,5	15	большой	светлый	1,2,3,8
2	Высокой точности	0,3 – 0,5	15	средний	средний	6; 8
3	Средней точности	0,5 – 1	20	малый	темный	4; 5
4	Средней точности	0,5 – 1	20	средний	светлый	5; 7
5	Грубая (очень малой точности)	более 5	20	-	-	7; 8

2.3.2. Включить установку с помощью переключателя автомата защиты, который находится на задней панели каркаса (в верхней части слева).

2.3.3. Включить лампу (выбор ламп производится в соответствии с вариантом по заданию преподавателя).

Подготовить люксметр-пульсметр "ТКА-ПКМ"(08) (рис.1.2) к работе.

**Порядок использования люксметра-пульсметра (см. выше в описании).**

2.3.4. Произвести измерение освещенности и коэффициента пульсации с помощью люксметра-пульсметра не менее чем в пяти точках макета производственного помещения - строго под исследуемой лампой (в месте указанном соответствующим ей номером) и четырех углах «пола», отмеченных знаком (\*). Определить среднее значение освещенности  $E_{cp}$ .

2.3.5. Включить газоразрядную лампу №1 и измерить коэффициент пульсации ( $K_n$ ). Затем включить одновременно газоразрядные лампы № 1; 2; 3 и измерить  $K_n$ .

Сравнить полученные результаты измерений пунктов 4 и 5 (в т.ч. со значениями нормируемой освещенности варианта) и сделать вывод.

2.3.6. По результатам измерений освещенности вычислить значение фактического светового потока  $\Phi_c$  по формуле  $\Phi_c = E_{cp} \cdot S$ , (лм),

где  $E_{cp}$  - среднее значение освещенности;

$S$  - площадь макета помещения,  $m^2$ . При этом  $S = 0,4m^2$ .

2.3.7. Вычислить светоотдачу по формуле (1.6), а также коэффициент полезного действия светильника -  $\eta$  по формуле (1.12). Номинальный световой поток  $\Phi_n$  выбрать для каждого типа ламп по табл.1.4.

2.3.8. Вычислить  $\Phi_{расч}$  по величине расчетной плоскости ( $S_{расч} = 0,8m^2$  при  $E_{норм} = 300\text{лк}$  или  $S_{расч} = 0,8m^2$  при  $E_{норм} = 200\text{лк}$ ).  $E_{норм}$  выбрать по СНИП 23-05-95 из столбца «всего» таблицы 1 и определить коэффициент

использования светильника ( $K_{исп}$ ) по формуле (1.13).

2.3.9. Повторить измерения для другого типа ламп. После завершения измерений занести полученные данные в бланк отчета. Сравнить значения светоотдачи, полученные от различных источников света.

2.3.10. Включить люминесцентную лампу типа КЛ9 в центре установки. Включить вентилятор и вращая ручку «Частота» (на передней панели), регулирующую скорость вращения лопастей вентилятора, подобрать такую частоту вращения, при которой возникает стробоскопический эффект (то есть - лопасти вентилятора кажутся неподвижными).

2.3.11. Выключить все элементы оборудования и сам стенд.

2.3.12. Измерить освещенность и коэффициент пульсации светового потока не менее чем в пяти точках помещения на рабочих столах в лаборатории. Сравнить с нормами освещенности рабочего помещения (СНиП 23-05-95 и СанПиН 1.2.3685-21).

2.3.13. Составить отчет о работе.

#### **Примечание.**

1. Горизонтальная освещенность в лабораториях высших учебных заведений - 400лк, коэффициент пульсации - 10 %. (Документ - СанПиН 1.2.3685-21).

2. При расчётах в ходе работы использовать характеристики зрительной работы из табл.1.3 и характеристики ламп указанные в табл.1.4.

Таблица 1.4

#### **Типы ламп и их характеристики (ауд. 104)**

№ ламп	Тип ламп	Потребляемая мощность, Вт	Номинальный световой поток, лм
1	Лампа люминесцентная КЛ9(BIAХ)	9	465*
2	Лампа люминесцентная КЛ9(ЕС IKEA)	11	700
3	Лампа люминесцентная КЛ9(PL)	9	465*
4	Лампа люминесцентная СКЛЭН(SP)	20	900
5	Лампа накаливания криптоновая	60	800
6	Лампа накаливания вакуумная	60	730
7	Лампа галогенная	50	1700
8	Светодиодная лампа	7	570

\* После минимальной продолжительности горения (2000 часов).

#### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Перечислите количественные и качественные показатели освещения и единицы их измерения.
2. Перечислите основные виды производственного освещения.
3. Как подразделяется искусственное освещение по функциональному назначению?

4. Как конструктивно подразделяют естественное и искусственное освещение?
5. В каких случаях необходимо применение комбинированного освещения?
6. Что такое КЕО? От чего КЕО зависит?
7. От чего зависит величина нормируемой величины освещенности на рабочем месте?
8. От чего зависит величина освещенности на рабочем месте при совмещенной системе освещения?
9. Перечислите основные источники искусственного освещения в производственном помещении.
10. Каковы преимущества и недостатки газоразрядных ламп перед лампами накаливания?
11. Каковы преимущества и недостатки светодиодных источников света?
12. По каким признакам классифицируются осветительные приборы?  
Что такое КПД светильника, коэффициент использования светильника?
13. Почему необходим  $\cos\phi$  и что он определяет?
14. Почему коэффициент мощности у газоразрядных и светодиодных ламп может быть существенно меньше «1» в отличие от ламп накаливания?
15. Почему коэффициент пульсаций у газоразрядных ламп больше чем у ламп накаливания и светодиодных ламп?

## Работа № 2

# МИКРОКЛИМАТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

**Цель работы:** ознакомление с нормированием микроклиматических условий на рабочем месте и получение навыков работы с приборами для измерения параметров микроклимата.

### 1. Теоретическая часть

#### 1.1. Общие сведения

Одним из необходимых условий высокой производительности труда, нормальной жизнедеятельности человека является обеспечение оптимальных микроклиматических условий на рабочем месте.

**Микроклимат** производственных помещений - климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Микроклимат зависит от теплофизических особенностей технологического процесса, климата, сезона года, условий отопления, вентиляции и характеризуется температурой, относительной влажностью, скоростью движения воздуха и атмосферным давлением. Жизнедеятельность человека связана с непрерывным обменом теплом с окружающей средой. Одной из важных характеристик организма человека является средняя температура тела (внутренних органов) порядка  $36,6^{\circ}\text{C}$ , которая зависит от степени нарушения теплового баланса, и уровня энергозатрат при выполнении физической работы. При выполнении работы средней тяжести и тяжелой при высокой температуре воздуха она может повышаться на  $1 - 2^{\circ}\text{C}$ . Наивысшая температура внутренних органов, которую выдерживает человек, составляет  $+43^{\circ}\text{C}$ , а минимальная (при переохлаждении)  $+25^{\circ}\text{C}$ . Чтобы не происходило отклонения температуры внутренних органов от оптимальной, необходимо соблюдение теплового баланса между человеком и окружающей средой. В общем случае теплообмен осуществляется в основном такими физическими процессами, как конвекция, излучение и испарение. Конвективный теплообмен определяется соотношением

$$Q_k = \alpha_k S_{\text{эфф}} (t_{cp} - t_{чел}),$$

где  $\alpha_k$  - коэффициент теплоотдачи конвекцией,  $S_{\text{эфф}}$  - эффективная поверхность тела человека,  $t_{cp}$   $t_{чел}$  - температура окружающей среды и человека, соответственно. Как следует из приведенного соотношения, конвективный теплообмен зависит от разности температур между окружающей средой и телом человека, омываемой воздухом эффективной поверхности тела, а также от относительной влажности, скорости

движения воздуха и атмосферного давления (определяет толщину пограничного слоя воздуха у поверхности тела).

Теплообмен за счет излучения определяется соотношением

$$Q_{изл} = \alpha_{изл} S_{изл} \left( \left( \frac{T_{чел}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{cp}}{100} \right)^4 \right),$$

где  $\alpha_{изл}$  - приведенный коэффициент излучения,  $S_{изл}$  - площадь излучающей поверхности,  $T_{чел}$ ,  $T_{cp}$  - температура человека и окружающей среды в градусах Кельвина.

**Количество теплоты**, отдаваемое человеком в окружающую среду за счет процесса испарения, определяется соотношением  $Q_{исп}=m_{исп} q$ , где  $m_{исп}$  - масса выделяемого и испаряющегося пота;

$q$  - скрытая теплота испарения.

При увеличении физической нагрузки и внешней температуры скорость потоотделения растет. Так, при температуре воздуха в 28°C потоотделение у человека, не занятого физическим трудом, составляет 1,7 г/мин, а при выполнении тяжелой работы – 8,9 г/мин. Можно отметить, что из всей теплоты, передаваемой организмом человека в сутки (средняя величина 2600ккал) при нормальных условиях (20°C, 760мм рт. ст.), основная часть (44%) передается за счет излучения. За счет конвекции передается 31%, за счет испарения - 21%.

С изменением параметров микроклимата или условий труда нарушаются условия для теплового баланса. В этом случае в организме возникают процессы, способствующие его восстановлению - процессы терморегуляции. К таким процессам относятся: процесс испарения, изменение интенсивности кровообращения (за счет расширения и сужения сосудов) и биохимический процесс (изменение интенсивности окислительных процессов в организме). Терморегуляция позволяет обеспечить жизнедеятельность человека, но его состояние отклоняется от оптимального. В частности, в результате интенсивного потоотделения возможна большая потеря жидкости. Обезвоживание организма на 6% приводит к нарушению умственной деятельности, снижению остроты зрения. Длительное воздействие высокой температуры в сочетании с повышенной влажностью могут привести к головокружению, общей слабости, искажению цветового восприятия, учащению пульса, потерю сознания. Потеря влаги до 20% от массы тела может привести к смертельному исходу. Повышенная относительная влажность воздуха окружающей среды (при пониженных температурах), а также его высокая скорость движения способствуют переохлаждению организма человека.

На самочувствие человека может оказывать существенное влияние атмосферное давление. При его заметном изменении (на поверхности Земли возможно изменение от 680мм рт. ст. до 810мм рт. ст.) повышается

нагрузка на сердечно сосудистую систему, что отрицательно сказывается на людях с сердечно сосудистыми заболеваниями.

Гигиеническое нормирование показателей микроклимата рабочих мест производственных помещений обеспечивает сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Нормирование показателей микроклимата производится с учетом интенсивности энергозатрат работающих, времени выполнения работы и периодов года.

Гигиенические нормативы учитывают сезоны года: холодный и теплый. Холодный период характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха  $+10^{\circ}\text{C}$  и ниже, теплый - выше  $+10^{\circ}\text{C}$ .

Нормативы рассматривают два уровня критериев:

- оптимальные условия микроклимата;
- допустимые условия микроклимата.

**Оптимальные условия** микроклимата установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья. Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно - эмоциональным напряжением (в кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.) и в других случаях.

**Оптимальные параметры** микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в табл.2.1, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Таблица 2.1

#### Оптимальные микроклиматические условия

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Температура поверхностей, $^{\circ}\text{C}$	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22 - 24	21 – 25	60 – 40	0,1
	Iб (140 – 174)	21 – 23	20 – 24	60 – 40	0,1
	IIa (175 – 232)	19 – 21	18 – 22	60 – 40	0,2
	IIб (233 – 290)	17 – 19	16 – 20	60 – 40	0,2
	III (более 290)	16 - 18	15 - 19	60 – 40	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23 – 25	22 – 26	60 – 40	0,1
	Iб (140 – 174)	22 – 24	21 – 25	60 – 40	0,1
	IIa (175 – 232)	20 – 22	19 – 23	60 – 40	0,2
	IIб (233 – 290)	19 – 21	18 – 22	60 – 40	0,2
	III (более 290)	16 - 18	17 - 21	60 – 40	0,3

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия человека и понижению его работоспособности.

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в табл.2.2 применительно к выполнению работ разных категорий в холодный и теплый периоды года.

Таблица 2.2

#### Допустимые значения параметров микроклимата в рабочей зоне

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °C	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более	Температура поверхностей, °C
Холодный	I а	20-26	15-75	0,1	19-26
	I б	19-25	15-75	0,2	18-25
	II а	17-24	15-75	0,3	16-24
	II б	15-23	15-75	0,4	14-23
	III	13-22	15-75	0,4	12-22
Теплый	I а	21-29	15-75	0,2	20-29
	I б	20-29	15-75	0,3	19-29
	II а	18-28	15-75	0,4	17-28
	II б	16-28	15-75	0,5	15-28
	III	15-27	15-75	0,5	14-27

Все виды работ по уровню интенсивности энергозатрат организма подразделяются на пять категорий:

- к категории **Iа** относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 139Вт (1Вт=0,86ккал в час), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (сфера управления и т.п.);

- к категории **Iб** относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 140-174Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (полиграфия, связь и т.п.);

- к категории **IIа** относятся работы с интенсивностью энергозатрат 175-232Вт, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1кг) изделий в положении стоя или сидя и требующие определенного

физического напряжения (механосборочные цеха и т.п.);

- к категории **II** относятся работы с интенсивностью энергозатрат 233-290Вт, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (механизированные, литейные, прокатные, сварочные цеха и т.п.);

- к категории **III** относятся работы с интенсивностью энергозатрат более 290Вт, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10кг) тяжестей и требующие больших физических усилий (кузнецкие цеха с ручной ковкой и т.п.).

## 2. Практическая часть

### 2.1. Описание лабораторной работы № 2 (ауд.104 ГК)

На рис.2.1 представлена лабораторная установка, которая содержит:

1 - блок управления; 2 - вентилятор; 3 - психрометр; 4 - корпус установки; 5 - барометр-анероид; 6 - датчик анемометра; 7 - термоанемометр “ТКА-ПКМ”(52), 8 - комнатный/уличный термометр с проводным датчиком.

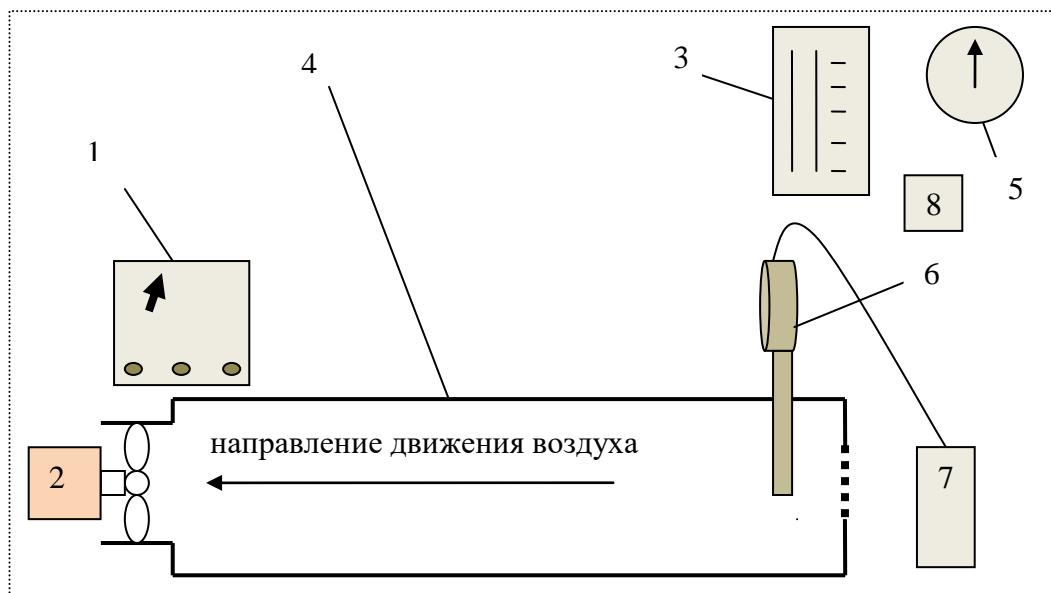


Рис.2.1. Лабораторная установка № 2.

Лабораторная установка является моделью рабочей зоны, где имеется возможность изменять скорость движения воздуха посредством различных оборотов двигателя вентилятора.

Остальные параметры микроклимата принимаются по значениям фактических условий в помещении лаборатории.

### 2.2. Условия проведения лабораторной работы № 2 (ауд.104 ГК)

Для экспериментального исследования микроклиматических условий при проведении лабораторной работы применяется комплекс приборов, измеряющих температуру, относительную влажность, подвижность воздуха и атмосферное давление.

При выполнении лабораторной работы **температуру** воздуха внутри

помещения измеряют с помощью сухого (спиртового) термометра (на 3).

Относительную **влажность** воздуха определяют с помощью психрометра Августа, принцип действия которого основан на разности показаний двух расположенных рядом термометров, резервуар одного из которых обернут увлажненной тканью. При испарении влаги с поверхности резервуара «влажного» термометра отдается тепло, поэтому его показания оказываются ниже показаний «сухого». Эта разница тем больше, чем ниже относительная влажность, приближенную величину которой находят из психрометрической таблицы, представленной на шкале психрометра лабораторной установки.

Точное значение относительной влажности воздуха с учетом барометрического давления определяют расчетным путем по формуле

$$B_p = \frac{f_{mc} - A(t_c - t_e)P}{f_{mc}} 100\%, \quad (2.1)$$

где  $f_{mc}$ ,  $f_{me}$  - максимальная влажность воздуха при температуре «сухого» и «влажного» термометра соответственно, г/м<sup>3</sup>;

$t_c, t_e$  - показания соответственно «сухого» и «влажного» термометров психрометра, °C;

$P$  - барометрическое давление, мм рт. ст.;

$A$  - психрометрический коэффициент,  $A = 1,4 \cdot 10^{-3}$ .

**Скорость движения** воздуха в производственных помещениях измеряют анемометрами и термоанемометрами. Скорость движения воздуха в м/с фиксируется цифровым датчиком. В лабораторной работе используется термоанемометр “ТКА-ПКМ”(52), который позволяет проводить измерения скорости воздуха в пределах 0,1-20м/с.

**Атмосферное давление**, сведения о котором необходимы для точного расчета относительной влажности воздуха, измеряют при помощи барометра-анероида 5 (рис.2.1 и 2.2).



Рис.2.2. Барометр-анероид.

### **Задание на работу № 2:**

Необходимо исследовать микроклиматические условия имеющегося производственного помещения и сопоставить их с нормативными (см. табл.1 и 2). Для этого следует измерить температуру воздуха внутри

помещения, определить относительную влажность и скорость движения воздуха при заданных оборотах вентилятора. Температура наружного воздуха определяется по комнатному/уличному термометру с проводным датчиком (метеостанции).

Затем для заданной категории работ определить оптимальные и допустимые параметры микроклимата. На основе проведенных исследований сделать заключение о соответствии параметров микроклимата в обследуемом помещении нормативным требованиям.

### **2.3.Порядок проведения лабораторной работы № 2 (ауд.104 ГК)**

2.3.1.Получить у преподавателя вариант задания на выполняемые работы (табл.2.3) и бланк отчета. В бланке отчета указываются фамилия (фамилии) студента (студентов), номер задания и вносится содержание задания (вид помещения, его характеристика и категория выполняемой работы).

Таблица 2.3

#### **Варианты заданий**

Параметры	Значения по вариантам				
	1	2	3	4	5
<b>Вид помещения</b>	Научная лаборатория	Литейный цех	Сборочный участок	Прокатный цех	Склад
<b>Число оборотов вентилятора, об/мин</b>	150	2200	1450	1450	150
<b>Категория работ</b>	I а	III	II б	II а	I б
<b>Период года</b>	Теплый	Холодный	Теплый	Холодный	Теплый

2.3.2.Температуру с наружи помещения определяют по показаниям нижней строки «комнатного/уличного термометра с проводным датчиком» (8), внутри помещения - определяют по показаниям верхней строки данного термометра, или «сухого» термометра - психрометра (3) (рис.2.1).

#### **2.3.3.Для определения влажности:**

а) Снять показания «сухого» и «влажного» термометра - психрометра (3), предварительно проверив увлажнённость нижней части правого термометра, и по имеющейся психрометрической таблице определить табличное значение относительной влажности  $V_{\text{табл}}$  и полученные данные занести в отчет.

б) Снять показания барометра-анероида (5) (см. рис.2.1 и 2.2).

в) По справочной табл.2.4 определить величины максимальной влажности  $f_{mc}$  и  $f_{mb}$  при температурах «сухого» и «влажного» термометров. При необходимости использовать метод линейной интерполяции.

Таблица 2.4

**Максимальная влажность воздуха при различных температурах  
(плотность насыщенных паров)**

Температура воздуха, град.	14	16	18	20	22	24	26	28
Плотность водяных паров, г / м <sup>3</sup>	12,1	13,6	15,4	17,3	19,4	21,8	24,4	27,2

г) Рассчитать по формуле (1) относительную влажность воздуха ( $B_p$ , %) и записать в отчет (расчеты производятся на оборотной стороне).

При этом скорость движения воздуха определяется по табл. 2.2.

**2.3.4. Измерение движения скорости воздуха:**

а) Включить экспериментальную установку и вентилятор (2) соответствующими **тумблерами** на блоке управления 1 (см. рис.2.1).

б) **Переключатель** оборотов вентилятора установить в положение, соответствующее номеру задания.

в) Дождавшись установления стабильных оборотов вентилятора (3 – 5сек.), провести измерение по термоанемометру “ТКА-ПКМ”(52). Для этого включить **прибор** “ТКА-ПКМ”(52). На дисплее появится значение напряжения питания и обратный отсчет. По его окончании прибор готов к работе. Далее **кнопкой «Измерение»** выбрать нужный параметр ( $V_{ср}$  м/с) и считать с дисплея измеренное значение.

По табл. 2.1 и 2.2 определить оптимальные и допустимые параметры микроклимата для заданной категории работы и занести их в заключительную таблицу отчета. Туда же внести данные результатов произведенных измерений и расчетов.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое микроклимат на рабочем месте?
2. Какие физические процессы участвуют в передаче тепла от тела человека в окружающую среду? От чего зависит их интенсивность?
3. Что понимается под оптимальными и допускаемыми параметрами микроклимата?
4. От чего зависят оптимальные параметры микроклимата?
5. Какие категории работ Вы знаете? Их характеристики?
6. Какие есть механизмы терморегуляции у организма человека?
7. Каковы последствия перегрева организма человека?
8. Почему при отклонении атмосферного давления от нормального (760 мм рт. ст.), прежде всего, страдают люди с сердечно сосудистыми заболеваниями?
9. Какими приборами измеряют температуру, относительную влажность, атмосферное давление?
10. Какие технические мероприятия служат для поддержания оптимальных параметров микроклимата на рабочем месте?

## **Работа № 3**

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ**

**Цель работы:** знание требований к содержанию пыли различных веществ разного класса опасности в воздухе и методов определения запыленности воздушной среды; получение навыков экспериментального определения содержания пыли в воздухе.

### **1. Теоретическая часть**

#### **1.1.Общие сведения**

**Пыль** - дисперсная система с газообразной средой и твердой дисперсной фазой, обладающей свойством находиться во взвешенном состоянии продолжительное время, т.е. - мельчайшие частицы твердого вещества, способные длительное время находится во взвешенном состоянии.

Многие производственные процессы в металлургической, химической, строительной и других отраслях промышленности сопровождаются выделением значительных количеств пыли. Пыль оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека, повышает пожаровзрывоопасность производств и агрессивно действует на окружающую среду. Как вредный производственный фактор пыль может оказывать на организм человека различное физиологическое действие – фиброгенное (избирательное поражение тканей легких человека), аллергическое (реакция организма на раздражитель), токсическое (нарушение функций биологических систем), а также канцерогенное (повышает вероятность возникновения злокачественных опухолей) и мутагенное (отдаленные последствия вредного воздействия, проявляющиеся у потомков).

Степень вредного физиологического действия пыли зависит как от ее физико-химической природы, так и в значительной мере от дисперсного состава пыли. Известно, что частицы, крупнее 10...15мкм, в основном задерживаются в верхних дыхательных путях, следовательно, представляют меньшую опасность. При выдохе часть маленьких, легких частиц может не задерживаться в легких. Наибольшей фиброгенной активностью обладают аэрозоли дезинтеграции с размерами частиц до 5мкм и аэрозоли конденсации с частицами 0,3...0,4мкм. Решающее значение на развитие фиброзного процесса в легких имеет масса поступившей в организм человека пыли, величина которой зависит от ее концентрации в воздухе и времени поступления в организм человека.

С целью исключения и уменьшения неблагоприятного воздействия

пыли на человека и окружающую среду содержание пыли в воздухе производственных помещений и в вентиляционных выбросах ограничивается. Так, содержание пыли в воздухе рабочей зоны ограничивается установленным уровнем предельно допустимых концентраций (ПДК). В нашей стране за ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны приняты концентрации, которые не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья работника как в процессе работы (в течение всего рабочего стажа при ежедневной работе установленной длительности), так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Вредные вещества по степени воздействия на организм подразделяются на четыре класса опасности (табл.3.1).

Таблица 3.1  
**Классификация веществ по ПДК.**

<b>Класс опасности</b>	<b>ПДК, мг/м<sup>3</sup></b>	<b>Контроль</b>
I чрезвычайно опасные	Менее 0,1	Непрерывный
II высоко опасные	0,1–1,0	Непрерывный
III умеренно опасные	1,1–10	Периодический
IV мало опасные	Более 10	Периодический

К чрезвычайно опасным веществам можно отнести ртуть, свинец и его неорганические соединения, и ряд других. Основу высоко опасных веществ представляют тяжелые металлы, в частности, медь, марганец, хром, цинк и др., а также кислоты – серная, азотная и т.д. К умеренно опасным веществам относятся алюминий, диоксид азота, пропан, метиловый спирт и др. Наименьшую опасность представляют вещества 4-го класса опасности - ацетон, оксид углерода, этиловый спирт, бытовая пыль и др.

В зависимости от класса опасности вредных веществ предъявляются требования к периодичности контроля воздушной среды на рабочих местах, а именно: для веществ I и II классов опасности необходим непрерывный контроль; для веществ III и IV классов опасности – периодический. При непрерывном контроле содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны предусматривается применение систем самопишущих автоматических приборов, выдающих сигнал превышения уровня ПДК. Частота отбора проб при периодическом контроле устанавливается органами санитарного надзора в зависимости от класса опасности веществ, находящихся в воздушной среде, и от характера технологического процесса.

Для защиты воздушного бассейна населенных мест от вредных выбросов предприятий содержание пыли в вентиляционных выбросах должно быть не более  $\begin{cases} C = 100k, \text{ для } Q > 4 \\ C = (160 - 15Q)k, \text{ для } Q \leq 4, \end{cases}$  (3.1)

где С - допустимое содержание пыли в вентиляционных выбросах, мг/м<sup>3</sup>;

$Q$  - расход вентиляционных выбросов,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$k$  - коэффициент, принимаемый в зависимости от ПДК пыли в воздухе рабочей зоны помещения значения согласно табл.3.2.

Таблица 3.2

**Значение коэффициента  $k$**

Коэффициент	ПДК в воздухе рабочей зоны, $\text{мг}/\text{м}^3$			
$k$	2 и менее	2-4 включительно	4-6	6 и более
	0,3	0,5	0,8	1,0

При концентрации пыли, превышающей допустимое содержание, вентиляционные выбросы необходимо подвергать пылеочистке.

К методам контроля содержания пыли в воздухе предъявляются следующие требования:

1)максимальная общая погрешность определения не должна превышать  $\pm 25\%$ ;

2)степень задержания пыли фильтром должна быть не менее 95%;

3)отбор проб должен проводиться в зоне дыхания человека при характерных производственных условиях с учетом основных технологических процессов, источников выделения пыли и функционирования технологического оборудования;

4)результаты определения концентрации пыли приводятся к нормальным условиям (температура  $+20^\circ\text{C}$ , атмосферное давление 760мм рт. ст., относительная влажность 50%).

В настоящее время существует несколько методов по определению содержания пыли в воздухе, которые могут быть поделены на две группы - с выделением дисперсной фазы и без ее выделения. К первой группе относятся: **гравиметрический (весовой)** и счетный методы, ко второй – **оптический, радиационный, фотоэлектрический** и др.

Для гигиенического нормирования содержания пыли в воздухе рабочей зоны применяется гравиметрический метод. Применение аппаратов и методика определения содержания пыли зависят от условий отбора пробы запыленного воздуха. Наиболее типичными являются следующие схемы отбора, представленные на рис.3.1.

а) из открытой (свободной) атмосферы в производственных помещениях (рис.3.1,а);

б) из закрытых объемов, находящихся при нормальных условиях (камеры, боксы и т. п.) (рис.3.1,б);

в) из закрытых объемов, находящихся под разряжением или под давлением с направленным потоком воздуха (вентиляционные каналы, воздухопроводы и т.п.) (рис.3.1,в).

Кроме контроля воздушной среды, защитными мерами являются:

- автоматизация и механизация технологических процессов, связанных с выделением вредных веществ, их совершенствование;

- совершенствование оборудования;
- использование вентиляции и средств индивидуальной защиты.

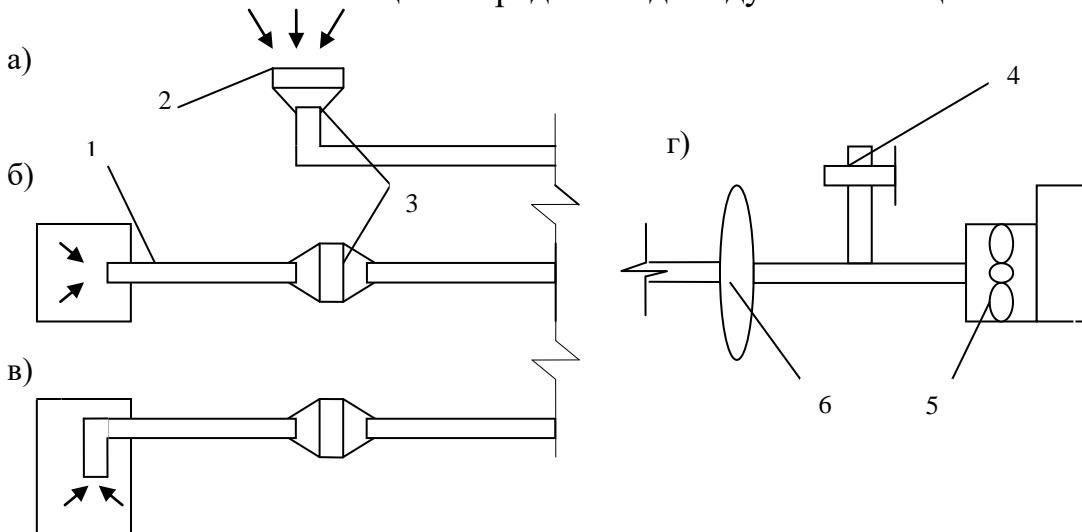


Рис. 3.1. Схемы отбора проб запыленного воздуха и аспирационной установки.

Для любых условий отбора пробы установка состоит из следующих основных узлов: пробоотборной трубы (1), фильтра (2), фильтродержателя (3), аспирационной установки (рис.1г), в которой имеется регулятор скорости отбора воздуха (4), респиратор (5), расходомер (6). Аспирационная установка обеспечивает откачуку воздуха из исследуемого объема с регулируемой и измеряемой скоростью.

Наибольшее распространение среди применяемых фильтров нашли аналитические аэрозольные фильтры (АФА), которые имеют высокую степень осаждения (~99,9%) твердых частиц из фильтруемого объема. Конструктивно фильтры АФА (рис.2а) состоят из фильтрующего элемента (рис.2б) и защитных бумажных колец (рис.2в).

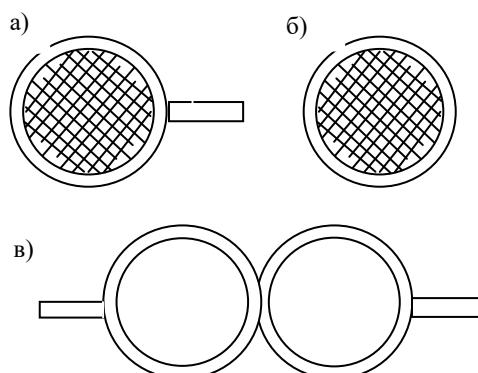


Рис.3.2. Состав фильтра.

Фильтры закрепляются в специальных устройствах - аллонжах (рис. 3), которые могут иметь открытые (рис.3а) и закрытое (рис.3б) исполнение.



Рис.3.3. Виды аллонжа.

## 2. Практическая часть

### 2.1. Описание лабораторной работы № 3 (ауд.104 ГК)

**Лабораторная установка**, схема которой представлена на рис.3.4, позволяет определить содержание пыли в закрытом объеме, находящемся при нормальных условиях.

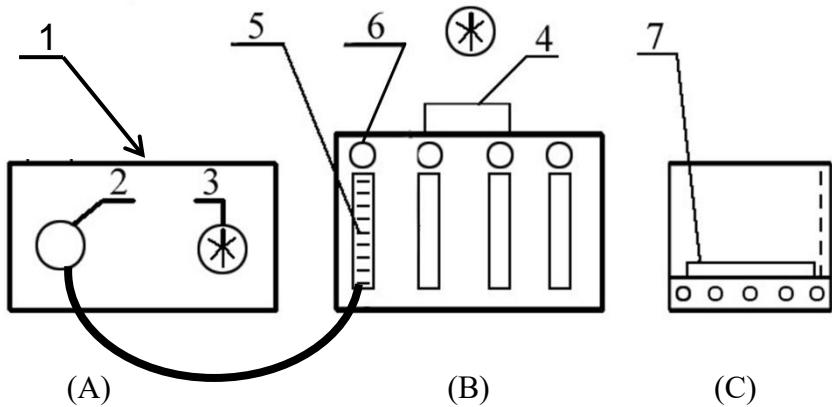
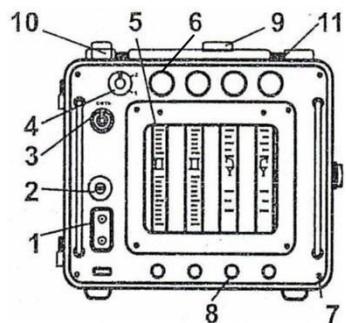


Рис. 3.4. Лабораторная установка.

**Установка состоит из камеры (А), аспирационного устройства (В) и весов (С).** В камере (А) размещены распыливающее устройство (внутри - 1), съемный аллонж открытого типа с фильтром АФА и пробоотборной трубкой (2), реле времени создания запыленной среды (3).

На верхней панели аспирационного устройства (В) расположено реле времени работы устройства (4). На передней панели аспирационного устройства расположены ротаметры (регуляторы отбора воздуха - 5) и ручки вентиля ротаметра (черного цвета - 6). **При этом три правых из них не используются в данной работе. Регулировку разгрузочного клапана (4) на передней панели слева вверху не трогать!**



- 1 – входная колодка;
- 2 – гнездо предохранителя;
- 3 – тумблер включения и выключения аспиратора;
- 4 – разгрузочный клапан;
- 5 – ротаметр;
- 6 – ручка вентиля ротаметра;
- 7 – винт (для крепления панели к кожуху);
- 8 – штуцер;
- 9 – реле времени (установлено на кожухе);
- 10 – фланец крепления штанги с держателем (по заказу)
- 11 – отверстие для заливки масла (под пробкой)

Рис. 3.5. Общий вид аспиратора.

На весах (С) имеются клавиши (7) выбора режимов работы.

## 2.2. Условия проведения лабораторной работы № 3 (ауд.104 ГК)

Методика определения концентрация пыли заключается в следующем: Запыленный воздух из исследуемого объема прокачивается с определенной скоростью через фильтр. Привес на фильтре будет равен массе уловленной пыли. Концентрацию пыли в исследуемом объеме можно вычислить по формуле  $C = (m_2 - m_1) / V$  (3.2)

где  $C$  - концентрация пыли в исследуемом объеме,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;

$m_2$  - масса фильтра с пылью,  $\text{мг}$ ;  $m_1$  - масса чистого фильтра,  $\text{мг}$ ;  
 $V$  - объем прокаченного через фильтр воздуха ( $\text{м}^3$ ).

В лабораторных условиях объем прокаченного через фильтр воздуха определяется по формуле  $V = q \tau 273P / ((273+T) \cdot 760)$  (3.3)

где  $q$  - расход прокачиваемого через фильтр запыленного воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\tau$  - время отбора пробы, с;

$T$  - температура воздуха в исследуемом объеме,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$P$  - давление в исследуемом объеме, мм рт. ст.

### 2.3. Порядок проведения лабораторной работы № 3 (ауд.104 ГК)

#### 2.3.1. Подготовить фильтр АФА к работе:

а) **вынуть** фильтрующий элемент из кассеты и снять с бумажной подложки;

б) **вложить** фильтрующий элемент в защитные бумажные кольца;

в) **включить** весы (С) клавишой. Если при пустых весах их показания не равны нулю, необходимо нажать кнопку на весах «**Сброс**» (-T-);

г) **поместить** фильтрующий элемент в защитных бумажных кольцах в центр платформы весов и занести значение веса чистого фильтра в бланк отчета, при этом измерение веса произвести 2-3 раза;

д) **снять** с весов; отсоединить аллонж с пробоотборной трубкой (2) от камеры (A); вынуть из аллонжа бумажную прокладку и вставить в него фильтрующий элемент в защитных кольцах; закрепить аллонж на камере.

#### 2.3.2. Создать запыленную среду в камере (A) в два этапа.

*Примечание: категорически запрещено включение запыления и аспиратора без установленного фильтрующего элемента АФА, (в аллонже пробоотборной трубы)!*

Для создания запыления включить поворотом рукоятки реле времени (3) вентилятор надува камеры на время **1-2 мин**. При этом аспиратор не включать!

*После автоматического отключения вентилятора надува сразу же включить аспиратор, чтобы в камере осталась запыленная среда (пыль не осела)!*      **Порядок последующего включения:**

а) **установить** поворотом рукоятки реле времени (4) на верхней панели аспирационного устройства (В) в положение “20-25” (до щелчка);

б) **включить** тумблер «Сеть» включения и выключения аспиратора;

в) **установить** реле времени отбора пробы (3) на передней панели камеры (A) в положение соответствующее варианту задания (вторая строка таб. 3.3). *При этом аспиратор сразу начнёт работать (издавая характерный громкий звук).*

г) **в ходе начала работы** аспиратора установить расход воздуха, прокачиваемого через фильтр, с помощью ручки регулировки ротаметра (5 - на рис.3.4 и на рис.3.5) в соответствии с вариантом задания (первая строка таб.3.3);

д) **по окончании** отбора пробы воздуха (после автоматического выключения реле времени на камере А и аспиратора), вынуть фильтрующий элемент в защитных бумажных кольцах из аллонжа и в защитных кольцах положить на платформу весов (С).

*При этом дать возможность реле времени аспиратора продолжить работать до автоматического выключения;*

- е) занести значение веса запыленного фильтра в бланк отчета;
- ж) снять значение температуры и давления воздуха в помещении лаборатории с помощью приборов на стенде лабораторной работы № 2.

**2.3.3. Повторить** измерения со следующим экземпляром фильтра.

После завершения всех измерений выключить аспиратор переключателем «Сеть» и закрыть стеклянную дверцу камеры весов.

**2.3.4. Обработка результатов измерений:**

1. По результатам двух опытов вычислить среднюю концентрацию пыли в опытной камере по формулам (3.3) и (3.2). При этом перевести значение расхода воздуха, прокачиваемого через фильтр, из л/мин в м<sup>3</sup>/с.

2. Сравнить опытное значение концентрации пыли в камере с ПДК на рабочем месте для пыли заданного состава и сделать выводы.

3. По заданному расходу вентиляционных выбросов и значению ПДК определить по формуле (3.1) допустимую концентрацию запыленного воздуха, выбрасываемого системами вентиляции в окружающую среду.

Сделать вывод о необходимости предварительной очистки воздуха перед выбросом в атмосферу.

4. Результаты исследований и выводы занести в бланк отчета.

**Примечание.** При производстве расчётов в ходе проведения лабораторной работы использовать значения основных параметров в соответствии с вариантом указанным преподавателем по табл.3.3.

Таблица 3.3

**Значения основных параметров по вариантам заданий**

Параметры	Значения по вариантам		
	1	2	3
Расход воздуха, прокачиваемого через фильтр, л/мин	8	9	10
Время отбора пробы из опытной камеры (положение рукоятки реле/время в сек.)	1/60	2/120	1/60
ПДК пыли в опытной камере, мг/ м <sup>3</sup>	2	3	1
Расход вентиляционных выбросов, м <sup>3</sup> /с	2	3	2

**Вопросы для самоконтроля**

1. Какое действие оказывают вредные вещества (пыли) на организм человека?
2. От чего зависит степень воздействия вредных веществ на организм человека?
3. Каким образом попадают вредные вещества в организм человека?
4. Что такое предельно допустимая концентрация (ПДК)?
5. Какие классы вредных веществ приводятся в ГОСТе? Их ПДК и примеры веществ разных классов?
6. Какие существуют меры защиты от воздействия вредных веществ?

7. Какие существуют методы определения концентрации пыли в воздухе?

8. В каком случае необходима защита воздушного бассейна от вентиляционных выбросов?

## **Работа № 4**

# **ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ И ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЕ**

**Цель работы:** приобрести практические навыки в проведении измерений уровня шума и характеристик звукоизоляции конструкционных материалов.

### **1. Теоретическая часть**

#### **1.1.Общие сведения**

В результате научно-технического прогресса появилось множество мощных высокоскоростных машин со сложной динамикой и металлоемкостью. Однако рост технико-экономических показателей машин и производства сопровождается повышением шума и вибрационной активности технических систем, расширением зон и увеличением времени воздействия этих вредных факторов на работающих и окружающих.

Увеличение шума объясняется двумя факторами:

1) Подавляющее большинство людей не осознают величину его опасности для человека, и то, что шум является злом.

2) Мощность современных промышленных механизмов, всех видов транспорта и бытовых агрегатов непрерывно возрастает, в то время как мероприятия по снижению шума недостаточно эффективны.

В результате человек-оператор подвергается действию вредного производственного фактора, который может вызвать профессиональную болезнь. Также установлено, что шум понижает работоспособность при умственном труде примерно на 60%, а при физическом - на 30%. Поэтому борьба с шумом и защита окружающей среды от его воздействия является в настоящее время актуальной задачей. Воздействие шума зачастую сочетается с воздействием других вредных факторов - вибрации, излучений и т.п. Это также повышает требования к снижению шума.

Проблема снижения шума на производстве включает две связанные между собой задачи:

- во-первых, снижение шума на рабочих местах, территории предприятия и прилегающей к нему селитебной зоны;

- во-вторых, снижение шума изготавляемых предприятиями машин и оборудования; требования к шумовым характеристикам машин и оборудования обязательно содержатся в ТУ и стандартах на них.

Поэтому необходимо: изучать свойства этих опасных явлений; изучать современные нормативные документы; уметь измерить параметры звуковых колебаний и знать методы защиты от них.

В данной лабораторной работе рассматриваются вопросы вредного воздействия шума на человека в зависимости от характеристик шума, вопросы нормирования, измерения и расчета характеристик шума

и эффективного использования защитных средств. Дано описание основных методов измерений шумовых характеристик..

Под **шумом** понимают беспорядочное сочетание звуков различных по силе и частоте, возникающих в результате колебательного процесса в упругой среде в диапазоне частот, воспринимаемых ухом человека (частота  $f$  от 16Гц до 20кГц). Различные по частоте (высоте тона) и интенсивности (громкости) звуки распространяются со звуковой скоростью в виде продольных колебаний в упругой воздушной среде. Звуковые волны подчиняются законам интерференции (наложения) и дифракции (огибание препятствий, линейные размеры которых меньше длины волны  $\lambda$ ). В большинстве случаев шум возникает в результате механических колебаний деталей машин и образования при этом волн разрежения-сжатия в прилегающих к колеблющимся поверхностям слоях воздуха. Причиной звукообразования могут быть динамические процессы в газах и жидкостях в проточных частях энергетических машин, приводящие к образованию ударных волн, «гидравлических ударов» и турбулентных вихрей.

В зависимости от среды, по которой распространяется шум, его подразделяют на **воздушный** и **структурный** шумы.

**Воздушным** шумом называют звуки, распространяющиеся по воздуху. Громкие разговоры, игра на музыкальных инструментах, крики, пение, лай собак, а также работа различных приборов вызывают возникновение в воздухе и распространение воздушного шума.

**Структурный** шум (частный вид структурного шума – ударный) распространяется по структуре здания - по его каркасу. Его источниками являются удары о перекрытие, падение предметов, сверление, удары молотком, слив воды по трубам канализации и пр.

К шуму относят звуковые колебания в диапазоне частот от 16 до 20000Гц (более низкие частоты относятся к инфразвуку, а более высокие – к ультразвуку, которые также могут вредно воздействовать на здоровье человека). Амплитуду звукового давления величиной  $2 \cdot 10^{-5}$  Па ( $\text{Н}/\text{м}^2$ ) на частоте 1000Гц называют порогом слышимости  $p_0$ , а амплитуда величиной 20 - 200Па вызывает болевые ощущения и повреждения слухового аппарата (в зависимости от времени воздействия).

$$\text{Интенсивность звука } I \text{ определяется соотношением: } I = \frac{P^2}{\rho c} \left( \frac{Bm}{M^2} \right),$$

где  $P$  - плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $c$  - скорость звука (для воздуха 340 м/с, для воды 1500м/с, для стали 5000м/с).

В качестве характеристик шума используют уровни звукового давления  $L(\text{dB}) = 20 \lg \frac{P}{P_0}$  и интенсивности  $L(\text{dB}) = 10 \lg \frac{I}{I_0}$ , где индекс “0”

относится к соответствующим пороговым значениям ( $I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ ).

Шумы классифицируют также по *спектральным характеристикам* (широкополосные и тональные) и по *временным характеристикам* (постоянные и непостоянны - колеблющиеся, прерывистые и импульсные).

**Широкополосными** шумами являются шумы с непрерывным спектром, превышающим размеры октавы.

В спектре тонального шума имеются дискретные тона.

К **постоянным** шумам относятся шумы, уровень которых за рабочую смену изменяется не более, чем на 5дБ.

**Колеблющийся** шум - это непрерывно изменяющийся более, чем на 5дБ (по шкале шумомера «медленно»).

**Прерывистый** шум - шум с резко меняющимся уровнем более чем за 1сек.

**Импульсный** шум один или несколько звуков с изменением более 7дБ за время менее 1сек.

Поскольку интенсивность звука нескольких источников является суммой интенсивностей звука каждого источника звука  $I_i$ ,

то соответственно уровень звука  $L$  равен  $L = 10 \lg \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{I_0}$ .

Отсюда для двух равных источников шума с уровнем  $L_1$  будем иметь

$$\Sigma L = 10 \lg (2I_1/I_0) = L_1 + 10 \lg 2.$$

Например: если  $L_1=80$ дБ, число равных источников  $N=2$ , то  $\Sigma L=83$ дБ (но никак не 160дБ). При источниках неодинаковой «шумности» суммарный эффект будет определять, как правило, самый сильный источник. Это утверждение тем верней, чем больше разница по шуму источников.

При уровне шума порядка 40-70 дБ создается значительная нагрузка на нервную систему человека, что ухудшает самочувствие и является причиной неврозов. При уровне 90 дБ и более может произойти потеря слуха. При уровне свыше 140 дБ возможен разрыв барабанных перепонок.

Орган слуха человека неравномерно воспринимает низкочастотные и высокочастотные звуки. Звуки, воспринимаемые на слух одинаково громкими, могут различаться по давлению в 10 раз и более. Вредное воздействие шума на человека неравномерно - с увеличением частоты опасность возрастает. В связи с этим в нормативных документах предписаны предельно допустимые уровни звукового давления, уменьшающиеся с повышением частоты шума. Эти значения рассматриваются в 9-ти октавных полосах со среднегеометрическими частотами:  $f_{ce}=31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000$  и  $8000$  Гц. Полоса частот, в которой верхняя граничная частота  $f_e$  в два раза больше чем нижняя, и называется **октавой**,

$$f_{C2} = \sqrt{f_B \cdot f_H}.$$

Окта́вные уровни звукового давления (уровни звукового давления в октавной полосе частот) выражаются в децибелах (дБ) и вычисляются по формуле

$$L = 20 \lg (p_{cp}/p_o),$$

где  $p_{cp}$  – среднеквадратичное звуковое давление, Па.

Таким образом, уровень интенсивности шума от порога слышимости до порога болевого ощущения изменяется в пределах: 0-140дБ.

**Шумомер** (измерительный прибор) в режиме измерений октавного уровня звукового давления показывает значение энергетической суммы звуковых давлений, создаваемых в расчетной точке (РТ) всеми частотными составляющими шума в данной октавной полосе.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в указанных выше 9-ти октавных полосах.

Слуховой аппарат человека обладает неодинаковой чувствительностью к звукам различной частоты - наибольшей на средних и высоких частотах (800 -4000Гц) и наименьшей – на низких (20...100Гц). Однаковые по интенсивности, но разные по частоте звуки воспринимаются как звуки разной громкости. Поэтому для физиологической оценки шума используются кривые равной громкости. Для того, чтобы приблизить результаты объективных измерений шума к субъективному восприятию, используют корректированный уровень звукового давления (уровень интенсивности). Коррекция заключается в том, что вводятся зависящие от частоты звука поправки к уровню соответствующей величины (путем учета частотной характеристики шумомера). Эти поправки стандартизованы в международном масштабе. Наиболее употребительна коррекция А, которая используется в шумомере **DT-805** (применяется в ходе проведения данной лабораторной работы) при включении фильтра А (нажатием кнопки A/C). Уровень звука принято выражать в «децибелях А» (дБА - dBA)

Перевод из октавных уровней звукового давления в уровни звука, корректированные по шкале А (или по любой другой шкале), следует производить с использованием арифметического суммирования уровня звукового давления  $L_i$  и частотной коррекции  $k_i$  (см. табл.4.1) на определенной среднегеометрической частоте октавной полосы  $i$  и дальнейшим энергетическим суммированием по формуле:

$$L_A = 10 \lg (\sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_i+k_i)}).$$

Таблица 4.1

#### Стандартное значение коррекции А

Среднегеометрическая частота октавной полосы	Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Частотная коррекция $k_i$	дБ	-39,4	-25,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,0	-1,1

В режиме измерений уровня звука шумомер измеряет энергетическую сумму всех частотных составляющих шума от 22,5 до 11300 Гц.

Практически  $L_A = (L_{1000\text{Гц}} + 5) \text{ дБ}$ .

Для случаев, когда действие шума на человека носит изменяющийся во времени характер, нормативные документы требуют определения дозы шума или эквивалентного уровня звукового давления:

$$L_e = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i 10^{0,1 L_i} \right), \quad (4.1)$$

где  $T$  – период времени действия шума;  $L_i$  – октавный уровень звукового давления, действующий в течение временного отрезка  $t_i$ ;

$$T = \sum_{i=1}^n t_i$$

Эквивалентный уровень звука, выражаемый в дБА, вычисляется по той же формуле (4.1), где под знак суммы подставляются значения  $L_{Ai}$  эквивалентного уровня звука, дБА.

Установленные нормативными документами допустимые октавные уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности человека, учитывающие категории тяжести и напряженности труда, а также проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на прилегающей территории жилой застройки приведены в табл.4.2.

Запрещается даже кратковременное пребывание человека в зонах с октавными уровнями выше 135дБ. В зонах меньшей шумности разрешается пребывание человека в течение отрезка времени, величина которого определяется, исходя из допустимой нормы эквивалентного шума. Превышение действующего уровня звукового давления над допускаемым, хотя бы в одной октавной полосе частот, и хотя бы на 1дБ, требует принятия мер к снижению шумности на данном рабочем месте.

Таблица 4.2

**Допустимые уровни звукового давления и уровни звука  
для типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест, для  
помещений жилых и общественных зданий и территории жилой застройки**

№ п/п	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука дБА	
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000		
<b>I Предельно допустимые октавные уровни звукового давления, дБ; уровни звука, корректированные по А, дБ, НА РАБОЧИХ МЕСТАХ в производственных и вспомогательных зданиях, на площадках промышленных предприятий для основных видов трудовой деятельности</b>											
1	Рабочие помещения административно- управленческого персонала производственных предприятий	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

№ п/п	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
2	Рабочие помещения диспетчерских служб, кабины наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону, участки точной сборки, телефонные и телеграфные станции	100	87	79	72	68	65	63	61	59	70
3	Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, помещения для измерительных и аналитических работ, кабины наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
4	Помещения с постоянными рабочими местами производственных предприятий, территории предприятий с постоянными рабочими местами (за исключением работ, перечисленных в поз. 1 - 3)	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
<b>II Допустимые октавные уровни звукового давления, дБ; уровни звука, корректированные по А, дБ, для шума, ПРОНИКАЮЩЕГО извне в помещения жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки</b>											
5	Классные помещения, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории образовательных организаций, конференц-залы, читальные залы библиотек, зрительные залы клубов, залы судебных заседаний, залы религиозно-культурных зданий	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40
6	Жилые комнаты квартир	7:00 – 23:00									
		79	63	52	45	39	35	32	30	28	40
		23:00 – 7:00									
		72	55	44	35	29	25	22	20	18	30
7	Жилые комнаты общежитий	7:00 – 23:00									
		83	67	57	49	44	40	37	35	33	45
		23:00 – 7:00									
		76	59	48	40	34	30	27	25	23	35
8	Жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов стационарных организаций социального обслуживания, организаций для детей-сирот, оставшихся без попечения родителей, спальные помещения в школах-интернатах, дошкольных образовательных организациях	7:00 – 23:00									
		79	63	52	45	39	35	32	30	28	40
		23:00 – 7:00									
		72	55	44	35	29	25	22	20	18	30
9	Помещения офисов, рабочие помещения и кабинеты административных зданий, конструкторских, проектных и	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

№ п/п	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	научно-исследовательских организаций										
10	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, дошкольных образовательных организаций и других образовательных организаций	7:00 – 23:00									
		90	75	66	59	54	50	47	45	44	55
11	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий	23:00 – 7:00									
		83	67	57	49	44	40	37	35	33	45
		7:00 – 23:00									
		93	79	70	63	59	55	53	51	49	60
		23:00 – 7:00									
		86	71	61	54	49	45	42	40	39	50

## 1.2.Защита от шума

Защита работающих от шума при разработке и модернизации технологических процессов, проектировании производственных участков, зданий и сооружений и при организации рабочих мест осуществляется техническими средствами и организационными мероприятиями.

К техническим средствам защиты от шума относятся:

- выбор наименее шумных технологических процессов и оборудования;
- борьба с шумом в источниках звукообразования (например, для зубчатой передачи - повышением класса чистоты и точности изготовления; использованием «незвучных» материалов; улучшением смазки; применением подшипников скольжения вместо подшипников качения и т.д.);

- ослабление интенсивности шума на путях его распространения с помощью звукоизолирующих и звукопоглощающих устройств (звукозолирующих кожухов, кабин наблюдения и дистанционного управления, глушителей шума, звукопоглощающих облицовочных конструкций на основе волокнисто-пористых материалов), применением принципа защиты расстоянием; изменение направления излучения шума;

- средства индивидуальной защиты (СИЗ): наушники, шлемы, «беруши» и т.п.

Для ограничения вредного действия шума проводятся следующие организационные мероприятия:

- выбор рационального режима труда и отдыха, введение перерывов на отдых в течение рабочей смены;

- регулярное медицинское освидетельствование работников «шумных» профессий;

- применение знаков безопасности (повышенной шумности).

Борьба с шумом в источниках звукообразования дает наибольший

положительный результат, но требует больших материальных затрат.

Звукоизолирующие устройства характеризуются как наиболее эффективные, простые и экономичные средства защиты от шума, которые следует применять всегда, когда это оказывается возможным.

### **Характеристика звукоизоляции** плоской однослойной перегородки

- элемента конструкции звукоизолирующего укрытия - рассчитывается по формуле, дБ  $\Delta L_{расч} = G \cdot H \cdot \lg \psi$ , (4.2)

где  $G$  и  $H$ -коэффициенты звукоизоляции (табл. 4.3);

$\psi = f_{kp}/f_{ce}$  - коэффициент частоты;

$f_{ce}$  - среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц;

$f_{kp}$  - критическая частота (резонансная частота поперечных колебаний перегородки), Гц, вычисляемая по формуле

$$f_{kp} = \frac{6,4 \cdot 10^4}{d \cdot C_{np}} \quad (4.3)$$

где  $d$  - толщина перегородки, м;

$C_{np}$  - скорость распространения продольных звуковых волн в материале перегородки, м/с (см.табл.4.3).

Таблица 4.3

### **Коэффициенты частоты и скорость продольных звуковых волн в различных конструкционных материалах**

№ варианта	Материал перегородки	Скорость продольной звуковой волны $C_{np}$ $10^3$ , м/с	Коэффициент частоты								Коэффициент звукоизоляции							
			$\Psi \geq 4$	$4 > \Psi \geq 2$	$2 > \Psi \geq 1,6$	$1,6 > \Psi \geq 1$	$1 > \Psi \geq 0,5$	$\Psi < 0,5$	$G$	$H$	$G$	$H$	$G$	$H$	$G$	$H$	$G$	$H$
1	Сталь	5,2	43	13,3	39	6,7	30	23,3	30	23,3	30	30,0	31	26,7				
2	Алюминиево-магниевые сплавы	5,1	36	13,3	34	10,0	22	30,0	22	30,0	22	26,7	22	26,7				
3	Органическое стекло	1,9	41	13,3	39	10,0	36	0	30	30,0	30	26,7	30	26,7				
4	Фанера	2,1	34	13,3	30	6,7	25	10,0	25	10,0	25	16,7	22	26,7				
5	Стеклопластик	3,5	36	13,3	34	10,0	28	10,0	28	10,0	28	16,7	25	26,7				
6	Силикатное стекло	4,0	40	16,6	40	16,6	29	19,9	29	19,9	29	26,6	31	19,9				

Например, для стальной перегородки толщиной 10 мм величина  $f_{kp}=1230$  Гц. Поскольку в октаве со среднегеометрической частотой  $f_{ce}=31,5$  Гц коэффициент частоты  $\psi_{31,5}=1230/31,5=39 > 4$ , то характеристика звукоизоляции перегородки в этой октаве  $\Delta L_{расч}=43-13,3 \lg 39=21,8$  дБ. Аналогично в октавах со среднегеометрическими частотами: 63, 125, 250, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц характеристика звукоизоляции перегородки соответственно: 25,8; 29,8; 33,8; 36,4; 32,1; 36,3; 44,7 и 52,7 дБ.

**Характеристика звукоизоляции** показывает, на сколько дБ снижаются октавные уровни звукового давления с помощью звукоизолирующего устройства, изготовленного из данного материала.

Глушители шума имеют широкое распространение, например, являются составной частью систем вентиляции и кондиционирования воздуха, обязательны к применению в изделиях предприятий автомобилестроения и авиастроения. Характеристики звукоизоляции глушителей даны в справочниках и каталогах предприятий-изготовителей. Второе по значимости и распространенности техническое средство снижения уровней шума в производственных помещениях - звукопоглощающие облицовочные конструкции и материалы. СИЗ обязательны к применению в рабочих зонах повышенной шумности, однако эффект от их использования незначителен. Эти средства не могут рассматриваться как равноценная замена технических средств защиты от шума.

## **2. Практическая часть**

### **2.1.Описание лабораторной работы № 4 (ауд.106)**

Лабораторная установка **состоит** из: макета производственного помещения (в виде деревянного ящика с откидной крышкой), звукового генератора Г-33, шумометра DT-805 и комплекта звукоизолирующих перегородок.

### **2.2.Условия проведения лабораторной работы № 4 (ауд.106)**

**Перед началом работы** проверить состав лабораторной установки. При этом, приподняв крышку, убедиться, что в макете производственного помещения отсутствует звукоизолирующая перегородка. Шумомер выключен и располагается на специально оборудованной полке. Генератор может быть включен заранее.

### **2.3.Порядок проведения лабораторной работы № 4 (ауд.106)**

#### **2.3.1.Включить звуковой генератор тумблером «Сеть».**

Регулятором «**Частота/Hz**» установить первоначальную частоту генератора (по лимбу на шкале) **31,5Гц**. При этом переключатель «**Множитель (частоты)/Hz**» должен находиться в положении **«1»**.

Ручку «**Рег. выхода**» - Вольты V (справа на панели управления генератора), поворачивая по часовой стрелке, установите напряжение по заданию преподавателя (в пределах 4-5В). В этом случае внутри макета должен прослушиваться звук, излучаемый динамиком стендса на частоте **31,5 Гц**. В последующем - при изменении частоты производить указанной ручкой регулировку установленного напряжения.

#### **2.3.2.Подготовить шумомер DT-805 к работе (см. далее рис. 4.1).**

**Нажатием** верхней клавиши  **включить шумомер.**

**Нажатием** клавиш “**F/S**”, “**A/C**” настроить рабочий режим шумометра,

при котором на его дисплее читаются надписи “SLOW”, “dBC”. Нажатием клавиши “Hi/Lo” выбрать диапазон измерений: доступные диапазоны измерений и их обозначения на дисплее «Lo» - 30...100 dB, «Hi» - 60-130dB (при выходе за предел диапазона измерений на дисплее появится надпись “OVER”).

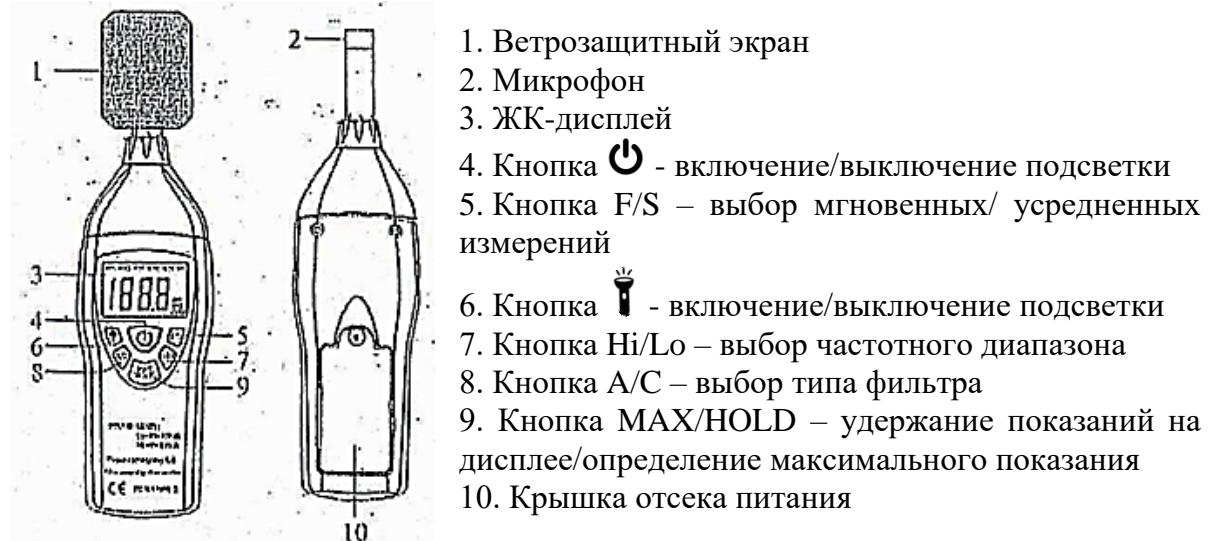
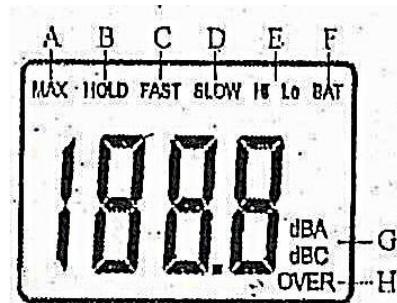


Рис. 4.1 Общий вид шумометра DT-805.

### ЭЛЕМЕНТЫ ДИСПЛЕЯ

#### Индикаторы:

- A. MAX – удержание максимального показания
- B. HOLD – удержание показаний
- C. FAST – режима мгновенных измерений
- D. SLOW – режима усредненных измерений
- E. Hi, Lo – диапазон измерений
- F. BAT – низкого заряда батареи
- G. dBA, dBC – типов фильтров
- H. OVER – выхода за пределы диапазона измерений



**2.3.3. Для удержания текущего показания на дисплее нажмите и удерживайте кнопку “MAX/HOLD” в течение 1сек, при этом на дисплее появится надпись “MAX”.**

Занести результат измерения уровня звукового давления в таблицу бланка отчета в строку для  $L_1$  (уровень звукового давления для установки без звукоизолирующей перегородки).

Для выхода из режима удержания показаний нажмите на кнопку “MAX/HOLD” повторно (надпись MAX погаснет).

**2.3.4. Повторить измерения уровней звукового давления на частотах в соответствии с бланком отчета. Результаты занести в строку для  $L_1$ .**

При изменении частоты возможны начальные колебания напряжения из-за особенностей работы генератора. Используя ручку «Рег. выхода» необходимо регулировать напряжение, установленное по заданию преподавателя.

При установлении частоты сигнала генератора больше **100Гц** шумомер (для измерения уровня шума) необходимо переключить с диапазона **Lo** на диапазон **Hi**.

2.3.5. По окончании данного этапа измерений **Регулировку частоты** генератора привести в исходное положение (31,5Гц). При этом генератор не выключать.

2.3.6. **Далее провести измерения при наличии звукоизолирующей перегородки.** Для этого необходимо приподнять и поставить вертикально крышку стенда. В направляющие внутри стендса поместить звукоизолирующую перегородку, указанную преподавателем в задании.

2.3.7. **Произвести** измерения уровней звукового давления на частотах от **31,5** до **8000Гц**. Результаты занести в строку для **L<sub>2</sub>** бланка отчета.

**Выключить** генератор, шумомер, вернуть все регулировки в исходное состояние и удалить из стендса перегородку.

**Примечание:** При измерении уровня звукового давления возможны скачки в показании прибора вследствие влияния посторонних источников шума.

2.3.8. Произвести расчёт уровня звука  $L_A$  для строк  $L_1$  и  $L_2$  по формуле  $L_A = 10\lg (\sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_i+k_i)})$ . Частотная коррекция указана в таблице 4.1.

2.3.9. В строку  $L_{\text{доп}}$  вписать нормы уровня звукового давления и уровня звука из таблицы 4.2 согласно заданию. В строку  $\Delta L_{\text{изм}}=L_1-L_2$  внести арифметическую разницу результатов измерений уровней звукового давления, создаваемого источником звука на микрофон при обоих вариантах измерений (без и со звукоизолирующей перегородкой).

2.3.10. Произвести расчет характеристики звукоизоляции звукоизолирующей перегородки из фанеры  $\Delta L_{\text{расч}}$  по формулам (4.2 и 4.3). Сделать выводы о согласованности результатов измерений и расчета характеристик звукоизоляции материала перегородки.

2.3.11. Построить графики для  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_{\text{доп}}$ .

Сделать выводы об эффективности звукоизолирующей перегородки.

#### **Расчетное задание на лабораторную работу № 4**

**В усложненном варианте задания или при невозможности проведения измерений** произвести расчет характеристики звукоизоляции перегородкой, выполненной из различных материалов (согласно варианту задания из таблицы 4.3). При расчете использовать приведенные в описании формулы и данные из таблицы 4.3. Результаты расчета занести в таблицу отчета и представить на графике. Сделать выводы о характеристиках звукоизоляции материала перегородки.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Каким свойством должна обладать среда, чтобы в нем распространялись звуковые волны?
2. Чем уровень звукового давления отличается от уровня звука?
3. Назовите слышимый частотный диапазон звуковых волн.
4. От чего зависят допустимые значения уровня шума для основных видов трудовой деятельности человека?
5. Каково медико-биологическое воздействие повышенного уровня шума на организм человека?
6. Назовите технические средства защиты от шума.
7. Назовите организационные мероприятия для ограничения вредного воздействия повышенного шума на человека.
8. Какими параметрами определяется резонансная (критическая) частота поперечных колебаний перегородки - элемента звукоизолирующего перекрытия?
9. Назовите средства индивидуальной защиты органов слуха от шума.
10. Как изменяется уровень интенсивности шума от порога слышимости до порога болевого ощущения?
11. Какими исходными данными надо обладать для вычисления эквивалентного уровня звукового давления?
12. Как классифицируются шумы?

## Работа № 5

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ

**Цель работы:** определить экспериментальным путем эффективность применения пружинных амортизаторов для снижения уровня вибраций.

### 1. Теоретическая часть

#### 1.1. Общие сведения

**Вибрация** - это колебательное движение материальной точки или механической системы.

Причиной возникновения вибраций являются возмущающие силы, которые возникают при работе машин. Их источниками могут быть движущиеся возвратно-поступательные детали, например, в поршневых двигателях, компрессорах, виброуплотнителях бетонных и асфальтобетонных смесей, пневматических молотах и других виброинструментах и машинах. Возмущающие силы возникают также при вращении неуравновешенных масс, например, роторов электрических машин, паровых и газовых турбин, а также при вращении любых деталей, в которых может появиться дисбаланс или из-за неточности изготовления, или из-за конструктивных особенностей машины.

Вибрации, возникающие при работе машин, при отсутствии защиты передаются на организм человека, вызывая в нем функциональные расстройства. По характеру воздействия на организм различают общую и локальную (местную) вибрации. **Общая вибрация** организма возникает при передаче колебаний через площадку, основание или пол при работе стоя или через сиденье при работе сидя. **Локальные вибрации** действуют на руки рабочего при работе с механизированным электрическим и пневматическим инструментом или передаются через органы управления машиной при работе на дорожных механизмах, строительных и транспортных машинах.

Отдельные части тела и внутренние органы (голова, сердце, желудок, печень) можно рассматривать как *колебательные системы* с определенной массой и упруговязкими связями. Такие системы обладают собственными частотами колебаний. При совпадении частоты вибрации (вынужденных колебаний) с этими частотами возникает явление резонанса, при котором резко возрастает амплитуда колебаний, что очень опасно для организма человека. Так собственная частота органов, расположенных в грудной клетке и брюшной полости, составляет 3-3,5Гц, головы в положении сидя - 20Гц, а зрительного аппарата 60-90Гц. Особенно опасны вибрации для отдельных органов, прежде всего для головного мозга, с частотой 6-9Гц, а для рук - 30-80Гц. Поэтому при резонансе затруднено зрительное восприятие изображений. Также осуществляется воздействие на

вестибулярный аппарат.

Локальные вибрации вызывают спазмы (сужения) сосудов, изменения в нервно-мышечной системе и костно-суставном аппарате. Ухудшается снабжение кровью пальцев рук, кисти или рук в целом. Нарушается тактильная чувствительность кожи. Уменьшается подвижность суставов; возникают боли в суставах; руки становятся более чувствительными к холodu. Эти симптомы сопутствуют заболеванию, называемому виброболезнью.

**Виброболезнь** - это профессиональное заболевание, которое поддается эффективному лечению только на ранних стадиях. В более тяжелых случаях заболевание приводит к инвалидности.

Нормы вибраций (рис.5.1) установлены стандартом ГОСТ 12.1.012 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.

Этим стандартом при частотном анализе установлены допустимые средние квадратичные значения виброскорости или ускорения (или их логарифмические уровни, измеренные в дБ): 1 - локальной, 2 - транспортной, 3 - транспортно-технологической, 4 - технологической.

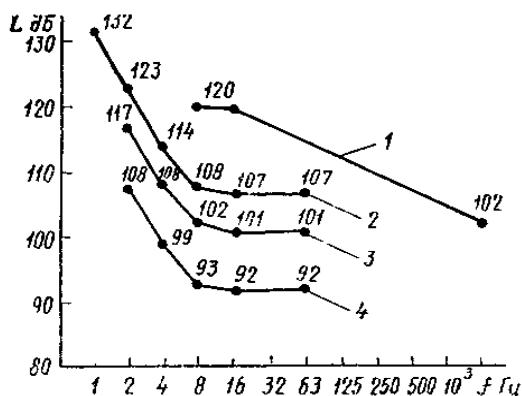


Рис.5.1. Нормы уровней вибраций.

Диапазон частот вибраций разбивается на октавные полосы со среднегеометрическими частотами 1, 2, 3, 4, 8, 16, 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000 Гц.

Среднегеометрическая частота  $f_{cp} = \sqrt{f_1 f_2}$ ,

где  $f_1$  и  $f_2$  - граничные частоты полосы; в октавной полосе  $f_2=2f_1$ .

Частота  $f = 1 / T$ , Гц, где Т - период колебаний, с.

Кроме частоты, вибрацию характеризуют следующие параметры:  $Y_m$  - амплитуда смещения, м;  $V_m$  - амплитуда скорости, м/с;  $a_m$  - амплитуда ускорения, м/с<sup>2</sup>.

В практике виброакустических исследований вибрации оцениваются не амплитудными значениями параметров, а действующими значениями, то есть средними квадратичными значениями мгновенных значений параметра.

При гармонических колебаниях средние квадратичные значения

виброскорости и виброускорения можно выразить через амплитудные значения соответственно:  $V_I=V_m/\sqrt{2}$ ,  $a_I=a_m/\sqrt{2}$ .

**Виброскорость и виброускорение** принято выражать в уровнях параметра относительно условного нулевого порога. Уровень параметра - это логарифмическое отношение абсолютного значения параметра к пороговому (опорному) значению, выбранному в качестве начала отсчета.

Уровень виброскорости  $L_v=10\lg(V^2/V_0^2)=20\lg(V/V_0)\text{дБ}$ .

Уровень виброускорения  $L_a=20\lg(a/a_0)\text{дБ}$ ,  
где  $V_0=5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}$  и  $a_0=10^{-6} \text{ м/с}^2$  - пороговые значения виброскорости и виброускорения.

Гигиеническую оценку вибрации, действующей на человека, производят: или частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра; или интегральной оценкой по частоте нормируемого параметра; или дозой вибрации.

В зависимости от принятого метода гигиенической оценки вибрации нормируются различные гигиенические характеристики вибрации, которые представлены в ГОСТ 12.1.012 и СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

При частотном (спектральном) анализе нормируемыми являются **кинематические параметры**: средние квадратичные значения виброскорости (или их логарифмические уровни  $L_v$ ) или виброускорения для локальной вибрации - в октавных полосах частот; для общей вибрации в октавных и 1/3-октавных полосах частот.

Общая и локальная вибрации нормируются раздельно в октавных полосах частот (для общей и локальной вибрации существуют свои октавные полосы). В качестве нормируемого параметра в СанПиН 1.2.3685-21 применяется корректированное ускорение и эквивалентный уровень корректированного ускорения. Однако в данной лабораторной работе по вопросам нормирования будем использовать параметры вибраций, приведённые выше.

## 1.2.Методы и средства защиты от вибрации

Классификация средств и методов защиты от вибрации определяется соответствующими нормативными документами: «Средства измерения и контроля вибрации на рабочих местах. Технические требования».

**Средства защиты** от вибрации подразделяются на коллективные и индивидуальные. Средства коллективной защиты, в свою очередь, делятся на воздействующие на источник возбуждения и средства защиты от вибрации на путях ее распространения.

К первым относятся динамическое уравновешивание, антифазная синхронизация, изменение характера возмущающих воздействий,

изменение конструктивных элементов источника возбуждения, изменение частоты колебаний. Они используются, как правило, на этапе проектирования или изготовления машины.

Средства защиты от вибрации на путях ее распространения могут быть заложены в проекты машин и производственных участков, а могут быть применены на этапе их эксплуатации.

Одним из распространенных способов защиты от вибрации, работающего персонала, является **виброизоляция машин**. Под виброизоляцией понимают установку машины на амортизаторы, т. е. на упругие элементы, пружинные или резиновые, обладающие небольшой жесткостью. С применением амортизаторов уменьшается передача вибраций от машины на основание. Передача вибраций зависит от соотношения частот - собственной частоты колебаний системы и частоты вынужденных колебаний. Собственная частота колебаний машины, установленной на амортизаторы, определяется свободными колебаниями, возникающими при отсутствии возмущающих сил. Свободные колебания происходят с собственной частотой  $\omega_0$  ( $\omega = 2 \pi f$  - угловая частота), которая зависит только от параметров системы:  $\omega_0 = \sqrt{K/m}$ , где  $K$  - жесткость амортизаторов, Н/м;  $m$  - масса машины, кг.

Частота вынужденных колебаний определяется частотой возмущающей силы. Если возмущающая сила возникает из-за вращения неуравновешенной массы с угловой скоростью  $\omega$ , то частота вынужденных колебаний равна  $\omega$ , при этом смещение машины изменяется по гармоническому закону  $y = Y_m \sin \omega t$ , где  $y$  - смещение машины, м;  $Y_m$  - амплитуда смещения, м;  $\omega$  - частота вынужденных колебаний, 1/с.

Амплитуда колебаний в установившемся режиме

$$Y_m = \frac{1}{\left| 1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right|} \times \frac{F_m}{K} = \mu \frac{F_m}{K}, \quad (5.1)$$

где  $F_m$  - амплитуда возмущающей силы, Н;  $\mu$  - коэффициент передачи.

**Коэффициент передачи** - это отношение амплитуды силы, передающейся через пружины на основание, к амплитуде возмущающей силы. Коэффициент передачи зависит от соотношения частот

$$\mu = \left| 1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right|^{-1}$$

В формуле (5.1)  $F_m$  – амплитуда силы, действующей на основание. При изменении частоты вынужденных колебаний от 0 (машина не работает) до определенной постоянной величины (заданная скорость вращения вала двигателя) коэффициент передачи сначала увеличивается и при совпадении частот  $\omega/\omega_0 = 1$  стремится теоретически

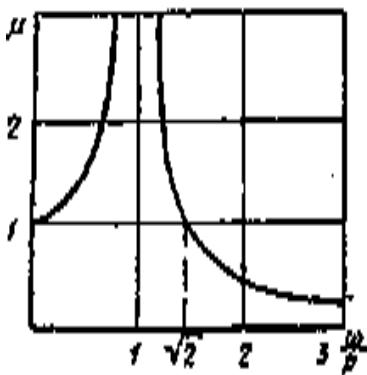


Рис.5.2. Теоретическая резонансная кривая

Амортизаторы подбирают с запасом, чтобы отношение частот получалось  $\omega/\omega_0 > 3$ . Тогда работа амортизаторов считается эффективной, а коэффициент передачи принимает значение  $\mu < 1/8$ . На рис.5.2 представлено графическое изображение коэффициента передачи.

Уменьшение передачи вибраций от машины на основание установкой ее на амортизаторы называется **виброизоляцией** машин. Благодаря виброизоляции машин уменьшаются вибрации на рабочих местах, расположенных вблизи от машины, но вибрации самой машины могут оставаться достаточно большими.

Виброизоляция машины может быть определена расчетом. Расчет амортизаторов проводится в определенном порядке.

Исходными данными для расчета являются **параметры вибраций**: амплитуда виброскорости (или амплитуда смещения и виброускорения); частота вынужденных колебаний; число и параметры пружин, массы машины с основанием и фундаментной плиты.

Жесткость пружинных амортизаторов ( $\text{Н}/\text{м}$ ) определяется по формуле

$$K = \frac{Gd^4 n}{8D^3 i},$$

где  $G$  - модуль сдвига стали,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;  $d$  - диаметр проволоки пружины, м;

$D$  - диаметр пружины, м;  $i$  - число витков пружины;  $n$  - число пружин.

$$\text{Собственная частота колебаний } \omega_0 = \sqrt{\frac{K(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}},$$

где  $m_1$  - масса машины с основанием, кг;

$m_2$  - масса фундаментной плиты, кг.

Среднеквадратичное значение виброскорости установки (м/с) *без амортизаторов*:  $V_1 = V_m / \sqrt{2}$ , где  $V_m$  - амплитуда виброскорости.

Среднеквадратичное значение виброскорости установки (м/с) *с амортизаторами*  $V_2 = \mu V_1$ .

к бесконечности. При этом возникает резонанс колебаний, а амплитуда резко возрастает. Затем коэффициент передачи с ростом частоты  $\omega$  уменьшается, амплитуда колебаний при этом также уменьшается. Коэффициент передачи дважды принимает значение  $\mu=1$  при  $\omega=0$  и при  $\omega/\omega_0 = \sqrt{2}$ .

Когда  $\omega/\omega_0 > \sqrt{2}$ , коэффициент передачи  $\mu < 1$ , при этом вибрации, передающиеся на основание через амортизаторы (пружины), становятся меньше вибраций, передающихся от машины, установленной без амортизаторов на основание.

Амортизаторы подбирают с запасом, чтобы отношение частот получалось  $\omega/\omega_0 > 3$ . Тогда работа амортизаторов считается эффективной, а коэффициент передачи принимает значение  $\mu < 1/8$ . На рис.5.2 представлено графическое изображение коэффициента передачи.

Уменьшение передачи вибраций от машины на основание установкой ее на амортизаторы называется **виброизоляцией** машин. Благодаря виброизоляции машин уменьшаются вибрации на рабочих местах, расположенных вблизи от машины, но вибрации самой машины могут оставаться достаточно большими.

Виброизоляция машины может быть определена расчетом. Расчет амортизаторов проводится в определенном порядке.

Исходными данными для расчета являются **параметры вибраций**: амплитуда виброскорости (или амплитуда смещения и виброускорения); частота вынужденных колебаний; число и параметры пружин, массы машины с основанием и фундаментной плиты.

Жесткость пружинных амортизаторов ( $\text{Н}/\text{м}$ ) определяется по формуле

$$K = \frac{Gd^4 n}{8D^3 i},$$

где  $G$  - модуль сдвига стали,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;  $d$  - диаметр проволоки пружины, м;

$D$  - диаметр пружины, м;  $i$  - число витков пружины;  $n$  - число пружин.

$$\text{Собственная частота колебаний } \omega_0 = \sqrt{\frac{K(m_1 + m_2)}{m_1 m_2}},$$

где  $m_1$  - масса машины с основанием, кг;

$m_2$  - масса фундаментной плиты, кг.

Среднеквадратичное значение виброскорости установки (м/с) *без амортизаторов*:  $V_1 = V_m / \sqrt{2}$ , где  $V_m$  - амплитуда виброскорости.

Среднеквадратичное значение виброскорости установки (м/с) *с амортизаторами*  $V_2 = \mu V_1$ .

Логарифмические уровни виброскорости установки (дБ) без амортизаторов и с амортизаторами соответственно рассчитываются

$$L_1 = 20\lg(V_1/V_0), \quad L_2 = 20\lg(V_2/V_0).$$

Полученные уровни виброскорости сравниваются с допустимыми.

## 2. Практическая часть лабораторной работы № 5 (в ауд. 104 ГК)

### 2.1. Описание лабораторной работы № 5 (ауд.104)

Установка по исследованию виброизоляции машины (рис.5.3) состоит: электродвигатель (1), основание электродвигателя (2), сменные амортизаторы (3), вибродатчик (4) типа ДН-3, который прикреплен фундаментной плите (5), пускорегулирующий аппарат (с пусковой кнопкой (9), ручкой регулирования скорости вращения электродвигателя (8), выключателем (7)) и электронно-лучевой осциллограф (6).

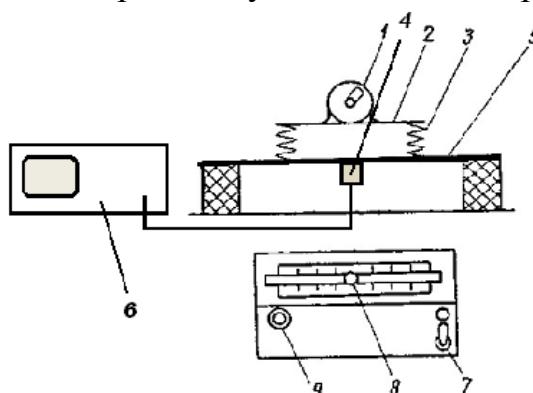


Рис.5.3. Схема лабораторного стенда № 5.

При включении электродвигателя вращается закрепленный на валу электромотора дисбаланс. Возмущающая сила, которая возникает при этом, вызывает вибрации электродвигателя и его основания. Если электродвигатель с основанием закреплен жестко на фундаментной плите с помощью винтов, то вибрации полностью передаются на фундаментную плиту. При установке между основанием и фундаментной плитой пружинных амортизаторов передача вибраций на фундаментную плиту изменяется. Под фундаментной плитой изнутри установлен вибродатчик (4) - ДН-3, считающий величину виброускорения объекта в направлении вертикальной оси координат Z. Значения виброускорения определяются по величине сигнала на экране осциллографа, на вход которого поступают сигналы от вибродатчика.

### 2.2. Условия проведения лабораторной работы № 5 (ауд.104)

Измерение характеристик вибрации при установке электродвигателя без амортизаторов и с амортизаторами проводится согласно заданию (по решению преподавателя) и с проведением сопоставления полученных значений с нормами уровней вибраций согласно заданию преподавателя. На бланке графика “Уровни виброскорости” отчета по результатам измерений отображаются зависимости уровней виброскорости от частоты

для установки без амортизаторов, с амортизаторами и норму уровней вибраций. Делаются выводы об эффективности виброизоляции машины.

### 2.3. Порядок проведения лабораторной работы № 5 (ауд.104)

2.3.1. Включить осциллограф (6) и установку выключателем (7) (см. рис.5.3).

2.3.2. Проверить установку платформы оранжевого цвета (2) основания электродвигателя (1) на фундаментную плиту синего цвета (5) без амортизаторов (5) и закрепление платформы к плите винтами.

2.3.3. **Произвести** измерение величины амплитуды виброускорения, а затем расчет соответствующего уровня виброскорости на первоначальной частоте 8Гц, указанной в строке «частота колебаний» таблицы «результаты измерений отчета», для этого:

- установить частоту вращения электродвигателя **8Гц** (480об/мин) ручкой регулирования скоростей (8) на пускорегулирующем аппарате (9) и **нажать** на передней панели аппарата **пусковую кнопку**. На экране осциллографа измеряемый сигнал может быть представлен в данном случае в виде прямой линии вдоль оси Y, изменяющейся по амплитуде.

2.3.4. **Измерить** размах «A» - двойную амплитуду, сигнала с экрана осциллографа в сантиметрах (для определения величины сигнала - сторона одного квадрата шкалы = **1 см**, с малыми делениями по **0,2 см**).

Затем пересчитать его в **милливольты** путем перемножения размаха **A** на коэффициент цены деления вертикальной шкалы на экране осциллографа, который определяется по положению ручки усиления «Вольт/дел» канала В/Y в правом нижнем углу передней панели прибора.

*При всех измерениях центральную часть ручки усиления сигнала «Вольт/дел» темно-серого цвета канала В/Y на осциллографе не трогать! При этом она находится в крайнем правом положении.*

При амплитуде сигнала, выходящей за пределы экрана осциллографа, использовать вращение большой ручки усиления «Вольт/дел» канала В/Y (против часовой стрелки) для изменения масштаба отображаемого сигнала. *Например, при A = 4 см и K<sub>u</sub> = 5 мВ/см, имеем U = 4 см \* 5 мВ/см = 2 мВ.*

*В случае если размах амплитуды не помещается на экране осциллографа, нужно увеличить коэффициент (K<sub>u</sub>) поворотом ручки усиления «Вольт/дел» против часовой стрелки. Тогда коэффициент будет другой величины (10, 20, 50, ...) и U = A\*K<sub>u</sub>.*

**Результат измерения** занести в  первую графу строки раздела «Объект виброизоляции без амортизаторов».

В  первую графу  второй строки (результатов измерений) соответствующего раздела занести значения виброускорения, **a<sub>m</sub>** (**м/с<sup>2</sup>**) на указанных частотах **f** (Гц), которые вычисляются как произведение величины **U, мВ** на масштабный коэффициент **K<sub>u</sub> = 0,0001 м / (с<sup>2</sup>мВ)** (*Например: U=20 мВ соответствует величине виброускорения a<sub>m</sub> = 0,002 м/с<sup>2</sup>.*)

В первую графу третьей строки (результатов измерений) соответствующего раздела занести на указанных частотах  $f$  (Гц) значения среднеквадратичной амплитуды виброскорости  $V$ (м/с), которая вычисляется по формуле  $V = \frac{a_m}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{2}}$

В первую графу четвертой строки (результатов измерений) соответствующего раздела, с точностью до первого знака после запятой, занести значение уровня виброскорости в децибелах (дБ) на указанных частотах  $f$  (Гц), которое вычисляется по формуле:  $L_V = 20 \lg \frac{V_1}{V_0}$ , где пороговая виброскорость вычисляется по формуле  $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$  м/с.

Например, если частота  $f = 4$  Гц,  $a_m = 0,002$  м/с<sup>2</sup>, то

$$L_V = 20 \lg \frac{0,002}{2\pi \cdot 4 \cdot \sqrt{2} \cdot 5 \cdot 10^{-8}} = 61 \text{ дБ.}$$

**Произвести измерения** и расчеты по описанной выше методике на остальных частотах колебаний  $f$ , Гц, указанных в таблице «Результаты измерений: 11; 16; 22; 32; 44 Гц» и их результаты занести в первые три строки таблицы отчета.

2.3.5. Расторгнуть крепление винтами платформы (оранжевого цвета) (2) основания электродвигателя (1) к фундаментальной плите (синего цвета). **Установить** поочередно амортизаторы (3) пружинами вверх согласно заданию между платформой оранжевого цвета (2) основания электродвигателя (1) и фундаментной плитой (синего цвета) (5). При этом ножки платформы основания электродвигателя должны входить в пружины амортизаторов.

**Повторить** проведение опыта по п. 2.3.3 и 2.3.4.

Полученные в эксперименте уровни виброскорости сравнить с допустимым уровнем. Сделать выводы об эффективности виброизоляции электродвигателя.

**В усложненных вариантах работы, или при невозможности выполнить измерения,** следует рассчитать эффективность виброизоляции машины (коэффициент передачи при наличии амортизаторов) по приведенным в описании формулам, используя данные табл.5.1 и исходные данные, приведенные ниже.

Таблица 5.1

**Исходные данные для расчета лабораторной работы № 5**

Вариант задания	Диаметр пружины $D$ м,	Диаметр проволоки пружины $d$ , м	Число витков пружины $i$	Частота вынужденных колебаний, Гц
1	$18 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	8	32
2	$30 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	10	22
3	$28 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	8	44
4	$22 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	13	16

Масса электродвигателя с основанием  $m_1 = 2\text{ кг}$ .

Масса фундаментной плиты  $m_2 = 2\text{ кг}$ .

Модуль сдвига стали  $G = 8 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ . Число амортизаторов  $n = 4$ .

## 2. Практическая часть работы № 5а (в ауд. 106 ГК)

### 2.1. Описание лабораторной работы № 5а (ауд.106)

Схема лабораторного стенда представлена на рис.5.4. Вибростенд **1** приводится в действие от генератора низкочастотных сигналов **FY 3200S** (Feel Tech) **9** через усилитель сигналов **2**.

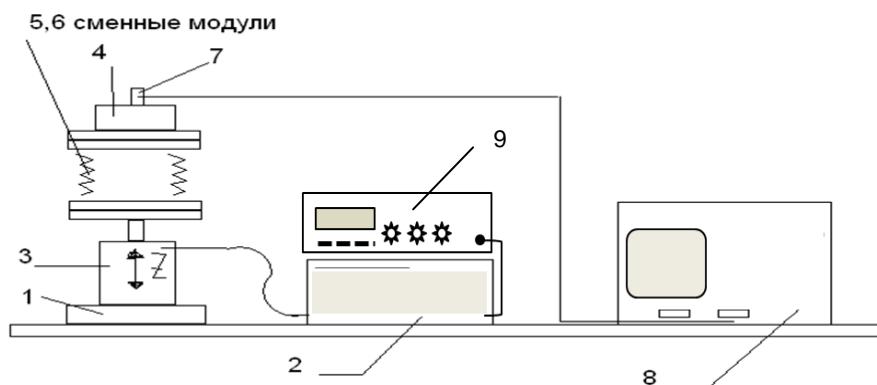


Рис. 5.4. Схема лабораторного стенда № 5а

На вибростоле **3** вибростенда устанавливается объект виброизоляции **4** посредством жесткого модуля **6** посредством сменного жесткого модуля **6**, или виброзащитных модулей **5** (две параллельные пластины, между которыми установлены пружинные виброизоляторы - под № 2 и 3), или виброизолирующей прокладки под № 4.

К объекту виброизоляции **4** прикреплен вибродатчик **7** типа ДН-3, считывающий характеристики виброускорения объекта в направлении вертикальной оси координат **Z**. Величина значений виброускорения определяется по показаниям осциллографа **8**, на вход которого поступают сигналы от вибродатчика **7**.

### 2.2. Условия проведения лабораторной работы № 5а (ауд.106)

Измерение характеристик вибраций при установке объекта без амортизаторов и с амортизаторами и сопоставление полученных значений с нормами уровней вибраций проводится согласно заданию преподавателя. Поэтому преподаватель устанавливает норму уровней, какой вибрации учитывать при составлении графика (локальной, транспортной, транспортно-технологической, технологической).

Одно из главных условий проведения лабораторной работы - ознакомиться с содержанием разделов «Общие сведения», «Методы и средства защиты от вибрации» лабораторной работы № 5.

На бланке графика “Уровни виброскорости” отчета по результатам измерений отображается (в виде графика) зависимость уровней виброскорости от частоты для установки без амортизаторов, с

амортизаторами и норма уровней вибраций. Делаются выводы об эффективности виброизоляции объекта.

### **2.3. Порядок выполнения лабораторной работы № 5а (ауд.106)**

2.3.1. Перед началом работы проверить закрепление объекта виброизоляции **4**, с установленным на нем вибродатчиком **7**, на жестком модуле **6** и закрепление жесткого модуля на вибростоле **3**.

**Запрещено разбирать части лабораторной установки!**

2.3.2. Включить генератор - переключением белой клавиши на передней панели прибора слева в положение «**ON**», и осциллограф - нажатием кнопки «**Сеть**» на передней панели.

**Определить порядок включения усилителя в ходе проведения работы: переключение режимов работы генератора при изменении частоты сигнала и смену виброзащитных модулей производить только при выключенном усилителе.** (Усилитель расположен в деревянном ящике на столе.) При проведении работы включается на короткое время красной клавишей «**Вкл**» - на усилителе с обратной стороны деревянного ящика слева.

2.3.3. Произвести измерение величины амплитуды сигнала на первоначальной частоте **4Гц**, указанной в строке «**Частота колебаний**» таблицы «Результаты измерений» отчета.

**Для этого необходимо последовательно выполнить следующее:**

а) кнопкой «**SYS**» произвести **2 (два)** нажатия и выбрать режим «**LOAD**» (отображается во второй строке цифрового индикатора);

б) **поворотным регулятором** (справа от экрана) установить в нижней строке на цифровом экране **режим 01**, соответствующий **4Гц**;

в) **однократным нажатием на поворотный регулятор** подтвердить выбранную частоту (режим). При этом в конце нижней строки на цифровом экране отобразится символ «**OK**». В результате генератор начнет подавать сигнал на фиксированной частоте (**01**) через включенный усилитель на вибростол и будет приводить его в действие.

В дальнейшем с помощью поворотного регулятора, ориентируясь на показания **нижней строки** цифрового индикатора генератора (режимы: **02, 03, 04, 05, 06, 07, 08**), устанавливаются так же остальные фиксированные частоты (режимы) согласно заданию.

г) **ознакомиться с порядком проведения измерения сигнала**, отображаемого на экране осциллографа, т.к. как сигнал отображается в данной работе в виде линии, изменяющейся по амплитуде (по оси «**Y**»):

- **измерение размаха «A» (двойной амплитуды)** сигнала с экрана осциллографа производится в сантиметрах. Для определения величины сигнала учтеть, что сторона одного квадрата шкалы = **1см** с **малыми делениями по 0,2см**.

- **затем необходимо пересчитать его в милливольты** путем

перемножения **размаха** **A** на величину коэффициента, который определяется по положению ручки усиления «**Вольт/дел**» канала **B/Y**, расположенной в правом нижнем углу передней панели осциллографа.

**При всех измерениях центральную часть ручки усиления сигнала «Вольт/дел» темно-серого цвета канала **B/Y** на осциллографе не трогать! Она должна находиться в крайнем правом положении.**

При амплитуде сигнала, выходящей за пределы экрана осциллографа, использовать вращение большой ручки усиления «**Вольт/дел**» канала **B/Y** (против часовой стрелки) для изменения масштаба отображаемого сигнала. Тогда коэффициент (*K*) будет увеличиваться в соответствии с нанесёнными на передней панели осциллографа значениями «Вольт/дел». Пример: при  $A = 4\text{ см}$  и  $K = 5\text{ mV/cm}$ , имеем  $U = 4\text{ см} \cdot 5\text{ mV/cm} = 20\text{ mV}$ .

**2.3.4. После ознакомлением с порядком действий, указанных в п.2.3.4,**  
- включить усилитель сигналов и произвести измерение амплитуды сигнала с экрана осциллографа.

**Результат** проведенного измерения занести в  первую графу строки раздела «Объект установлен на жестком модуле».

**2.3.5. Провести измерения амплитуды сигнала по имеющейся методике на остальных частотах колебаний *f*, Гц, указанных в таблице «Результаты измерений»: 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500Гц.**

**2.3.6. При выключенном усилителе установить виброзащитный модуль 5 под объектом виброизоляции 4 с закрепленным на нем вибродатчиком 7 на вибростоле 3, заменив жесткий модуль 6 на виброзащитный модуль, № которого указан преподавателем в задании (в бланке).**

**Переустановку модулей проводить только под руководством преподавателя! Для этого - открутить гайки винтов, соединяющие модуль с объектом виброизоляции 4 и вибростолом 3. Причем, гайки откручивать не до конца, а до тех пор, пока не появится возможность «физического» отсоединения объекта виброизоляции со сменным модулем и сменного модуля с вибростолом.**

**Далее включать усилитель сигналов, определенным ранее порядком.**

**Произвести измерения амплитуды сигнала по имеющейся методике, п.п. г) п. 2.3.4, на указанных частотах - от 4 до 500Гц.**

После каждого измерения необходимо выключать усилитель.

**Результаты** проведенных измерений занести в  первую строку раздела «Объект установлен на виброизоляционном модуле (амортизатор №\_\_ )».

**Аналогичным способом** провести измерения с другим виброзащитным модулем, № которого также указан преподавателем в задании, и их результаты занести в первую соответствующую строку таблицы отчета.

**2.3.7. После проведения всех измерений:**

**Выключить усилитель, генератор сигналов и осциллограф.**

В первую графу второй строки соответствующего раздела занести значения виброускорения,  $a_m$  ( $\text{м}/\text{с}^2$ ) на указанных частотах  $f$  (Гц), которые вычисляются как произведение величины  $U_{\text{мВ}}$  на масштабный коэффициент  $K_u = 0,0001 \text{ м}/(\text{с}^2\text{мВ})$  (Например:  $U=20 \text{ мВ}$  соответствует величине виброускорения  $a_m = 0,002 \text{ м}/\text{с}^2$ ).

В первую графу третьей строки соответствующего раздела занести на указанных частотах  $f$  (Гц) значения среднеквадратичной амплитуды виброскорости  $V$  ( $\text{м}/\text{с}$ ), которая вычисляется по формуле  $V = \frac{a_m}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{2}}$

В первую графу четвертой строки соответствующего раздела, с точностью до первого знака после запятой, занести значение уровня виброскорости в децибелах (дБ) на указанных частотах  $f$  (Гц), которое вычисляется по формуле:  $L_V = 20 \lg \frac{V_1}{V_0}$ , где пороговая виброскорость  $V_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ м}/\text{с}$ . Например, если частота  $f = 4 \text{ Гц}$ ,  $a_m = 0,002 \text{ м}/\text{с}^2$ , то

$$L_V = 20 \lg \frac{0,002}{2\pi \cdot 4 \cdot \sqrt{2} \cdot 10^{-8}} = 61 \text{ дБ.}$$

На графике «Уровни виброскорости» бланка отчёта по результатам измерений и расчетов построить зависимости уровней виброскорости от частоты для случаев работы стенда без амортизаторов, с амортизаторами и норму уровней вибрации в соответствии с рис.5.1.

**Сделать выводы** о проделанной работе.

### 3. Практическая часть работы № 56 (в ауд. 106 ГК)

#### 3.1. Описание лабораторной работы № 56

Схема лабораторного стенда представлена на рис.5.5.

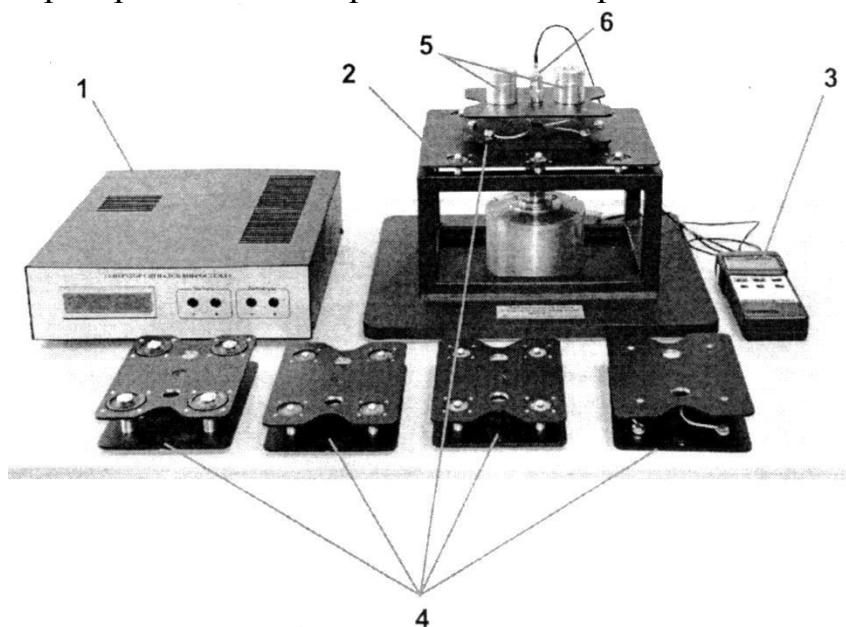


Рис.5.5 Внешний вид лабораторного стенда № 56.

Источником, возбуждающего вибрацию, синусоидального сигнала

частотой от 2 до 2000Гц является генератор и токовый усилитель (1). Сигнал с генератора возбуждает источник вибрации (2) с виброзащитным модулем (4) и объектом виброизоляции (5). Измерение параметров вибрации производится датчиком (6) и измерителем вибрации **VM-6320** (3). Стенд комплектуется пятью сменными виброзащитными модулями (4).

Внешний вид передней панели генератора и усилителя возбуждающего сигнала приведен на рис.5.6.



Рис.5.6. Передняя панель генератора и усилителя.

На индикаторе (1) отображается частота сигнала в Гц и его амплитуда в процентах от максимальной (максимальная амплитуда соответствует толкающему усилию в 10 Н):  $A=KA_{\max}$ , где К изменяется в диапазоне от 0 до 1.

Установка частоты и амплитуды выходного сигнала производится с помощью кнопок (2) и (3) соответственно.

Быстрый сброс амплитуды возбуждения производится с помощью кнопки (4) «>0<». На задней панели генератора и усилителя сигнала расположены сетевой ввод «220В, 50Гц», выключатель питания с подсветкой «Сеть», два гнезда «Нагрузка» для подключения кабеля от вибростенда (источника вибраций). Остальные гнезда не используются.

Усилитель оснащен тепловой защитой. В случае перегрева усилителя более 75 градусов происходит автоматическое отключение питания. Включение усилителя станет возможным при охлаждении его до 50 градусов.

### 3.2. Условия проведения лабораторной работы № 5б (ауд. 106ГК)

Внешний вид источника вибрации в сборе с виброзащитным модулем (ВЗМ), объектами виброизоляции и вибродатчиком представлен на рис.5.7. Корпус источника вибраций (1) на рис.5.7 жестко закреплен на массивном основании (2).

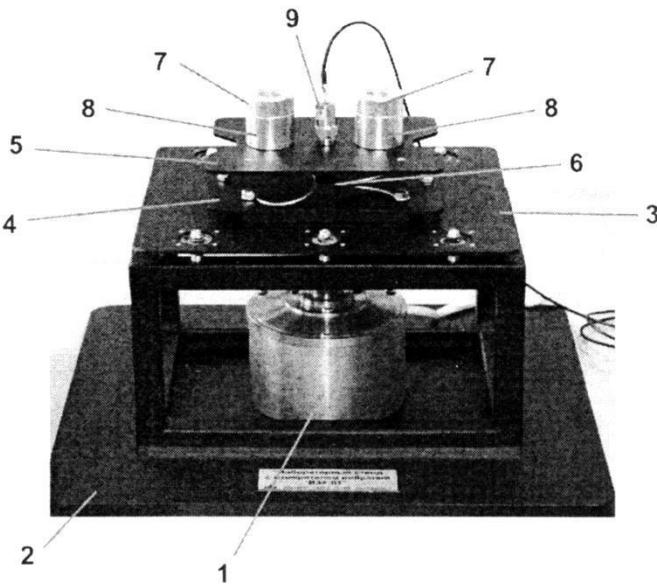


Рис.5.7. Внешний вид источника вибраций в сборе.

Через шток усилие от источника вибрации передается на вибростол (3) (платформу вибростола). Предусмотрена возможность установки на вибростол одного из сменных виброзащитных модулей (ВЗМ).

ВЗМ устанавливается на направляющие вибростола и закрепляется на нем вручную винтами с пластмассовыми головками из комплекта стенда.

ВЗМ представляет собой основание (4) и рабочую платформу (5), на которую устанавливаются объекты виброизоляции (7,8). Конструктивно основание и рабочая платформа связаны четырьмя виброизоляторами (6).

Типы ВЗМ используемых в работе:

№1 - установлены четыре резинометаллических виброизолятора АП-1-4-5.

№2 - установлены четыре резинометаллических виброизолятора АП-1-9.

№3 - установлены четыре резинометаллических виброизолятора АП-2-18.

№4 - установлены четыре пружинных амортизатора АКПО-1.

№5 - установлены четыре пружинных амортизатора АКПО-2.

Величина вибрации вибростола и объекта виброизоляции измеряется вибродатчиком (9) и измерителем вибраций **VM-6320**. Датчик оснащен магнитом, который позволяет его оперативно устанавливать на вибростол или на рабочую платформу ВЗМ (равноценно установке на объект виброизоляции). Для установки датчика на рабочую платформу предусмотрено углубление в центре платформы ВЗМ.

Масса рабочей платформы составляет 480 г.

Масса объекта виброизоляции (7- два маленьких) – 200г пара; (8- два больших) - 400г пара. Объекты виброизоляции устанавливаются только парами: пара 7, пара 8 или пары 7 и 8 вместе.

Измеритель вибраций позволяет измерять скорость или ускорение в диапазоне частот от 4Гц до 5Гц. Внешний вид прибора приведен на рис.5.8.



Рис.5.8 Измеритель вибраций VM-6320.

Для проведения измерений кабель вибродатчика должен быть подключен к входному гнезду на верхнем торце прибора. Включение прибора осуществляется кнопкой «**Power**» (красно/белая). Кнопка «**HOLD**» предназначена для удержания максимальных показаний измеряемой величины. Выбор измерения производится кнопкой «**FUNC**»:

DISP - смещения (0-2 мм);

VE - среднеквадратичного значения скорости (0-200 мм/с);

ACC - среднеквадратичного значения ускорения (0-200 м/с<sup>2</sup>).

Кнопкой «**FILTER**» - выбор частотного диапазона при измерении ускорения.

#### **Требования по безопасности при выполнении работы:**

- при смене дополнительных грузов необходимо выключать генератор;
- при появлении дребезга в случае ослабления крепления исследуемых объектов необходимо остановить установку и убедиться в надежности крепления ВЗМ.

### **3.3. Порядок выполнения лабораторной работы № 56 (ауд. 106 ГК1)**

3.3.1. Ознакомиться с содержанием разделов «Общие сведения», «Методы и средства защиты от вибрации» лабораторной работы № 5.

3.3.2. Проверить подключение кабеля с вибродатчиком к входному разъему прибора VM-6320.

3.3.3. Включить прибор VM-6320 однократным нажатием кнопки «**Power**».

3.3.4. Выбрать с помощью кнопки «**FUNC**» измеряемый параметр – «ускорение» (ACC).

3.3.5. Установить на приборе частотный диапазон 1 кГц нажатием на кнопку «**FILTER**».

3.3.6. Установить на приборе режим измерения усреднённых уровней виброускорения при помощи кнопки «**HOLD**» (для этого на дисплее прибора не должна отображаться надпись «MAX»). Убедиться, что на дисплее прибора отображаются нули (0,00).

3.3.7. Установить на вибrostол, согласно варианту задания, требуемый виброзащитный модуль (ВЗМ). На него рабочую платформу установить (вкрутить) необходимые объекты виброподавления (по варианту задания - пара 7, пара 8 или пары 7 и 8 вместе). Убедиться в надежности их закрепления.

3.3.8. Приложить вибродатчик магнитной поверхностью к поверхности вибrostola в произвольной точке.

3.3.9. Включить генератор сигналов переключателем «Сеть» на его задней панели. Установить частоту 4 Гц и амплитуду сигнала согласно варианту задания. Убедиться в наличии возбуждения вибrostola.

3.3.10. Произвести измерение вибрации прибором VM-6320, визуально зафиксировав максимальное показание прибора в течение 10 сек. после установки заданного значения частоты.

3.3.11. Изменить частоту генератора сигналов согласно таблице 1 бланка отчета и повторить измерения согласно п. 3.3.10. Результаты измерений занести в таблицу 1 бланка отчета.

3.3.12. По окончании измерений по всему указанному в бланке диапазону частот произвести сброс амплитуды (кнопка «>>0<<»).

3.3.13. Переставить вибродатчик на виброзащитный модуль (ВЗМ).

3.3.14. Установить частоту 4 Гц и амплитуду сигнала согласно варианту задания.

3.3.15. Произвести измерения, зафиксировав максимальное показание прибора в течение 10 сек.

3.3.16. Изменить частоту генератора сигналов согласно таблице 1 бланка отчета и повторить измерения согласно п. 3.3.15. Результаты измерений занести в таблицу 1 бланка отчета.

3.3.17. По окончании измерений по всему указанному в бланке диапазону частот отключить питание генератора переключателем «Сеть» на его задней панели. Прибор VM-6320 не выключать.

3.3.18. Заменить исследуемый ВЗМ на следующий согласно варианту задания. Проверить установку на приборе частотного диапазона 1 кГц и измеряемого параметра - «ускорение» (ACC).

Повторить порядок действий п. 3.3.8-3.3.16.

3.3.19. По окончании измерений отключить питание генератора переключателем «Сеть» на его задней панели и выключить прибор.

3.3.20. По результатам измерений оценить эффективность виброзащиты исследуемых ВЗМ на установленных частотах.

Таблица 5.2

**Варианты заданий:**

Вариант задания	Номер ВМ	Номер объекта изоляции	Амплитуда, А, %	Примечание
1	1, 4	7	35	
2	1, 5	8	40	
3	2, 4	7	45	
4	3, 5	8	40	
5	2, 5	7	35	

**Вопросы для самоконтроля**

1. Как классифицируется вибрация по характеру воздействия на организм человека? Пояснить особенности её воздействия на человека.
2. От чего зависят допустимые значения уровня вибраций для основных видов трудовой деятельности человека?
3. Перечислить основные причины возникновения вибраций.
4. Пояснить физический смысл коэффициента передачи.
5. В какой области относительных частот работа амортизаторов является эффективной, и каким значениям коэффициента передачи соответствуют эта область?
6. Каким образом осуществляется виброизоляция машин относительно фундамента?
7. Какими параметрами определяется жесткость пружинных амортизаторов? Как изменится жесткость амортизатора при увеличении диаметра пружины (проволоки, числа витков) в 2 раза?
8. Чем определяется собственная частота колебаний любой колебательной системы?
9. Каков порядок расчета системы виброизоляции?
10. Пояснить резонансную теорию оценки вредного воздействия вибрации на организм человека.

## Работа № 6

### ЗАЩИТА ОТ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**Цель работы:** ознакомить студентов с теорией теплового воздействия на человека, нормативными требованиями к тепловому излучению, с исследованием интенсивности тепловых излучений в зависимости от расстояния до источника и оценкой эффективности защиты от теплового излучения с помощью экранов.

#### 1. Теоретическая часть

##### 1.1. Общие сведения

Лучистый теплообмен между телами представляет собой процесс распространения внутренней кинетической энергии, которая излучается в виде электромагнитных волн в видимой и инфракрасной (ИК) области спектра. Длина волны видимого излучения - от 0,38 до 0,77мкм, инфракрасного - более 0,77мкм. Такое излучение называется **тепловым** или **лучистым**.

Воздух прозрачен (диатермичен) для теплового излучения, поэтому при прохождении лучистого тепла через воздух температура его не повышается. Тепловые лучи поглощаются предметами, нагревают их и они становятся излучателями тепла. Воздух, соприкасаясь с нагретыми телами, также нагревается и температура воздушной среды в производственных помещениях возрастает.

Интенсивность теплового облучения человека может быть определена по формуле, являющейся частным случаем закона Стефана – Больцмана (справедлива при  $T > T_{\text{чел}}$ ) 
$$Q = kF[(T/100)^4 - 110] / R^2, \quad (6.1)$$

где  $Q$  – интенсивность теплового облучения человека,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;

$k$  – постоянная Больцмана и равна  $0,78 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{K}^4$ ;

$F$  – площадь излучающей поверхности,  $\text{м}^2$ ;

$T$  – температура излучающей поверхности в градусах Кельвина (К);

$R$  – расстояние от излучающей поверхности, м.

Из формулы (6.1) следует, что количество теплового (лучистого) тепла, поглощаемого телом человека, зависит от температуры источника излучения, площади излучающей поверхности и квадрата расстояния между излучающей поверхностью и телом человека.

Тепловой обмен организма человека с окружающей средой заключается во взаимосвязи между образованием тепла (термогенезом) в результате жизнедеятельности организма и отдачей им этого тепла во внешнюю среду. Отдача тепла осуществляется, в основном, тремя способами: конвекцией, излучением и испарением.

Способность человеческого организма поддерживать постоянной

температуру тела (в подмышечной впадине - 36,5... 36,9°C с колебаниями в течение суток в пределах 0,5...0,7°C) при изменении параметров микроклимата и при выполнении различной по тяжести работы называется терморегуляцией. Терморегуляция человеческого организма осуществляется с помощью процесса испарения, функционирования сердечно сосудистой системы (расширение и сужение сосудов при изменении внешней температуры), а также биохимическим путем (изменяется интенсивность окислительных процессов в организме). В течении всей своей жизни человек существует в пределах очень ограниченного диапазона внутренних температур тела. Однако, в короткие промежутки времени человек может переносить температуру тела ниже 35°C или выше 41°C.

Передача тепла ИК излучением является наиболее эффективным способом теплоотдачи и составляет в комфортных метеоусловиях 44-59% общей теплоотдачи. Тело человека излучает в диапазоне длин волн от 5 до 25мкм с максимумом энергии на длине волны 9,4мкм.

В производственных условиях, когда, работающий окружен предметами, имеющими температуру, отличную от температуры тела человека, соотношение способов теплоотдачи может существенно изменяться. Отдача человеческим телом тепла во внешнюю среду возможна лишь тогда, когда температура окружающих предметов ниже температуры тела человека. В обратном случае направление потока лучистой энергии меняется на противоположное, и уже тело человека будет получать извне дополнительную тепловую энергию. Воздействие ИК лучей приводит к перегреву организма и тем быстрее, чем больше мощность излучения, выше температура и влажность воздуха в рабочем помещении, выше интенсивность выполняемой работы.

ИК излучение, помимо усиления теплового воздействия окружающей среды, на организм работающего, обладает специфическим влиянием. С гигиенической точки зрения важной особенностью ИК излучения является его способность проникать в живую ткань на разную глубину.

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

Лучи **коротковолнового** диапазона (от 0,78 до 1,4мкм) обладают способностью проникать в ткани человеческого организма на несколько сантиметров. Такое ИК излучение легко проникает через кожу и черепную коробку в мозговую ткань и может воздействовать на клетки головного мозга, вызывая его тяжелые поражения. В частности, ИК излучение может привести, при превышении возможности организма к терморегуляции, к возникновению специфического заболевания – теплового удара, проявляющегося в головной боли, головокружении, учащении пульса,

ускорении дыхания, падении сердечной деятельности, потере сознания.

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

**Интенсивность теплового облучения человека** регламентируется, исходя из субъективного ощущения человеком энергии облучения. Согласно ГОСТ 12.1.005-88, СанПиН 1.2.3685-21 интенсивность теплового облучения, работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, не должна превышать:  $35\text{Вт}/\text{м}^2$  - при облучении более 50% поверхности тела;  $70\text{Вт}/\text{м}^2$  - при облучении от 25 до 50% поверхности тела;  $100\text{Вт}/\text{м}^2$  - при облучении не более 25% поверхности тела. От открытых источников (нагретые металлы и стекло, открытая пламя) интенсивность теплового облучения не должна превышать  $140\text{Вт}/\text{м}^2$  при облучении не более 25% поверхности тела и обязательном использовании средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Нормы ограничивают также температуру нагретых поверхностей оборудования в рабочей зоне, которая не должна превышать  $45^\circ\text{C}$ . Для оборудования, внутри которого температура близка к  $100^\circ\text{C}$ , температура на его поверхности должна быть не выше  $35^\circ\text{C}$ .

В производственных условиях не всегда возможно выполнить нормативные требования. В этом случае должны быть предусмотрены мероприятия по защите персонала от возможного перегрева:

- дистанционное управление ходом технологического процесса;
- воздушное или водо-воздушное душивание рабочих мест;
- устройство специально оборудованных комнат, кабин или рабочих мест для кратковременного отдыха с подачей в них кондиционированного воздуха;
- использование защитных экранов, водяных и воздушных завес;
- применение средств индивидуальной защиты, спецодежды, спецобуви.

Оценить эффективность защиты от теплового излучения с помощью экранов можно по следующим формулам:

Коэффициент пропускания теплового излучения -

$$e = \frac{Q_3}{Q} \quad (6.2)$$

Коэффициент эффективности экрана -

$$n = \frac{Q - Q_3}{Q} * 100, \% \quad (6.3)$$

где  $Q$  - интенсивность теплового излучения без экрана,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;

$Q_3$  - интенсивность теплового излучения за экраном,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

## 2. Практическая часть

### 2.1. Описание лабораторной работы № 6 (в ауд.106 ГК)

Оборудование представляет собой стол со столешницей, на которой размещаются: слева - бытовой электрокамин «ZANUSSI», который используется в качестве источника теплового излучения, справа - индикаторный блок измерителя плотности теплового потока ИПП-2 (рис.6.1), линейка металлическая (100см), стойка экрана с подвижной шторкой, две стойки с направляющими для установки сменных экранов.



Рис.6.1. ИПП-2



Рис.6.2. INFRARED THERMOMETER (ИТ)

На столе также расположены две подвижные стойки, представляющие из себя два штатива. На одном штативе с плоским основанием установлена измерительная головка прибора **ИПП-2**, на другом аналогичном штативе - установлен **инфракрасный бесконтактный термометр (ИТ)** с лазером (DiAl infrared thermometer 320-EN-00 (рис.6.2), который предназначен для измерения температуры предметов). Измерительная головка ИПП-2 на штативе может вручную перемещаться по столешнице вдоль линейки.

В состав оборудования также входит: **источник питания** - автотрансформатор с вольтметром, расположенный отдельно на выступе подоконника; **металлическая линейка**, закрепленная на столешнице, предназначена для измерения расстояния от источника теплового излучения (верхнего нагревательного элемента электрокамина) до измерительной головки прибора, до стойки экрана с подвижной шторкой и до ИТ.

Сменные экраны имеют один типоразмер. Металлические экраны выполнены в виде листов металла с направляющими. Экраны с цепями и брезентом выполнены в виде металлических рамок, в которых закреплены стальные цепи или брезент.

### 2.2. Условия проведения лабораторной работы № 6 (ауд.106 ГК)

При проведении лабораторной работы необходимо соблюдать

**следующие требования безопасности:**

- Не рекомендуется включать электрокамин на полную мощность 1кВт (не включать оба выключателя клавишей “**OFF/ON**”). При выполнении работы используется только один элемент электрокамина (верхний).
- Запрещается прикасаться к электронагревательному элементу электрокамина и отключать его от сети в ходе проведения измерений.
- При смене экранов необходимо соблюдать осторожность.
- После проведения лабораторной работы выключить электрокамин, уменьшить до «0» установленное напряжение на источнике питания (автотрансформаторе) и отключить электропитание.

### **2.3.Порядок проведения лабораторной работы № 6 (ауд.106 ГК)**

**2.3.1.Подключить автотрансформатор стенда к сети переменного тока** клавишей “сеть” (вправо). Установить регулятором на его верхней панели по заданию преподавателя напряжение в пределах  $U_1=50-130\text{В}$ ;  $U_2=140-220\text{В}$ . Включить на бытовом электрокамине клавишей “**OFF/ON**” верхний нагревательный элемент. Определить время его нагрева 1мин.

**2.3.2.Включить измеритель теплового потока ИПП-2** (расположен в правом верхнем углу на поверхности стола) кратковременным нажатием клавиши «**Выбор**». На индикаторе прибора при этом появляется надпись “**r1.02**”, затем сразу надпись “**-РР-**”. И прибор переходит в режим измерения плотности теплового потока (интенсивности теплового излучения).

**2.3.3.Измерить зависимость интенсивности теплового излучения от расстояния до излучателя при  $U_1$  и  $U_2$ .**

Для этого вручную перемещать штатив (за основание) вдоль линейки, **устанавливая**, размещённую на нём **головку измерителя ИПП-2** на расстояниях от верхнего нагревательного элемента (источника теплового излучения), указанных в п.п. 1.1 бланка отчета, и определять по прибору интенсивность теплового излучения в этих точках. Указанные расстояния определять по линейке, закреплённой на столе, от «**0см**» под камином.

Время пребывания головки измерителя в каждой точке **30 секунд**.

Данные замеров занести в таблицу п.п. 1.1 бланка отчета.

Построить графики зависимости среднего значения интенсивности теплового излучения от расстояния до источника тепла.

*Нагревательный прибор не выключать!*

**2.3.4.Измерить зависимость интенсивности теплового излучения от площади излучающей поверхности (от площади открытия экрана) при  $U_2$ (если было указано установить два значения  $U_1$  и  $U_2$ ).**

Установить стойку экрана с подвижной шторкой на рабочем столе на расстоянии **25см** от верхнего нагревательного элемента (на «**25см**» по

линейке - от «**0см**» под камином). **При этом подвижная стойка должна быть расположена зеркальной поверхностью к источнику тепла.**

Измерительную головку (закреплённую на штативе) установить на расстоянии **10см** от открытой площади поверхности экрана (на отметке «**35см**» по линейке - от «**0см**» под камином).

Изменяя площадь открытия подвижной шторки экрана (площадь излучающей поверхности) - устанавливая её последовательно в положения, обозначенные на стойке цифрами от 2 до 14 и в табл.6.1, провести измерения интенсивности теплового излучения.

Таблица 6.1

**Зависимость площади открытия подвижной шторки экрана от её положения**

Положение подвижной шторки экрана	2	4	6	8	10	12	14
Площадь открытия подвижной шторки экрана, м <sup>2</sup>	0,0024	0,0056	0,0088	0,0128	0,016	0,0192	0,0224

При этом **головка измерителя** должна располагаться посередине образуемой открытой площади экрана. **Поэтому допускается продольное перемещение (подвижка) самой стойки с экраном.**

Время нахождения головки измерителя при каждом положении подвижной шторки **30 секунд**. Между измерениями камин не выключать!

Данные замеров занести в таблицу п.п. 1.2 бланка отчета. Построить графики зависимости среднего значения интенсивности теплового излучения от площади открытия подвижной шторкой экрана.

Построить графики зависимости теоретического значения интенсивности теплового облучения человека от площади открытия подвижной шторкой экрана по формуле (6.1).

Температура излучателя определяется по табл.6.2.

Таблица 6.2

**Напряжение источника питания и температура нагревателя**

U, В	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220
K	455	495	548	568	613	655	685	717	753	787	827	856	886	913	943	962	985	1008

### 2.3.5. Оценить эффективность теплозащитных экранов.

Первоначально измерить **интенсивность теплового излучения** при отсутствии защитных экранов с помощью измерительной головки ИПП-2. При этом измерительную головку ИПП-2 (закрепленную на штативе) установить на расстоянии **1см** от предполагаемого места установки экрана (на отметке «**13см**» по линейке - от «**0см**» под камином).

Через **1 мин.** произвести измерение по ИПП-2.

**Проверте** размещение инфракрасного термометра (**ИТ**) на расстоянии **40см** по линейке также от предполагаемого места установки

экрана - на обозначенном для его штатива месте стола. Датчик самого инфракрасного термометра при этом, разместится на отметке «**53см**».

**Для измерения** температуры на поверхности электрокамина с помощью инфракрасного термометра (ИТ) **нажать** на «**курок**» ИТ (черного цвета). На его дисплее высветится значение температуры экрана, на который направлен луч лазера термометра. При этом возможны показания в градусах **Фаренгейта**. Для получения значений температуры в градусах **Цельсия** необходимо нажать на **красную кнопку** прибора. *Если нет луча лазера, - необходимо нажать левую серую кнопку* прибора. **Правая серая кнопка** включает подсветку дисплея.

Далее, устанавливая различные теплозащитные экраны (указанные в бланке отчета) в направляющие на рабочем столе, не меняя определенного положения измерительной головки ИПП-2 и датчика ИТ, **измерить** с временем выдержки **1мин.:**

➤ **интенсивность теплового излучения** по прибору ИПП-2;

*Примечание: Измерение интенсивности теплового излучения прибором ИПП-2 осуществляется в пределах от 0 до 1999Вт/м<sup>2</sup>.*

➤ **температуру** на поверхности теплозащитных экранов с помощью инфракрасного термометра (ИТ);

**Рассчитать** по формуле (6.1) интенсивность теплового облучения человека для одного из экранов (по заданию преподавателя) и **оценить** эффективность защитного действия экранов по формулам (6.2 и 6.3).

*Примечание; Результат измерения температуры экрана с цепями может не соответствовать реальному состоянию нагрева экрана, так как луч инфракрасного термометра (ИТ) значительно уже ячейки цепи.*

**После** проведения всех измерений:

- выключить **прибор ИПП-2** кратковременным нажатием клавиши **«Выбор»**. Выключение ИТ происходит автоматически;

- выключить на бытовом электрокамине клавишой **“OFF/ON”** верхний нагревательный элемент;

- регулятором на верхней панели автотрансформатора уменьшить до **«0»** установленное напряжение электропитания;

- отключить автотрансформатор от сети клавишой **«сеть»** (влево).

### 2.3.6. Составить отчет о работе.

**Отметить** влияние температуры источника теплового излучения, расстояния до источника теплового излучения, площади излучающей поверхности на интенсивность теплового облучения. Сравнить опытные и расчетные результаты.

**Оценить** эффективность работы теплозащитных экранов.

**Дать** рекомендации об организационно-технических мероприятиях по улучшению условий труда при выполнении работ в зоне действия источников тепловых излучений.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое тепловое излучение? Его характеристики.
2. Особенности воздействия теплового излучения (Т/излучения) на организм человека.
3. От чего зависит степень теплового воздействия на организм человека?
4. Чем определяется терморегуляция организма человека?
5. От чего зависят допустимые значения интенсивности Т/излучения?
6. Какие существуют защитные мероприятия от воздействия Т/излучения?
7. Какие экраны (по принципу действия) обеспечивают наилучшую защиту от Т/излучения?
8. Как изменяется интенсивность Т/излучения в зависимости от расстояния?

## **Работа № 7**

# **ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА**

**Цель работы:** ознакомление с особенностями эксплуатации персонального компьютера (ПК), гигиеническими нормативами, регламентирующими параметры электромагнитного поля и светового климата на рабочем месте и получение навыков работы с приборами для измерения этих параметров.

### **1. Теоретическая часть** **1.1.Общие сведения**

Одним из широко распространенных в настоящее время техногенных источников электромагнитных полей (ЭМП) является персональный компьютер (ПК). В связи с постоянным развитием информационных технологий происходит постоянная модернизация ПК. Изменяется их конструкция и условия эксплуатации.

Помимо этого, усложняются программы, с которыми позволяет работать компьютер. Возрастает скорость обмена информацией. В этой связи возрастают энергозатраты, что может являться причиной возникновения ЭМП повышенных уровней при работе с ПК.

К тому же, открытым остаётся вопрос об уровнях ЭМП, возникающих при одновременной эксплуатации большого числа современных ПК, находящихся в одном помещении.

Широкое использование ПК в различных областях жизнедеятельности человека привело как к положительным, так и отрицательным результатам. Так наряду, с возможностями многократно увеличившейся скорости вычислительных процессов, получения различной информации о состоянии энергосистем, систем обеспечения полетов и других технологических систем, было отмечено отклонение в состоянии здоровья у персонала, эксплуатирующего ПК.

Так, при работе с видеотерминалами возникали ухудшение зрения, заболевание опорно-двигательного аппарата, неблагополучное протекание беременности, кожные болезни, аллергические реакции, невротические состояния и др.

Работа с ПК характеризуется повышенным уровнем внимания и психоэмоционального напряжения, что связано с определенным визуальным дискомфортом, с ответственностью за качество выполняемого задания. Переработка большого объема информации, решение сложных задач, нередко в условиях дефицита времени, требуют также повышенных умственных усилий и нервного напряжения. Кроме того, длительная

работа в неизменной статической позе приводит к перенапряжению различных групп мышц, а однотипные движения на клавиатуре развивают воспалительные процессы в суставах и мышцах рук.

Особенности работы с видеотерминалами, а именно: высокие требования к органу зрения, нервные напряжения, монотонный характер труда, вынужденная рабочая поза, а также вредные производственные факторы, такие, например, как электромагнитные излучения ультрафиолетовое излучение и другие, способствуют формированию различного рода заболеваний.

Так при повышенном уровне электромагнитных полей (ЭМП) могут возникать кожная сыпь, помутнения хрусталика глаза, патологии беременности и другие серьезные нарушения здоровья.

Современные компьютеры позволяют выполнять следующие операции при работе с информацией:

- ввод;

- обработка, преобразование;
- визуализация, вывод;
- хранение;
- транспортировка;
- защита.

ПК состоит из следующих устройств:

- системный блок;

- монитор;
- клавиатура;
- мышь.

– В системном блоке размещаются элементы, от которых зависит скорость и качество осуществляемых операций:

- процессор;

- материнская плата;
- блок питания;
- оперативная память;
- жесткий диск;
- видеокарта;
- DVD привод дисков.

ПК в указанной комплектации называют стационарным. Как правило, в течение всего срока эксплуатации такой компьютер находится на неизменном рабочем месте. Это обусловлено неудобством транспортировки и необходимостью постоянного подключения системного блока и видеотерминала к сети питания при работе с ним.

Портативный или мобильный ПК позволяет осуществлять те же операции, что и стационарный, но при этом конструктивно отличается – все элементы размещены в едином корпусе, что делает доступным переносить такой компьютер.

ЭМП ПК, выпускаемых различными фирмами, также могут отличаться, поскольку каждый производитель применяет для своих устройств особые технологии. Помимо того особый интерес вызывает

внутреннее устройство портативного компьютера. В зависимости от модели и идеи производителя элементы, например аккумулятор или жесткий диск, могут находиться в разных местах. Это может являться причиной различия в уровнях ЭМП, создаваемых ПК одной марки.

Видеотерминалы являются источниками широкого спектра электромагнитных излучений - рентгеновского, ультрафиолетового (УФ), видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов, а также (очень важно), диапазонов радиочастот и промышленной частоты. Кроме того, они создают аэроионные потоки и электростатическое поле.

Источниками ЭМП являются силовые трансформаторы (50Гц), блоки развертки, блок модуляции луча ЭЛТ - 50-81Гц, экран монитора (ИК и УФ излучения), материнские платы, процессоры и др.

Необходимо отметить, что широко используемые в последнее время жидкокристаллические (ЖК) мониторы, обладают более низким уровнем ЭМП вследствие применения пониженных напряжений (десятки вольт вместо киловольт). Кроме того, они обладают такими преимуществами, как высокая линейность, меньшие габариты и др.

Наиболее сильно действие ЭМП проявляется на расстоянии до 30см от экрана. Но вредное излучение не меньшей интенсивности, чем от экрана, имеют боковые и задние поверхности монитора, а у note-book - его нижняя часть. Это обстоятельство необходимо учитывать при организации рабочих мест в дисплейных классах и в других помещениях, где размещается не один компьютер. Как установлено, воздействие ЭМП помимо указанных выше заболеваний способствует развитию катаракты и глаукомы, разрушению зубных пломб на основе амальгамы и др.

Характеристиками ЭМП в диапазоне частот работы основных энергопотребляющих блоков ПК являются напряженность электрического поля  $E$  (В/м) и магнитная индукция  $B = \mu \cdot \mu_0 \cdot H$ ,  
где  $\mu$  - магнитная проницаемость среды,  $\mu_0$  - магнитная постоянная,

$H$  - напряженность магнитного поля.

Согласно СанПиН к ЭМП, создаваемому дисплеем ПК, на рабочих местах от экрана предъявляются следующие требования:

• Напряженность электрической составляющей переменного ЭП дисплея должна быть не более:

25В/м - в диапазоне частот от 5Гц до 2кГц;  
2.5В/м - в диапазоне частот от 2кГц до 400кГц.

• Величина магнитной индукции должна быть не более:  
250нТл - в диапазоне частот от 5Гц до 2кГц;  
25нТл - в диапазоне частот от 2кГц до 400кГц.

Уменьшить уровень ЭМП помогает выбор правильного расстояния от глаз пользователя до экрана монитора. Оно составляет 600-700мм, но не менее 500мм.

Современные ЖК-мониторы обладают значительно меньшим

(в несколько раз) уровнем ЭМП по сравнению со старыми моделями мониторов на электронно-лучевой трубке. Однако, в ряде случаев ЭМП, создаваемые современными мониторами, особенно в массовом применении, могут превосходить допустимые значения.

Очевидно, что при одновременной работе нескольких ПК будет происходить наложение ЭМП, создаваемых разными компьютерами. В этом случае в некоторых точках пространства на рабочем месте возникнет повышенный уровень ЭМП. Для оценки безопасных условий работы можно использовать энергетическую экспозицию (ЭЭ). Ее значения отдельным составляющим определяются как

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_E = E^2 T \text{ (В}^2\text{час/м}^2\text{)} \text{ и } \mathcal{E}\mathcal{E}_H = H^2 T \text{ (А}^2\text{час/м}^2\text{)}.$$

Предельно допустимые значения ЭЭ приведены в табл.6.1

Таблица 6.1.

### Предельно допустимые значения ЭЭ

Диапазон частот	Предельно допустимая энергетическая экспозиция	
	По эл. составляющей (В/м) <sup>2</sup> ч	По маг. составляющей (А/м) <sup>2</sup> ч
30 кГц – 3 МГц	20000	200
3 – 30 МГц	7000	-
30 – 50 МГц	800	0,72
50 – 300 МГц	800	-

При облучении от нескольких разных источников (ПК) допустимый уровень ЭМП можно приближенно оценить по соотношению:

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{\mathcal{E}\mathcal{E}_i}{\mathcal{E}\mathcal{E}_{n\delta y}} \right) \leq 1 \text{ в одном частотном диапазоне; где } i - \text{ номер источника.}$$

При работе с ПК необходимо также учитывать возникающее повышенное зрительное напряжение. Зрительная система человека в течение многих миллионов лет приспособливалась для восприятия предметов исключительно в отраженном свете. В результате этой эволюции человек приобрел весьма совершенное цветовое зрение и прекрасно различает объекты различных цветов. Однако все эти объекты не светятся. Они видны в отраженном солнечном свете.

Появление электронно-лучевой трубы было сопряжено для человека с большими проблемами, так как это изображение является результатом свечения экрана, т.е. приходится смотреть на источник света – дисплей. И хотя глаза человека способны приспособливаться (адаптироваться) к изменению интенсивности света, что достигается, в первую очередь, изменением диаметра зрачка, а также изменением чувствительности сетчатки, это тяжелая зрительная работа. С другой стороны, пользователь

вынужден в процессе работы переносить свой взгляд с экрана на бумагу и обратно. И в течение дня глаза должны сотни и тысячи раз перестраиваться с одного способа чтения на другой, что создает для зрения дополнительную нагрузку.

Необходимо отметить, что и возникшая в давние времена письменность, в какой-то мере, противоречила зрительной системе человека, вовсе не рассчитанной на чтение книг и рассматривание картинок. Считывание текста, таблиц, графиков с экрана отличается от чтения той же информации с листа бумаги не только перестройкой зрения от восприятия источника света к восприятию отраженного текста, но и другими моментами, влияющими негативно на зрительный анализатор.

Конкретно при работе с дисплеем пользователь целиком зависит от положения дисплея, тогда как при чтении печатной продукции легко можно найти положение листа для наиболее комфортного восприятия информации. При этом, текст на бумаге является неизменным, а текст на экране периодически обновляется в процессе сканирования электронного луча по поверхности экрана. Достаточно низкая частота обновления вызывает мерцание изображения.

Пользователь ПК утомляется из-за постоянного мелькания, неустойчивости и нечеткости изображения на экране, из-за необходимости частой переналадки глаз к освещенности дисплея и к общей освещенности помещения. Так же неблагоприятно влияют на зрение разная удаленность объектов различения, недостаточная контрастность изображения, плохое качество исходного документа, используемого при работе в режиме ввода данных. Зрительное напряжение усугубляется неравномерностью освещения рабочей поверхности и ее окружения, появлением ярких пятен за счет отражения светового потока на клавиатуре и экране.

Важным фактором, определяющим степень зрительного утомления, является также освещение рабочих мест и помещений, где расположены компьютеры. Характеристики светового климата при работе с дисплеями часто имеют общие недостатки: наличие в поле зрения многочисленных источников прямой и отраженной блескости (от экрана и клавиатуры, от окон и светильников), неравномерное распределение яркости, низкие уровни освещенности. Это зависит, главным образом, от неграмотного размещения оборудования относительно источников света в помещении и от отсутствия элементарных условий для защиты органа зрения оператора от утомляющих его факторов на рабочем месте.

Объективные исследования подтверждают ухудшение основных функций зрения (повышение порогов цветового зрения на 19-25%, изменение показателей видимости на 12-33%), а также существенное снижение работоспособности и ухудшение внимания.

Результаты исследований подтверждают, что у операторов снижаются устойчивость ясного видения, электрическая чувствительность и

лабильность (подвижность) зрительного анализатора, острота зрения, а также нарушается мышечный баланс глаз. Это ведет к тому, что около 80%, работающих с дисплеями, страдают ухудшением зрения. Это приводит к необходимости пользоваться очками.

Основной характеристикой освещения является освещенность, то есть поверхностная плотность светового потока

$$E = \Phi / S \text{ (люкс).}$$

Кроме того, в гигиенических нормативах используется понятие яркости - поверхностной плотности силы света в данном направлении

$$L = I / S \text{ (кд/м}^2\text{).}$$

Требования по безопасной эксплуатации ПК, в том числе и по освещенности, изложены в нормативном документе СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 “Гигиенические требования к персональным ЭВМ и организации работы” и СанПиН 1.2.3685-21:

- Освещенность на поверхности стола на рабочем месте должна быть 300 - 500 люк;
- Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 люк;
- Яркость экрана монитора не должна быть менее 35 кд/м<sup>2</sup>.

Критерием постоянства освещенности во времени является коэффициент пульсации освещенности  $K_p$  (%), который, согласно СанПиН, не должен превышать 5%. Коэффициент пульсации в процентах определяется по формуле:  $K_p = 100 (E_{\max} - E_{\min}) / 2 \cdot E_{\text{ср}}$ , где  $E_{\max}$ ,  $E_{\min}$  и  $E_{\text{ср}}$  – соответственно – максимальное, минимальное и среднее значения освещенности за период колебания освещения.

Режимы труда и отдыха при работе с компьютером должны организовываться в зависимости от вида и категории трудовой деятельности.

Виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы:

- Группа А - работа по считыванию информации с экрана компьютера с предварительным запросом;
- Группа Б - работа по вводу информации;
- Группа В - творческая работа в режиме диалога.

За **основную работу** с компьютером следует принимать такую, которая занимает не менее 50% времени в течение времени работы компьютера.

Для видов трудовой деятельности устанавливается 3 категории тяжести и напряженности работы с компьютером, которые определяются:

- для группы А - по суммарному числу считываемых знаков за время работы с компьютером, но не более 60 000 знаков;
- для группы Б - по суммарному числу считываемых или вводимых знаков за время работы с компьютером, но не более 40 000 знаков;
- для группы В - по суммарному времени непосредственной работы с компьютером, но не более 6 часов за смену.

Для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья на протяжении времени работы с компьютером должны устанавливаться регламентированные перерывы. При 8-часовой смене суммарная длительность перерывов составляет 50-90мин, в зависимости от группы трудовой деятельности. Продолжительность непрерывной работы с ПК без регламентированного перерыва не должна превышать 1час.

## **2. Практическая часть**

## **2.1.Описание лабораторного работы № 6 (ауд.106 ГК)**

Лабораторный стенд, схема которого представлена на рис.6.1 (ауд. 106, лабораторная работа № 7 БЖД), позволяет измерить уровень ЭМП на различных расстояниях от экрана дисплея, а также освещенность и коэффициент пульсации на поверхностях рабочего стола и экрана.

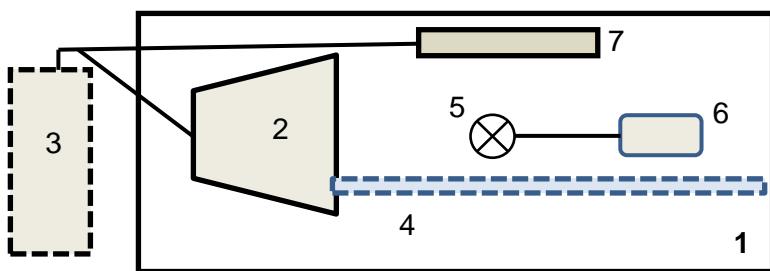


Рис.7.1. Схема лабораторного стенда.

1 - стол; 2 - ЭЛТ монитор; 3 - процессорный блок; 4 - линейка;  
5 - антенна измерителя; 6 - блок индикации, 7 - ЖК монитор.

Для определения уровня ЭМП в лабораторной работе используется измеритель параметров электрического и магнитного полей трехкомпонентный ВЕ-метр АТ-003 (рис. 7.2). Прибор позволяет измерять напряженность электрического поля и плотность магнитного потока в трех частотных диапазонах: от 5Гц до 2кГц, от 2кГц до 400кГц и на  $f = 50\text{ Гц}$ .

Для замеров уровня освещенности и коэффициента пульсации используется люксметр-пульсметр "ТКА-ПКМ", представленный на рис.7.3. Прибор обладает диапазоном измерения освещенности в пределах от 10лк до 200 000лк.

## **2.2.Порядок выполнения лабораторной работы № 7 (ауд.106)**

**2.2.1.** Включить персональный компьютер нажатием кнопки на процессорном блоке. Включить монитор с электронной лучевой трубкой и дождаться загрузки операционной системы. ЖК монитор пока не включать.

## **А. При использовании измерительного прибора ВЕ-метр-АТ-003**

**2.2.2. Подготовить измеритель ВЕ-метр-АТ-003 к работе, для этого:**

- провести внешний осмотр измерителя **ВЕ-метр-АТ-003** (см. рис.7.2) и убедиться в отсутствии механических повреждений антенного блока, корпуса и индикаторной панели блока индикации;

- присоединить антенный блок оптоволоконным кабелем к блоку измерений и индикации, включить питание антенного блока, удерживая кнопку включения / выключения в течение 3сек;

- нажатием на кнопку «**ВКЛ**» включить блок измерений и индикации, дождаться завершения процесса самотестирования (тестирования внутренних цепей измерителя, определения состояния антенного блока и измерения напряжений питания). Напряжение питания антенны и измерителя должно быть не менее 4.8В. При индикации низкого напряжения питания следует прекратить работу и провести заряд аккумуляторных батарей.

- при положительном результате тестирования для продолжения работы следует нажать на кнопку **СТАРТ**. После этого осуществится переход в главное меню.



Рис. 7.2. Внешний вид измерительного прибора ВЕ-метр-АТ-003  
1 – антенный блок, 2 – блок индикации

### **2.2.3. Измерение уровня электромагнитного поля (ВЕ-метр-АТ-003)**

При положительном результате тестирования прибора (измерителя ВЕ-метр-АТ-003) для продолжения работы следует нажать на кнопку **СТАРТ**. После этого осуществится переход в главное меню.

Переход в режим измерений ЭМП осуществляется активизацией пункта “изм. ЭМП” в главном меню. Если ранее осуществлялся режим

измерений с записью, то необходимо нажать «К3 Новая запись» до незанятых ячеек либо выйти из режима с записью (зайти в главное меню в пункт «тюнинг»).

Убедиться в том, что прибор включен в режим «F1». Для этого в главном меню выбрать пункт «тюнинг» и далее пункт «фильтры».

Поместить антенну измерителя в точку измерения (на определенное расстояние от экрана монитора согласно заданию).

Результаты измерения параметров ЭМП отобразятся на экране измерителя (индукции МП – **V** и напряженности ЭП – **E**). Во второй строке индицируются значения ЭМП в I частотном поддиапазоне (5Гц - 2кГц). В третьей строке индицируются значения ЭМП частотой 50Гц. В четвертой строке индицируются значения ЭМП во II-ом частотном поддиапазоне (2кГц - 400кГц).

Нажатием и удержанием (~ 3сек) кнопки **СТОП** включить режим паузы для удобства документирования результатов измерения. Режим паузы может быть снят нажатием на кнопку **СТАРТ**.

Снять показания измерителя при различных расстояниях, согласно варианту задания, от экрана дисплея сначала монитора на ЭЛТ, а затем от ЖК монитора. Занести показания в бланк отчета.

Повторить измерение составляющих ЭМП с режекцией (фильтрацией) сигнала с частотой 50Гц в диапазоне 5 – 2000Гц. Для активации этой функции необходимо в главном меню выбрать пункт «тюнинг» и далее пункт «фильтры». Затем кнопками «вверх» или «вниз» поменять надпись на экране измерителя с «F1» на «F1-F50» и нажать кнопку подтверждения выбора, кнопку «ввод». Если функция режекции включена, то в процессе измерений во второй строчке экрана индицируется значение индукции МП и напряженности ЭП в поддиапазоне 1 с вырезанной полосой вблизи 50Гц.

В режиме паузы повторным удержанием (~ 3сек) кнопки **СТОП** выйти из режима измерений в главное меню.

При наличии ПК с ЖК монитором провести аналогичные измерения.  
Выключить измеритель удержанием кнопки **ВКЛ**.

## **Б. При использовании измерительного прибора ВЕ-метр-АТ-004**

### **2.2.2.Подготовить измеритель ВЕ-метр-АТ-004 к работе, для этого:**

- проводить внешний осмотр измерителя ВЕ-метр-АТ-004 (см. рис.7.3) и убедиться в отсутствии механических повреждений антенного блока, корпуса и индикаторной панели блока управления и индикации;

- включить питание измерителя (антенного блока), нажав и удерживая кнопку (включения/выключения) не менее 3 с. При включении должен загореться светодиод (зеленый), который свидетельствует о готовности измерителя к работе. После включения питания, измеритель находится в режиме ожидания соединения с устройством отображения результатов измерений.

- включить блок НТМ-Терминал (блок управления и индикации – БУИ), нажав и удерживая кнопку включения/выключения не менее 3 с. При этом должен загореться индикатор, обозначающий включенное состояние.

- дождаться завершения процесса самотестирования (тестирования внутренних цепей измерителя, определения состояния антенного блока и измерения напряжений питания). На экране БУИ появится дата, время и данные БУИ.



Рис. 7.3. Внешний вид измерительного прибора ВЕ-метр-АТ-004  
(1- блок НТМ-Терминал, 2 - блок измерителя)

Напряжение питания антенного блока и БУИ должно быть 3,8 - 4,8В. При индикации низкого напряжения питания следует прекратить работу и провести заряд аккумуляторных батарей.

### **2.2.3. Измерение уровня электромагнитного поля (ВЕ-метр-АТ-004)**

При положительном результате тестирования для продолжения работы следует на клавиатуре блока НТМ-Терминал нажать правую контекстную кнопку «далее» для перехода в «главное меню» (правая кнопка сверху на лицевой панели БУИ, что позволит зайти в главное меню). С помощью навигационных кнопок (в центре лицевой панели) необходимо перейти в пункт меню «ЭМП 5 Гц – 400 кГц» (нажатием навигационной кнопки «вправо»).

Переход в режим измерений ЭМП осуществляется активацией пункта **“Измерение ЭМП”** в главном меню с помощью кнопки «ОК». Перед началом измерений необходимо выбрать требуемые **«Параметры измерений»** и **«Область измерений»** последовательным нажатием навигационной кнопки «вправо». В меню **«Параметры измерений»** выбрать наименования **«текущие»** и **«единицы измерений»**, нажатием кнопки «ОК», если они не были установлены. В меню **«Область измерений»** выбрать **«Произвольные измерения»** также нажатием

кнопки «OK». После этого необходимо вернуться в пункт “Измерение ЭМП” с помощью навигационных кнопок. Затем поместить антенну измерителя в точку измерения (на определенное расстояние от экрана монитора согласно заданию) и перейти к измерению параметров ЭМП нажатием кнопки «OK».

Результаты измерения параметров ЭМП отобразятся на экране измерителя (индукции МП – **В** и напряженности ЭП – **E**). Во второй строке индицируются значения ЭМП в I-м поддиапазоне частот (5Гц - 2кГц).

В третьей строке индицируются значения ЭМП частотой 50Гц.

В четвертой строке индицируются значения ЭМП во II-ом поддиапазоне частот (2кГц - 400кГц). В процессе измерений на экране появляются контекстные кнопки «пауза» и «стоп». Нажатием на левую кнопку (пауза) показания на экране БУИ замораживаются. Процесс измерений возобновляется при повторном нажатии на эту кнопку. При нажатии на кнопку «стоп» прибор выходит из режима измерений.

Необходимо снять показания измерителя при различных расстояниях, согласно варианту задания, от экрана дисплея сначала монитора на ЭЛТ. Занести показания в бланк отчета.

Повторить измерение параметров ЭМП с режекцией (фильтрацией) сигнала с частотой 50Гц в диапазоне 5 - 2000кГц. Для активации этой функции необходимо в меню «Параметры измерений» нажатием навигационной кнопки «вправо» до пункта «активизировать заграждающий фильтр 50 Гц» и активизировать его кнопкой «вверх» и «OK». Затем провести аналогичные измерения. Если функция режекции включена, то в процессе измерений во второй строчке экрана индицируется значение индукции МП и напряженности ЭП в поддиапазоне 1 с вырезанной полосой 45 - 55Гц.

#### **2.2.4. Измерение уровня освещенности и коэффициента пульсации**

Включение прибора осуществляется нажатием на кнопку **ВКЛ/ВЫКЛ**.

На экране после включения появляется надпись фирмы производителя и название прибора.

В приборе люксметр-пульсметр **”ТКА-ПКМ” (08)** (см. рис. 7.4) в ходе измерения в правом поле первой строки должен загореться символ – “батарейка”, информирующий о ёмкости батареи питания. В случае недостаточной емкости батареи - сменить элемент питания (с разрешения преподавателя).

Для правильного обнуления прибора произвести затемнение датчика прибора и нажать кнопку **Режим**. Процесс обнуления сопровождается надписью на индикаторе: **”ПОДОЖДИТЕ, ИДЕТ ИЗМЕРЕНИЕ”**. **ВНИМАНИЕ:** засветка измерительной части во время обнуления приводит в последствие к неправильным измерениям!

После пропадания предупреждающей надписи прибор переходит в основной режим измерений. Первая строка "E = " выводит текущую освещенность в лк, во второй строке "Kп = " – коэффициент пульсации светового потока в %.

В случае измерения освещенности на поверхности рабочего стола, расположите фотометрическую головку параллельно плоскости измеряемого объекта. Проследите за тем, чтобы на окно фотоприемника не падала тень от оператора или посторонних предметов.

Подождите 2-3 секунды и считайте с цифрового индикатора измеренное значение.



Рис.6. 3. Внешний вид прибора  
1 - Блок обработки сигналов. 2 - Фотометрическая головка.

Для запоминания измеренного показания на индикаторе прибора необходимо кратковременно нажать кнопку **Режим**. В правом поле индикатора появится надпись "**HOLD**". Произвести снятие показаний прибора. Для продолжения измерений еще раз нажать кнопку **Режим**.

Для измерения освещенности экрана монитора расположите датчик на поверхности дисплея, параллельно его плоскости датчиком к падающему световому потоку источника света. Выключение измерителя осуществляется нажатием на кнопку **ВКЛ/ВЫКЛ**.

После завершения измерений занести полученные данные в бланк отчета.

### 2.3.Обработка экспериментальных результатов

Провести обработку экспериментальных результатов, построив графики напряженности электрического поля и магнитной индукции от

расстояния и рассчитать энергетическую экспозицию составляющих ЭМП при работе 8 часов в сутки исследованных мониторов в диапазоне 2-400 кГц. Сделать вывод о безопасности работы в данном случае.

Сравнить полученные данные с нормами по освещенности и ЭМП на рабочем месте (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

### **Варианты задания лабораторной работы.**

<b>№ варианта</b>	<b>Расстояние до мониторов, см</b>
<b>1</b>	5, 10, 30, 50
<b>2</b>	4, 8, 28, 48
<b>3</b>	6, 12, 20, 40
<b>4</b>	7, 10, 25, 50
<b>5</b>	5, 15, 30, 45

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Каковы основные характеристики ПК и в чем заключаются особенности работы пользователя персонального компьютера?
2. Назовите основные характеристики качества освещения и единицы их измерения.
3. Каковы максимально допустимые значения этих параметров?
4. Чем характеризуется ЭМП полю?
5. Какие требования предъявляются к ЭМП полю, создаваемому дисплеем персонального компьютера?
6. Какие меры применяются для уменьшения вредных факторов при работе с ПК?
7. Какими основными блоками ПК создается его ЭМП?
8. Какие недостатки и преимущества мониторов различных типов Вы знаете?
9. Каковы особенности эксплуатации ПК?

## Работа № 8

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ТОКОМ В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

**Цель работы:** изучить виды электрических сетей с точки зрения электробезопасности; выяснить экспериментальным путем опасность поражения электрическим током лиц, эксплуатирующих электроустановки (ЭУ) в сетях различных видов, как при нормальном, так и при аварийном режимах работы.

### 1. Теоретическая часть

#### 1.1. Общие сведения

**Нейтраль (нейтральная точка)** обмотки источника или потребителя энергии - это точка, напряжение которой относительно всех внешних выводов обмотки одинаково по абсолютному значению. Другими словами - это общая точка обмоток трехфазных электрических генераторов, трансформаторов и т.п., в которой электрическое  $U$  по отношению ко всем внешним зажимам в нормальном режиме обычно одинаково по модулю.

Заземленная нейтральная точка носит название **нулевой точки**.

Проводник, присоединенный к нейтральной точке, называется **нейтральным проводником**, а к нулевой точке - **нулевым проводником**.

Схема сети, а, следовательно, и режим нейтрали источника, питающего сеть, выбираются по *технологическим требованиям* и по *условиям безопасности*.

При напряжениях до 1000В в нашей стране (РФ) по технологическим требованиям получили предпочтение трехфазные четырехпроводные (TN-C) и пятипроводные (TN-S) (*нулевых проводов 2 – рабочий (N) и защитный (PE)*) сети с глухозаземленной нейтралью, поскольку они позволяют использовать два рабочих напряжения - фазное  $U_\phi$  и линейное  $U_L$  ( $U_L = \sqrt{3} U_\phi$ ). При этом достигается значительное удешевление ЭУ в целом, благодаря применению меньшего числа трансформаторов, меньшего сечения проводов и т.д., требуемых в сетях с изолированной нейтралью для получения иного напряжения кроме линейного.

По условиям безопасности при напряжениях до 1000В сети с глухозаземленной нейтралью следует применять в трехфазных сетях большой протяженности, а также там, где невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов, когда нельзя быстро отыскать и устраниить повреждение изоляции. Возникающие при повреждении изоляции токи короткого замыкания способствуют быстрому отключению поврежденного участка сети или поврежденной ЭУ с помощью релейной защиты или такой защитной меры, как зануление или защитное отключение.

Трехфазные 3-х проводные сети с изолированной нейтралью при напряжениях до 1000В применяют на объектах с повышенной опасностью поражения человека электрическим током в тех случаях, когда имеется возможность поддерживать высокий уровень сопротивления изоляции проводов сети относительно земли, и когда емкость проводов относительно земли незначительна. Такими являются сети небольшой протяженности, не подверженные воздействию агрессивной среды и находящиеся под постоянным надзором электротехнического персонала.

При выборе схемы сети по условиям безопасности опасность поражения человека током во многом зависит от сопротивления изоляции проводов относительно земли. Это сопротивление  $Z$  является комплексным, имеющим активную и емкостную  $X_C$  составляющие.

Активное сопротивление  $R_{из}$  зависит от наличия в изоляции, так называемых, «путей утечки тока»  $I_{ут}$ , которые возникают в результате того, что изоляция в процессе эксплуатации стареет, может быть повреждена, что приводит к уменьшению ее сопротивления (по ГОСТ  $Z_{из} \geq 0,5\text{МОм}$ ). Емкостное сопротивление  $X_C$  зависит от емкости провода относительно земли, которая, в свою очередь, определяется геометрическими размерами (площадью сечения  $S$  провода), длиной провода, высотой подвеса проводов в случае воздушных ЛЭП и диэлектрической постоянной материала изоляции  $\epsilon$ , ее состоянием. Активное и емкостное сопротивления изоляции распределены вдоль провода. Условно на схемах их обозначают сосредоточенными элементами. В электрических сетях небольшой протяженности емкость проводов относительно земли мала,  $C \rightarrow 0$ . В этом случае сопротивление изоляции характеризуется только активной составляющей  $Z = R_{из}$ .

В кабельных линиях и в воздушных ЛЭП напряжением выше 1000В при передаче энергии от источника, в случае большой протяженности проводов, их емкость относительно земли значительна. Например, емкость одной фазы кабеля напряжением 1000В по отношению к свинцовой оболочке (земле) составляет от 0,15 до 0,4мкФ на 1км его длины, а в воздушной ЛЭП 0,6мкФ на 1км. Чем больше емкость, тем меньше емкостное сопротивление. При этом даже при очень больших значениях активной составляющей сопротивления изоляции, опасность поражения в протяженных сетях будет определяться величиной емкостной составляющей. Следовательно, в таких сетях активное сопротивление изоляции проводов относительно земли практически утрачивает свою защитную роль,  $Z = X_C$ . Поэтому применение видов трехфазных сетей при напряжении выше 1000В обусловлено другими факторами. Так, в этом случае применяются трехфазные трехпроводные сети с изолированной нейтралью и с эффективным заземлением нейтрали.

## 1.2. Возможные случаи прикосновения к токоведущим частям электрических сетей

Все случаи поражения человека электрическим током происходят в результате прохождения тока через человека, что возникает при прикосновении его не менее, чем к двум точкам электрической цепи, между которыми существует некоторое напряжение.

Опасность такого прикосновения оценивается величиной тока, проходящего через тело человека, который зависит от схемы прикосновения, т.е. от того, каких частей электроустановки касается человек. А также от параметров электрической сети, условий внешней среды, сопротивления тела человека и других факторов. Не учитывая параметров сети, рассмотрим возможные схемы прикосновения человека к частям, находящимся под напряжением.

## 1.3. Анализ опасности поражения в трехфазных сетях с изолированной нейтралью (система заземления IT)

В общем случае опасность поражения человека, прикоснувшегося к одной из фаз сети в период нормального режима ее работы (рис.1), будет определяться величинами активного сопротивления изоляции и емкости фаз относительно земли. Ток, протекающий через тело человека с сопротивлением  $R_h$ , может быть определен из выражения

$$I_h = \frac{U_\Phi}{R_h + R_{ep} + R_{ob} + Z_{IZ}} \quad (8.1)$$

где  $U_\Phi$  - фазное напряжение, напряжение на конце обмотки источника питания относительно нейтрали;  $R_{ep}$  - грунта;  $R_{ob}$  - сопротивление обуви, пола на котором стоит человек;  $Z_{IZ}$  - комплексное сопротивление токоведущей части сети (фазы) относительно земли.

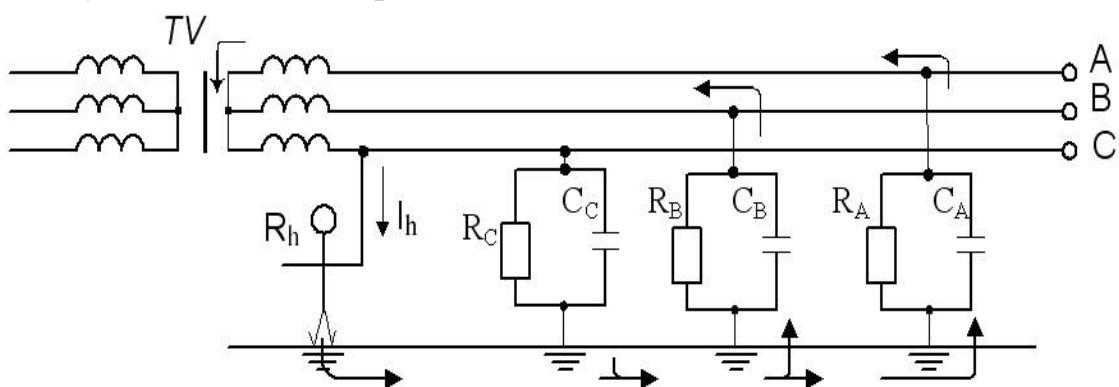


Рис.8.1. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной сети с изолированной нейтралью в нормальном режиме ее работы.

В действительной форме этот ток  $I_h$  при  $R_A = R_B = R_C = R$ ,  $C_A = C_B = C_C = C$ ,

$$\text{и } R_{ep} = R_{ob} = 0 \quad \text{равен } I_h = \frac{U_\phi}{R_h \sqrt{1 + \frac{R_{H3}(R_{H3} + 6R_h)}{9R_h^2(1 + R_{H3}^2\omega^2 C^2)}}}, \quad (8.2)$$

где  $\omega$  - круговая частота,  $\omega = 2\pi f$  при  $f = 50\text{Гц}$ .

#### Выводы:

1. При равенстве сопротивлений изоляции и малых значениях емкости относительно земли, что характерно для электрических сетей напряжением до 1000В, то есть при  $R_A = R_B = R_C = r_{uz}$  и  $C_A = C_B = C_C = 0$ , ток через человека без учета сопротивлений обуви, грунта может быть определен

$$\text{из выражения } I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_{H3}/3} \quad (8.3)$$

Из анализа выражения (3) видна защитная роль изоляции. Поддерживая сопротивление изоляции на высоком уровне, можно в нормальном режиме работы сети снизить опасность поражения человека электрическим током и сделать однофазное прикосновение практически безопасным.

2. При равенстве емкостей значительной величины и очень больших сопротивлениях изоляции относительно земли (это характерно для кабельных линий электропередачи, т.е. при  $C_A = C_B = C_C = C$  и  $R_A = R_B = R_C = \infty$ ), ток, проходящий через человека, может быть определен из

$$\text{выражения } I_h = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + (X_C/3)^2}}, \quad \text{где } X_C = \frac{1}{\omega C}. \quad (8.4)$$

Из анализа выражения (4) видно, что чем больше емкость фаз относительно земли, т.е. меньше емкостное сопротивление  $X_C$ , тем опаснее прикосновение человека к токоведущей части сети. Для уменьшения опасности прикосновения необходимо уменьшать емкость фаз относительно земли путем уменьшения длины сетей или применения такой защитной меры как электрическое разделение сети. Физический смысл данной защитной меры заключается в применении разделяющих трансформаторов с коэффициентом трансформации 1:1 для питания электроэнергией потребителей. При этом емкость сети С не влияет на опасность поражения человека при однофазном прикосновении (к одной из фаз) за разделяющим трансформатором, где исход поражения определяется сопротивлением изоляции фаз относительно земли  $R_{uz}$ , которое необходимо поддерживать на требуемом уровне. Возможна также компенсация емкостного сопротивления путем подключения параллельно емкости сети компенсирующей индуктивности  $L$ , что приводит к образованию параллельного колебательного контура, обладающего на частоте резонанса (50Гц) большим активным сопротивлением:

$$R_{ЭКБ} = Q \cdot \rho, \rho = \sqrt{L/C}, L = \frac{1}{\omega^2 C},$$

где  $Q$  -добротность колебательного контура;  $\rho$  - волновое сопротивление.

#### **1.4.Опасность поражения электрическим током в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью (система заземления TN)**

Четырехпроводные трехфазные сети с заземленной нейтралью получили наиболее широкое распространение напряжением 127, 220,380В для питания жилых зданий, объектов промышленности и др. потребителей.

При прикосновении человека к фазному проводу ток, проходящий через него и напряжение прикосновения, могут быть определены

$$\text{из выражений } I_h = \frac{U}{R_h + R_0}, \quad U_{np} = \frac{U R_h}{R_h + R_0},$$

где  $R_0$  - сопротивление заземления вторичной обмотки трансформатора  $TV$  и провода (2, 4 или 8Ом).

**Напряжением прикосновения** называется напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек,  $U_{np} = I_h R_h$ .

Поскольку  $R_h \gg R_0$ , к человеку будет прикладываться почти полное напряжение сети  $U_{PP} \approx U$ .

Следовательно, в данном случае для уменьшения опасности поражения человека электрическим током большое значение приобретают сопротивления средств защиты  $R_{C3}$ , обуви  $R_{OB}$  и пола  $R_P$ , включенные последовательно с сопротивлением тела человека в цепи поражения. В общем случае ток, протекающий через тело человека, может быть вычислен из выражения  $I_h = \frac{U}{R_h + R_{C3} + R_{OB} + R_n + R_0}$ .

#### **1.5.Анализ опасности поражения в пятипроводной сети системы заземления TN-S (с глухозаземленной нейтралью)**

Пятипроводная сеть с глухозаземленной нейтралью получила распространение в практике эксплуатации электроустановок напряжением до 1000В с середины 90-х годов прошлого века.

В таких сетях используется два напряжения  $U_\phi$  и  $U_L = \sqrt{3} U_\phi$ : 220/127; 380/220 и 660/380В. Прикосновение человека к фазному проводу сети в период нормального режима ее работы (схема замещения показана на рис.8.2) аналогично случаю, рассмотренному для четырехпроводной сети выше.

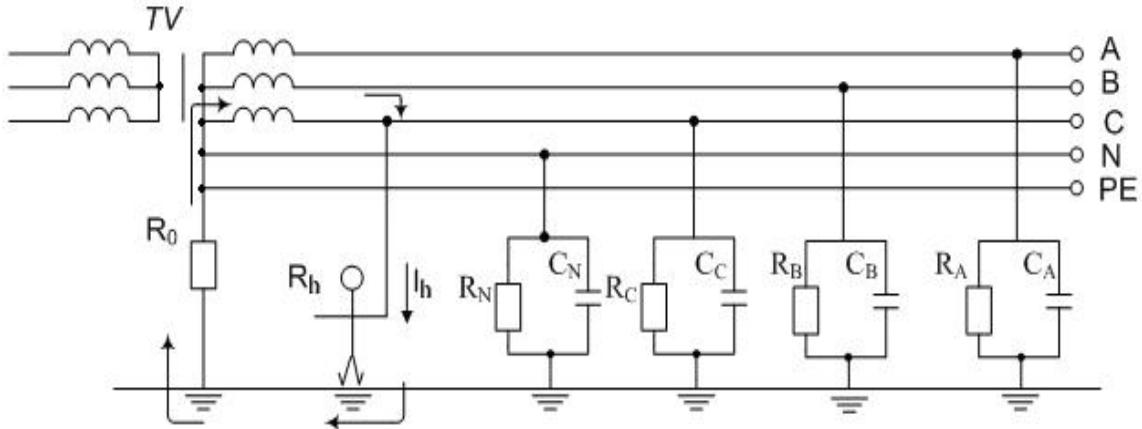


Рис.8.2. Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной пятипроводной с глухозаземленной нейтралью (сети системы заземления TN-S) при нормальном режиме ее работы.

Сопротивление изоляции токоведущих частей (фаз) сети в нормальном режиме во много раз превышает сопротивление заземления нейтрали источника питания  $R_0$ . Поэтому величина поражающего тока, проходящего через человека, может быть вычислена из выражения

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_0}$$

Сопротивление заземлителя  $R_0$ , к которому присоединены нейтрали генераторов или трансформаторов, или выводы источника однофазного тока, согласно ПУЭ в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380, 220В источника трехфазного тока или 380, 220, 127В источника однофазного тока (табл.8.1).

Таблица 8.1  
Сопротивление рабочего заземляющего устройства (в Ом)

Вид источника питания	Напряжение					
	Линейное $U_L$ , В			Фазное $U_\phi$ , В		
трехфазный	660 2	380 4	220 8			
однофазный				380 2	220 4	127 8

Если принять  $R_h \gg R_0$ , то получим, что к человеку будет приложено напряжение, равное фазному  $U_{PP} \approx U_\phi$ .

Из всего вышеизложенного следует:

а) прикосновение человека к токоведущей части сети с глухозаземленной нейтралью очень опасно и практически не зависит от сопротивления изоляции фаз относительно земли;

б) опасность однофазного прикосновения в сети с глухозаземленной нейтралью во много раз превышает опасность однофазного прикосновения в непротяженной сети с изолированной нейтралью;

в) исключить или уменьшить опасность поражения человека электрическим током можно, сняв напряжение с участка сети, являющегося объектом работы, или применив при работе электрозащитные средства.

### 1.6. Прикосновение к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимися под напряжением

Металлические нетоковедущие части ЭУ (корпуса электрических машин и аппаратов, оболочки кабелей и др.) обычно не находятся под напряжением. Они могут оказаться под напряжением лишь в результате повреждения изоляции.

Прикосновение к заземленному корпусу, имеющему контакт с одной из фаз, показано на рис.8.3а. Ток замыкания на корпус  $I_K$  разделится пропорционально сопротивлениям  $R_3$  и  $R_h$  на  $I_3$  и  $I_h$ .

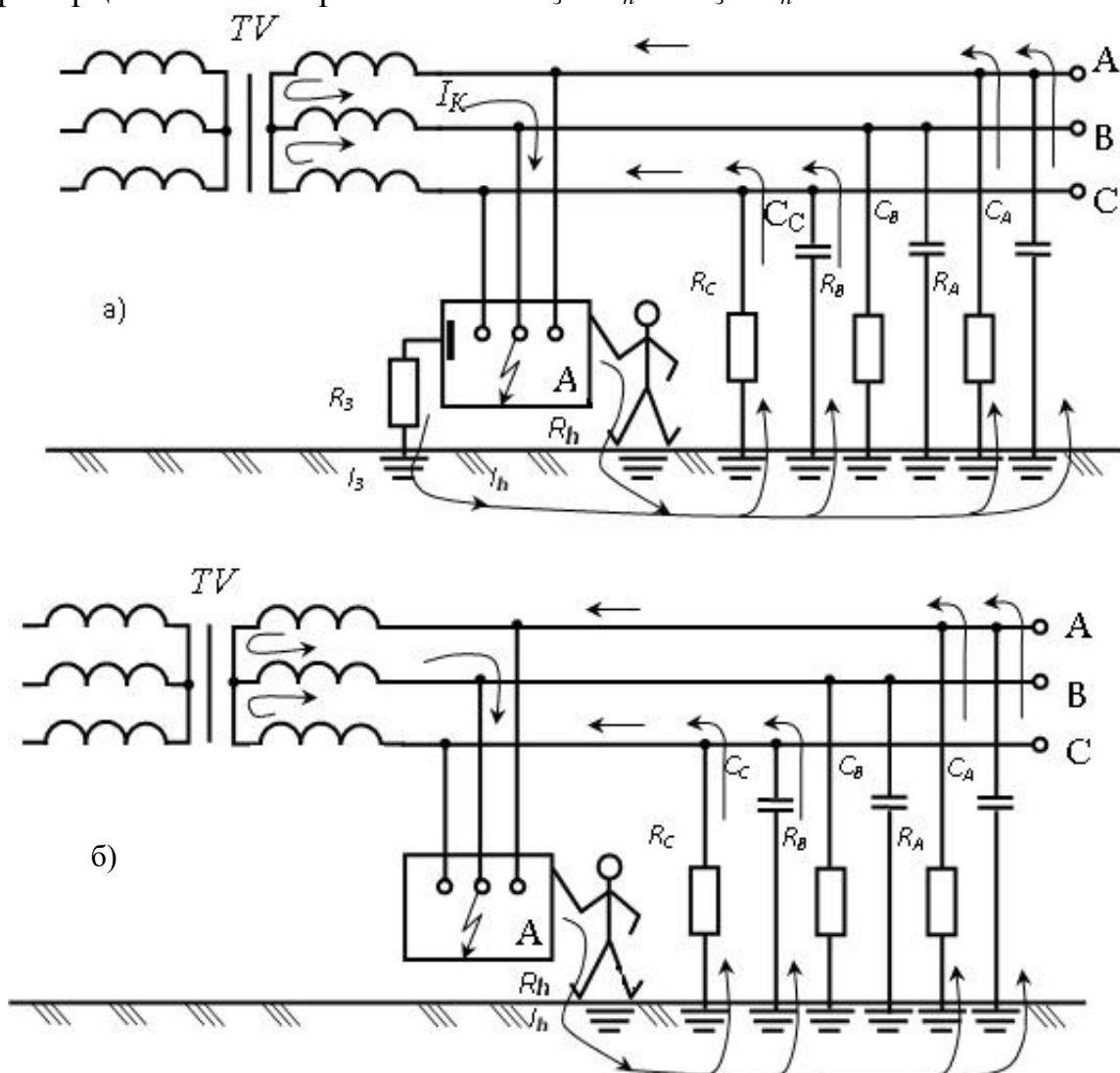


Рис.8.3. Прикосновение к корпусу, оказавшемуся под напряжением:  
а - при исправном заземлении; б - при отсутствии заземления.

Если человек касается незаземленного корпуса, оказавшегося под

напряжением, то, как видно из рис.8.3б, через человека проходит весь ток замыкания на корпус  $I_h = I_K$ . Таким образом, этот случай равносителен однополюсному прикосновению к токоведущим частям.

**Напряжение прикосновения.** Во всех случаях контакта человека с частями ЭУ, в нормальном режиме, или случайно находящимися под напряжением, это напряжение прикладывается по всей электрической цепи, куда входят сопротивления тела человека, обуви, пола или грунта, на котором он стоит.

Напряжение прикосновения определяется как падение напряжения в сопротивлении тела человека. При однофазном прикосновении к токоведущим частям напряжение прикосновения определяется фазным напряжением относительно земли и параметрами сети.

При прикосновении к заземленным нетоковедущим частям ЭУ напряжение прикосновения зависит от напряжения корпуса относительно земли. Ток, проходящий через человека  $I_h$ , как и в предыдущем случае, зависит от тока замыкания на землю  $I_h = f(I_3)$ .

Включение человека в цепь тока между фазным проводом и землей, или прикосновение к корпусу электроустановки, оказавшемуся под напряжением, является несколько менее опасным. Опасность поражения определяется величинами напряжения сети и последовательно включенных сопротивлений тела человека, обуви, пола, изоляции токоведущих частей относительно земли.

Таким образом, в трехфазных трехпроводных сетях, изолированных от земли, как и однофазных сетях, опасность для человека, прикоснувшегося к одному из фазных проводов в период нормальной работы сети, зависит в основном от сопротивления изоляции фаз относительно земли.

Трехфазные сети с изолированной нейтралью, как уже было сказано выше, по условиям электробезопасности целесообразно применять только при сравнительно небольшой протяженности электрической сети, от которой зависит значение ее емкости, и при высоком сопротивлении изоляции фаз относительно земли (по ПУЭ сопротивление изоляции должно быть не менее 500кОм).

Высокий уровень диэлектрической прочности изоляции может быть достигнут путем непрерывного контроля ее состояния и своевременным и быстрым устранением ее повреждений. По этой причине сети с изолированной нейтралью получили применение в качестве сетей питания с мало разветвленными токоведущими частями (например, при питании потребителей от передвижных источников электрической энергии). Они применяются также в качестве сетей небольшой протяженности, находящихся под постоянным надзором квалифицированного персонала.

## **2. Практическая часть лабораторной работы № 8 (в ауд.104 и 106 ГК1)**

### **2.1.Описание лабораторной работы № 8, 8а, 8б (ауд.104 и 106 ГК1)**

Экспериментальные исследования выполняются в ауд. 104 ГК1 и 106 ГК1 на лабораторных установках (стендах), которые позволяют моделировать трехфазные сети переменного тока напряжением до 1000В с различными режимами нейтрали и параметрами сети.

В каждой установке «СЭБ» - стенд исследования электробезопасности сетей (при  $U_{\phi} = 220\text{В}$ ), имеется панель, на которой обозначены соответствующие участки сети при включении различных измеряемых схем.

### **2.2.Условия проведения лабораторной работы № 8, 8а, 8б (ауд. 104 и 106 ГК1)**

Существующие в реальных сетях распределенные сопротивления изоляции и емкости проводов относительно земли, заменены в установках сосредоточенными и равными для отдельных фаз сопротивлениями ( $R_A = R_B = R_C = r_{uz}$ ) и емкостями ( $C_A = C_B = C_C = C$ ). Однофазные прикосновения на установках моделируются для случая прикосновения человека к корпусу электроустановки, находящемуся под напряжением.

### **2.3. Порядок проведения лабораторной работы № 8 на установке СЭБ-1 (ауд. 104 ГК1)**

**Приведите лаб. установку СЭБ-1 в ауд. 104 ГК в исходное положение, для чего:**

- ручки переключателей  $C_A, C_B, C_C, r_A, r_B, r_C$  установить на «0»;
- тумблеры: "устройство", "шунтирующий", "компенсация", "зануление",  $r_0, r_P, r_3$  установить в положение "выкл.";
- поворотом ручки пакетного переключателя на левой стенке стенда подать напряжение ( $U_{\phi}$ ) на установку. При этом загорится зелёная лампочка «сеть» в левом верхнем углу передней панели стенда и будет слышен звук, характерный для «работающего» трансформатора;
- двумя тумблерами «сеть» в левом верхнем углу передней панели стенда включить «устр.» - установку. При этом на установке включится подсветка схемы четырёхпроводной сети.

#### **2.3.1.Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью**

При соприкосновении с корпусом ЭУ, на которую произошло замыкание фазы, через человека протекает ток, значение которого зависит от параметров сети. Чем ниже сопротивление изоляции  $r_{uz}$  и чем больше емкость  $C$  сети относительно земли, тем больше опасность поражения.

**Определение значение тока  $I_h$ , проходящего через тело человека:**

**а) при  $C_A = C_B = C_C = 0$  и  $r_A = r_B = r_C = r_{uz} = \text{var}$ , для этого:**

- двумя тумблерами «сеть» на установке включите "устр.";
- установите ручку  $R_h$  (сопротивление тела человека) на величину

исходных данных, указанных преподавателем (в бланке работы);

- нажмите кнопку "замыкание", что означает замыкание фазы на корпус ЭУ;

- установите ручку переключателей  $r_A$ ,  $r_B$ ,  $r_C$  последовательно на деления **1, 2, 5** и т.д., что соответствует активному сопротивлению изоляции фаз относительно земли;

- внесите показания приборов: **вольтметра V** и **миллиамперметра A<sub>2</sub>**, в бланк отчета в виде таблицы;

**б) при  $r_A = r_B = r_C = \infty$  и  $C_A = C_B = C_C = \text{var}$** , для этого:

- установите ручки переключателей  $C_A$ ,  $C_B$ ,  $C_C$  последовательно на деления **0,1; 0,2** и т.д., что соответствует емкости фаз относительно земли, и показания приборов впишите в таблицу;

- приведите установку в **исходное положение**, для чего установите все ручки переключателей и тумблеры, как указано в начале опыта.

### **2.3.2. Однофазное прикосновение в сети с заземленной нейтралью**

В сети с заземленной нейтралью напряжения отдельных фаз по отношению к земле, как уже указывалось ранее, остаются практически постоянными при аварийном режиме работы сети и равны фазному напряжению. При соприкосновении с корпусом электроустановки, находящимся под напряжением, человек включается в электрическую цепь. Значение тока, проходящего через тело человека  $I_h$ , не зависит от электрических параметров сети, поскольку емкостное сопротивление и активное сопротивление изоляции фаз зашунтированы глухим соединением нейтрали с землей, имеющей очень малое сопротивление (для сети 380В  $r_0 \leq 4\Omega$ ), которым можно спокойно пренебречь. При равенстве нулю сопротивления обуви и сопротивления основания (пола) ток, проходящий через тело человека, зависит только от его собственного сопротивления и может достичь смертельных для жизни значений.

**Определение значение тока  $I_h$  проходящего через тело человека:**

- двумя тумблерами «сеть» на установке включите "стр.";

- включите тумблер  $r_0$ , что означает -нейтраль трансформатора заземлена;

- нажмите кнопку "замыкание";

- ручку переключателя  $R_h$  последовательно установите в положение **1, 2, 4** и т.д.;

- показания приборов внесите в таблицу, при этом вольтметр должен показывать фазное напряжение;

- приведите установку в **исходное положение**.

### **2.3.3. Защитные меры в трехпроводной сети с изолированной нейтралью**

**а) Компенсация емкостной составляющей тока ( $I$ ) в сети с изолированной нейтралью.**

В протяженной сети с изолированной нейтралью, емкость фаз

относительно земли часто превышает 0,3мкФ на фазу. Для уменьшения (компенсации) емкостного тока замыкания на землю, а также тока через человека при его прикосновении к одной из фаз, в нейтраль источника питания включают компенсирующее устройство в виде катушки индуктивности или дросселя. В зависимости от значения индуктивности, которое в принципе можно регулировать, емкостной ток может быть полностью компенсирован индуктивным током катушки либо недокомпенсирован или перекомпенсирован.

В данном опыте на установке следует:

- двумя тумблерами «сеть» включите "устройство";
- ручки переключателей  $C_A$ ,  $C_B$ ,  $C_C$  установите в положение **0,6мкФ**,  $R_h$  - согласно заданию;
- нажмите кн. "замыкание" и показания приборов впишите в таблицу;
- включите тумблер "компенсация" и показания приборов внесите в ту же таблицу, где указывается заданное сопротивление тела человека  $R_h$  и значения тока  $I_h$  и напряжения прикосновения  $U_{pp}$  без компенсации и с компенсацией;
- приведите установку в *исходное положение*.

#### **б) Оценка эффективности защитного заземления.**

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала от поражения электрическим током при пробое фазы на корпус в сети с изолированной нейтралью ( $U < 1000\text{В}$ ) на электроустановках выполняется защитное заземление. Защитное заземление представляет собой преднамеренное соединение с землей металлических нетоковедущих частей электроустановки, нормально не находящихся под напряжением, посредством заземляющих проводников и заземлителей (см. работу "Исследование защитного заземления"). При правильно выполненном заземлении (т.е. правильно выбранном и реализованном заземляющем устройстве с соответствующим значением сопротивления заземления, для  $U_A = 380\text{В}$   $r_3 \leq 4\Omega$ ) напряжение прикосновения на корпусе и напряжение шага у корпуса основания при стекании тока через заземлитель должны быть меньше предельно допустимых, и тогда ток через человека будет меньше порогового отпускающего, т.е. меньше 10 - 15mA.

Определите эффективность защитного заземления, для этого:

- двумя тумблерами «сеть» включите "устройство";
- переключатель  $R_h$  поставьте согласно заданию;
- установите ручки переключателей  $r_A$ ,  $r_B$ ,  $r_C$  на величину исходных данных, указанных преподавателем (в бланке работы);
- нажмите кн. "замыкание" и снимите показание миллиамперметра  $A_2$ , представляющего ток через человека  $I_h$ ;
- включите тумблер  $r_3$ , что означает подключение корпуса оборудования к защитному заземлению, и вновь запишите показания миллиамперметра, которое будет представлять значение тока через

человека при наличии заземления электроустановки;

- приведите установку в **исходное положение**.

❖ По результатам исследования сети с **изолированной нейтралью** необходимо:

a) Рассчитать по заданному значению  $R_h$  значения тока  $I_h = U_\Phi / (R_h + R_{uz} / 3)$  и сравнить с экспериментальными данными.

Построить графики зависимостей  $I_h = f(R_{uz})$  и сделать анализ полученных кривых.

Рассчитать напряжение прикосновения  $U_{pp}$ .

б) Построить графики зависимостей  $I_h = f(C)$  и сделать их анализ.

❖ По результатам исследования сети с **заземленной нейтралью** необходимо:

- построить графики зависимостей  $I_h = f(R_h)$  и провести их анализ.

### **2.3а. Проведение лабораторной работы № 8а (ауд.106 ГК)**

#### **2.3а.1. Описание лабораторной работы № 8а (ауд.106 ГК)**

Электрическая установка для лабораторной работы № 8а представлена в учебной лаборатории БЖД ауд.106 ГК1 в виде стенда. На данную установку, в соответствии со схемой соединений (Руководства по исполнению базовых экспериментов производителя) - рис.8а.1, на трёх фазный источник питания (бл.201.2) подается фазное напряжение от 3-х фазной сети учебного корпуса. Это напряжение через блок линейных дросселей (бл.337) и трехфазный трансформатор (бл.302) подается на модель участка электрической сети (бл.303) и модель человека (бл.309). Человек касается фазы С, и через сопротивление его тела, а также сопротивление пола, обуви и изоляции фаз протекает ток, измеряемый амперметром блока 508.2. При этом происходит измерение напряжения на цепи, содержащей сопротивление человека в размере **1кОм**, а так же обуви и пола, которые можно изменять в эксперименте. Напряжение прикосновения (напряжение между двумя точками электрической цепи, которых одновременно касается человек) определяется как падение напряжения на его сопротивлении. Кроме того, можно в эксперименте измерять напряжение в случае замыкания на землю фазы - А (аварийный случай) при различных сопротивлениях замыкания.

На основании полученного значения тока через человека  $I_h$  требуется определить в работе расчетное значение напряжения прикосновения  $U_{np}$ .

#### **2.3а.2.Условия проведения работы № 8а (ауд.106 ГК)**

**Ознакомиться** с электрической схемой соединений лабораторного стенда рис.8а.1 (Руководства по исполнению базовых экспериментов производителя) и перечнем аппаратуры, входящей в состав стенда. Не изменяя положение контактных проводов и коротко замыкающих вилок.

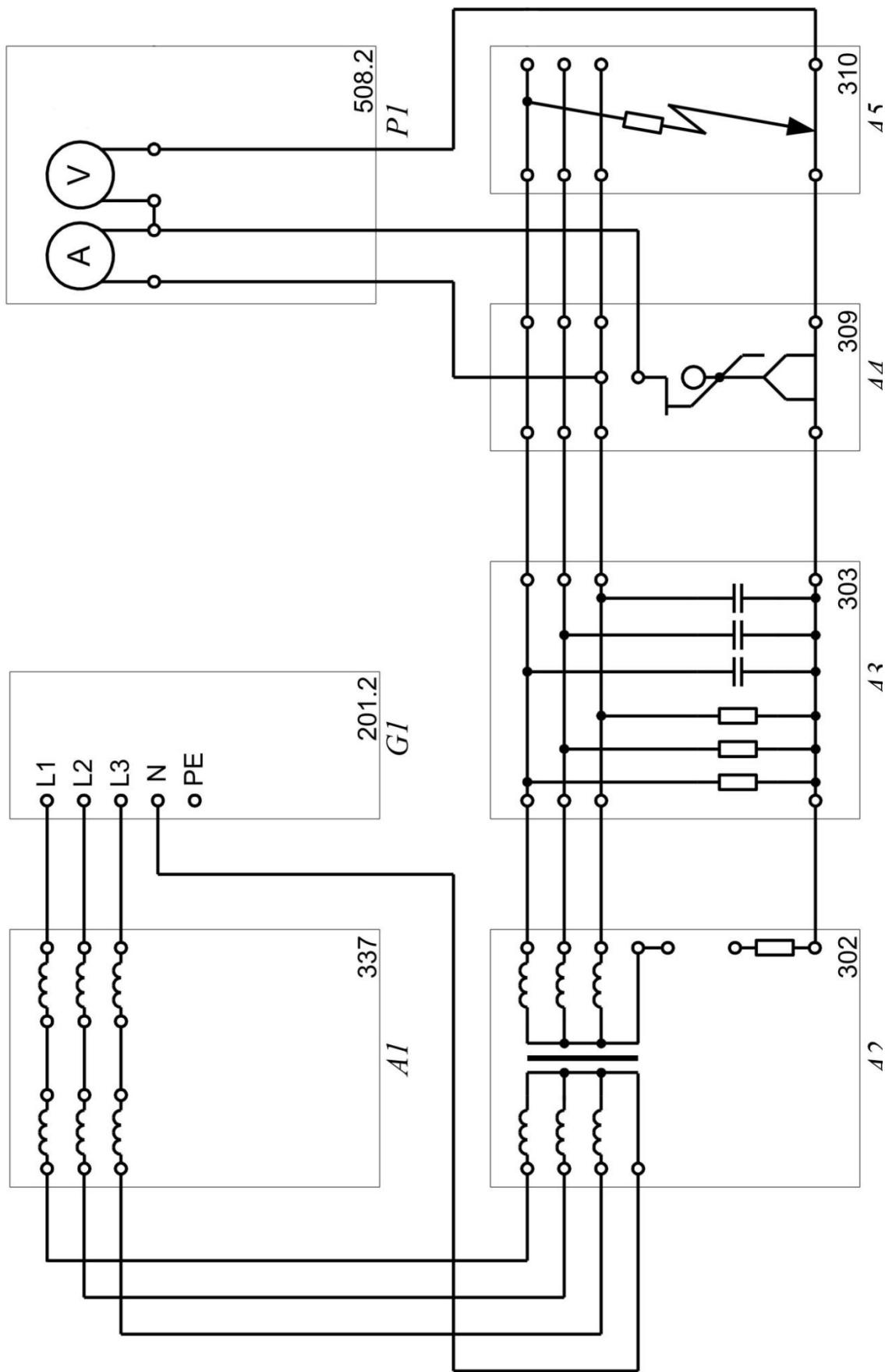


Рис. 8а.1. Электрическая схема соединений  
(для определения влияния режима электрической сети и её нейтрали на условия электробезопасности)

### Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<b>G 1</b>	Трехфазный источник питания	201.2	~ 400В; 16А
<b>A 1</b>	Блок линейных дросселей	337	6x1,0Гн; 0,5А
<b>A 2</b>	Трехфазный трансформатор	302	250ВА, 380/380В, Y-0/Y-0
<b>A 3</b>	Модель участка электрической цепи	303	~ 380В; 3x 0,5А
<b>A 4</b>	Модель человека	309	~ 380В; 3x 0,5А
<b>A 5</b>	Модель замыкания на землю	310	~ 380В; 3x 0,5А
<b>P 1</b>	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0...1000В; 0...10А; 0...20Мом

**Примечание.** Положение контактных проводов и коротко замыкающих вилок не изменять! Все выключатели стенда должны быть выключены!

**Перед проведением измерений:**

- установить согласно заданию (табл.8а.1) значения сопротивлений обуви и пола;
- проверить отсутствие соединения (перемычки) нейтрального провода «n» на бл.302 с землей через сопротивление заземления нейтрали  $R_0=4\Omega$ .

#### 2.3а.3.Порядок проведения работы № 8а (ауд.106 ГК)

##### Включить установку.

Для этого включить на трехфазном источнике питания (бл.201.4.1) автоматические выключатели и устройство защитного отключения (блок выключателей желтого цвета). Вставить ключ в замок ключа-выключателя и повернуть его по часовой стрелке с «0» до упора («1»).

После этого нажать на этом блоке кнопку «ВКЛ». При этом должны загореться светодиоды ( $L_1, L_2, L_3$ ), сигнализируя о наличии выходных фазных напряжениях источника, то есть о подаче  $U$  на блоки стенда.

После включения установки необходимо подать напряжение на блок мультиметров (бл.508.2.1) выключателем «Сеть».

Каждый из мультиметров включить нажатием кнопки «POWER» (желтого цвета слева под экраном индикатора). Данные приборы позволяют измерять напряжение на суммарном сопротивлении человека, пола и обуви  $U_{изм}=U_{h+n+об}$  и ток через человека. Приборы должны быть подсоединены к электрической сети по схеме на рис.8а.1.

Значение  $U$  и  $I$  через человека, измеряемые мультиметрами (1-ый – вольтметр, 2-ой – амперметр) будут зависеть от параметров сети. В ходе измерений мультиметрами, при появлении на индикаторе прибора значения «1», следует изменить диапазон измерения величины напряжения или тока с помощью переключателя на передней панели соответствующего прибора.

### 2.3а.3.1. Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью

При включенном стенде, в случае прикосновения человека к фазе С (бл.309), через него протекает ток, значение которого зависит от параметров сети. Чем ниже сопротивление изоляции  $R_{iz}$  и чем больше емкость  $C$  сети относительно земли, тем больше опасность поражения.

Определяем опытным путем значение тока  $I_h$ , проходящего через тело человека:

а) при  $C_A = C_B = C_C = 0$  и  $R_A = R_B = R_C = R_{iz} = \text{var}$ , для этого:

- переключатель емкостей фаз (бл.303) установить в положение «0»;
- переключатели  $R_{\text{пол}}$  и  $R_{\text{об}}$  (бл.309) установить в положение согласно заданию по табл.8а.1;

- переключателями  $R_A, R_B, R_C$  (бл.303) установить в положение последовательно их значения согласно бланку к работе и снять показания с вольтметра и амперметра;

- внесите показания приборов: вольтметра  $V$  и амперметра  $A$  в бланк отчета в виде таблицы;

б) при  $R_A = R_B = R_C = 500 \text{ кОм}$  и  $C_A = C_B = C_C = \text{var}$ , для этого:

- переключатели сопротивления изоляции фаз ( $R_A, R_B, R_C$ ) установить в положение «500 кОм»;

- переключателями  $C_A, C_B, C_C$  последовательно установить их значения согласно бланку отчета, что соответствует емкости фаз относительно земли;

- показания приборов вписать в таблицу отчета;

в) привести установку в исходное положение, для чего установить все ручки переключателей в положение 0 и  $\infty$ .

### 2.3а.3.2. Однофазное прикосновение в сети с заземленной нейтралью

В сети с заземленной нейтралью напряжения отдельных фаз по отношению к земле, как уже указывалось ранее, остаются практически постоянными при аварийном режиме работы сети и равны фазному напряжению.

Для создания сети с заземленной нейтралью **необходимо соединить** перемычкой нейтральный провод «n» на бл.302 с землей через сопротивление заземления нейтрали  $R_0=4\Omega$ . В этом случае при высоком значении сопротивления изоляции ток при прикосновении человека пройдет через его сопротивление, а также сопротивление обуви, пола и  $R_0$ .

При равенстве нулю сопротивления обуви и сопротивления пола ток, проходящий через тело человека, зависит только от его собственного сопротивления и может достичь смертельных для жизни значений.

**Определяем** значение тока  $I_h$  через тело человека, для чего:

- переключатели  $R_{об}$  и  $R_{пол}$  (бл.309) установить в положение согласно задания к работе по табл.8а.1.
- показания приборов по  $U$  и  $I$  внести в таблицу отчета.

**После завершения эксперимента** приводим лабораторную установку в исходное положение:

- выключить каждый из приборов на блоке мультиметров (508.2.1) нажатием кнопки «POWER» (желтого цвета - слева под экраном индикатора);
- для снятия напряжений с источника питания следует нажать красную кнопку-гриб на блоке 204.4.1., при этом светодиоды ( $L_1, L_2, L_3$ ) должны погаснуть;
- выключить на трехфазном источнике питания (бл.201.4.1) автоматические выключатели и устройство защитного отключения;
- ключ в замке ключа-выключателя повернуть против часовой стрелки с «1» до «0» и повесить на стенку стенда;
- все переключатели на блоках 301, 309 вернуть в исходное положение и отсоединить перемычку нейтрального провода «п» на бл.302.

Таблица 8а.1.

#### Варианты заданий экспериментального исследования

№ задания	$R_{об}$	$R_{пол}$
1	1	1
2	10	1
3	1	100

По результатам исследования необходимо:

- провести анализ опасности для человека в аварийной ситуации в зависимости от параметров и вида 3-х фазной сети;
- провести расчет напряжения прикосновения;
- сравнить теоретические и экспериментальные данные;
- построить графики.

### 2.36. Порядок проведения лабораторной работы № 8б на установке СЭБ-3 (ауд. 106 ГК)

На СЭБ-3 в ауд.106 ГК необходимо провести следующие опыты:

#### 2.36.1. В трехфазной сети с изолированной нейтралью исследовать опасность поражения при однофазном проникновении:

- a) Включить тумблер  $B1$  «Сеть». Выключить тумблеры  $B2 - B6$ . Тумблер  $B7$  с потенциометрами « $R_N$ » и « $C_N$ », а также

*переключатели В10, В11 и кнопка Кн1 в данной работе не используются.*

При проведении измерений тумблер **В9** может находиться в следующих положениях:

- левое (показания миллиамперметра умножаются на 10);
- правое (показания миллиамперметра умножаются на 100).

• Установить потенциометр  $R_h$  в положение согласно задания преподавателя (указанного в бланке отчета). Калибровки (значения положений) всех потенциометров приведены на стенде.

- Переключатель **В8** установить в положение фазы **A**.

Изменяя сопротивление фаз **A, B, C** соответствующими потенциометрами ( $R_A, R_B, R_C$ ) измерить миллиамперметром ток  $I_h$ . Значения параметров сопротивлений и емкостей, используемых в СЭБ-3, приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2

#### Параметры сопротивлений и емкостей СЭБ-3

Деления переключателей $R_A = R_B = R_C, R_h$ и $C_A = C_B = C_C$	Значения сопротивлений $R_A = R_B = R_C, R_h$ , кОм	Значения емкостей $C_A = C_B = C_C$ , мкФ
0	1	0,06
1	6	0,2
2	10	0,4
3	15	0,6
4	20	0,8
5	25	1,0
6	29	1,2
7	34	1,4
8	39	1,6
9	43	1,8
10	48	2,0

6) Установить потенциометры «R» фаз **A, B, и C** в положение «10» (соответствует значению сопротивления 48 кОм, см. табл.8.2);

- Включить тумблеры **B4 - B6**.
- Изменяя емкость фаз с помощью соответствующих потенциометров ( $C_A, C_B, C_C$ ), расположенных над данными тумблерами, снять зависимость тока  $I_h$  от значения емкости (от «0» до «9»).
- Вернуть потенциометры изменения емкости  $C_A, C_B, C_C$  в положение **0** и выключить тумблеры **B4 - B6**.

**2.36.2.В трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью исследовать опасность поражения при однофазном прикосновении в зависимости от сопротивления тела человека:**

• Включить тумблеры **B2** и **B3**.

➤ Изменяя положение потенциометра  $R_h$  от «0» до «5» измерить ток  $I_h$ . При этом необходимо сначала установить потенциометр  $R_h$  в положение «0» и в последующем обратить внимание на то, что показания миллиамперметра при установке потенциометра  $R_h$  в диапазоне от «2,5» до «5» будут изменяться мало (т.е. стрелка прибора будет изменять свое положение не значительно). Это объясняется размером самого прибора и, соответственно, существующей градацией его шкалы.

➤ Выключить тумблер «Сеть». Все переключатели и регулировки вернуть в исходное положение.

❖ По результатам исследования сети с изолированной нейтралью необходимо:

а) Рассчитать по заданному значению  $R_h$  значения тока  $I_h = U_\Phi / (R_h + R_{uz} / 3)$  и сравнить с экспериментальными данными.

Построить графики зависимостей  $I_h = f(R_{uz})$  и сделать их анализ.

Рассчитать напряжение прикосновения  $U_{PR}$ .

б) Построить графики зависимостей  $I_h = f(C)$  и сделать их анализ.

Рассчитать напряжение прикосновения  $U_{PR}$ .

❖ По результатам исследования сети с заземленной нейтралью необходимо:

Построить графики зависимостей  $I_h = f(R_h)$  и сделать их анализ.

Рассчитать напряжение прикосновения  $U_{PR}$ .

### **Расчетное задание на лабораторную работу № 8 (ауд. 106)**

*При невозможности провести измерения* рассчитать по формуле (8.2) и построить графики зависимости тока через человека  $I_h$  от сопротивления изоляции  $R_{iz}$  ( $R_{iz}=1; 5; 10; 50; 100; 500\text{k}\Omega$ ) при двух значениях длины  $l_1$  и  $l_2$  3-х фазной сети с изолированной нейтралью и фазном напряжении 220В согласно варианту задания (табл. 8.3).

Таблица 8.3

№ варианта	$R_h, \text{k}\Omega$	$l_1, \text{м}$	$l_2, \text{м}$	$C_{noz}, \text{мкФ/км}$
1	1	5	100	0,6
2	1,5	10	150	0,6
3	2	12	200	0,6
4	6	15	500	0,4
5	1	20	1000	0,4

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие трехфазные сети переменного тока до и свыше 1000В (по количеству проводов и по режиму нейтрали) используются в России?

2. Какая сеть является менее опасной при однофазном прикосновении человека к фазному проводу при нормальном режиме

и почему?

3. В каких случаях используются сети с изолированной нейтралью при напряжении до 1000В?

4. Какие меры защиты можно применить для уменьшения опасности поражения током в протяженных воздушных сетях до 1000В с изолированной нейтралью?

5. Как изменится значение тока через человека при однофазном прикосновении человека в сети с заземленной нейтралью, если сопротивление тела человека увеличить?

6. Как изменится значение тока через человека при однофазном прикосновении человека в сети с изолированной нейтралью, если сопротивление изоляции проводов уменьшить?

7. Как изменится значение тока через человека при однофазном прикосновении человека в сети с изолированной нейтралью, если увеличить длину сети?

8. Укажите самую опасную схему включения человека в цепь тока.

9. Чем практически определяется ток через человека при однофазном прикосновении в сети с заземленной нейтралью?

10. Как изменится ток через человека при однофазном прикосновении в сети с изолированной нейтралью, если увеличить ее длину в 2 раза и высоту подвеса проводов тоже в 2 раза?

11. Какая 3-х фазная сеть из применяемых до 1000В наиболее опасна при двухфазном прикосновении?

12. Какова величина компенсирующей индуктивности при емкости сети с изолированной нейтралью равной 10 мкФ?

13. Чем отличается фазное напряжение от напряжения прикосновения, и в каком случае они совпадают?

## Работа № 9

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

**Цель работы:** изучение действия электрического тока на организм человека и определение параметров электрической схемы замещения тела человека.

### 1. Теоретическая часть

#### 1.1.Основные сведения о воздействии электрического тока

Если человек касается одновременно двух точек, между которыми существует напряжение, и при этом образуется замкнутая цепь, через его тело проходит ток. Значение этого тока зависит от схемы прикосновения, то есть от того, каких частей электрической установки касается человек, а также от параметров электрической сети.

**Сопротивление тела человека** и приложенное к нему напряжение сказываются лишь в той мере, в какой они изменяют значение тока.

Действие электрического тока на живую ткань носит своеобразный и разносторонний характер. Проходя через организм человека, электрический ток ( $I$ ) производит термическое и электролитическое действия, что характерно для неживых объектов, а также - специфическое биологическое действие, которое выражается в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, что может сопровождаться непроизвольным сокращением мышц, в том числе сердца и легких. В результате электрический ток наносит травму человеку, которая может быть местной (ожог, электрический знак и др.) или общей (электрический удар или шок).

Тяжесть поражения определяется в первую очередь значением тока, зависящим от напряжения прикосновения  $U_{\text{пр}}$  и электрического сопротивления  $R_h$  тела человека, а также временем его воздействия. При длительности воздействия более 0,2сек. резко возрастает тяжесть поражения, что связано с особенностями кардиоцикла человека. Поэтому время срабатывания быстродействующей защиты отключения должно быть не более 0,2сек. (по ПУЭ при фазном напряжении 220В не более 0,4сек.). Токи различного рода неодинаково опасны (при прочих равных условиях) для организма. Наиболее опасным следует считать переменный ток промышленной частоты 50-60Гц (в общем случае до 500Гц). Он сильно воздействует на центральную нервную систему и производит сильные сокращения мышц, которые во многих случаях удерживают человека в контакте с частями, находящимися под напряжением, лишая возможности самостоятельно освободится от токоведущей части (ТВЧ).

Дальнейшее повышение частоты, несмотря на рост тока, проходящего через человека, сопровождается снижением опасности поражения, которая полностью исчезает при частотах 450 - 500кГц. Токи этого диапазона частот и более не могут вызвать смертельного поражения вследствие прекращения работы сердца или легких, а также других жизненно важных органов. Правда, эти токи сохраняют опасность ожогов, как при возникновении электрической дуги, так и при прохождении их непосредственно через тело человека.

Постоянный ток примерно в 4-5 раз безопаснее переменного частотой 50Гц. Проходя через тело человека, он вызывает более слабые сокращения мышц и менее неприятные ощущения по сравнению с переменным током того же значения. Лишь в момент замыкания и размыкания цепи тока человек испытывает кратковременное болезненное ощущение вследствие внезапного судорожного сокращения мышц, подобное тому, которое возникает при переменном токе примерно того же значения.

Сказанное о сравнительной опасности постоянного и переменного токов справедливо лишь для напряжений до 500В. Считается, что при более высоких напряжениях постоянный ток становится опаснее переменного частотой 50Гц. Степень отрицательного воздействия тока на организм человека увеличивается также и с ростом его величины.

**Ощутимый ток** - это такой ток, который вызывает при прохождении через человека ощутимые раздражения. Человек начинает ощущать воздействие проходящего через него переменного тока частотой 50Гц значением 0,5-1,5mA и постоянного тока значением 5-7mA. Безопасным током при длительном воздействии считается ток величиной менее 50мкА.

Это воздействие ограничивается при переменном токе слабым зудом и легким покалыванием, а при постоянном токе - ощущением нагрева кожи на участке, касающемся токоведущей части. Указанные значения тока являются граничными (пороговыми), с которых начинается область ощутимого воздействия. При токах, превышающих пороговый ощутимый, возможно получение человеком электротравм как местных (ожог, электрический знак и др.), так и общих (электрический удар 1-4 степени).

**Неотпускающий ток** - это такой ток, который вызывает при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник.

**Пороговым неотпускающим током** называют наименьшее значение неотпускающего тока. Для переменного тока частотой 50Гц оно составляет 10 - 15mA (для мужчин при пути прохождения тока рука - рука). При этих значениях тока человек чувствует непереносимую боль, а судороги мышц руки оказываются настолько значительными, что человек не в состоянии их преодолеть, т.е. не может разжать руку, в которой зажата токоведущая часть (ТВЧ). Для постоянного тока пороговое значение неотпускающего

тока составляет 50-80mA.

**Фибрилляционный ток** - это такой ток, который при прохождении через тело человека вызывает фибрилляцию сердца.

**Фибрилляция (fibrillation)** - быстрое хаотическое сокращение многих отдельных мышечных волокон сердца, в результате которого сердце теряет способность к эффективным и синхронным сокращениям. Пораженный участок сердца после этого перестает нагнетать кровь. Фибрилляция может возникнуть независимо в предсердиях или желудочках сердца.

Фибрилляция предсердий (**atrial fibrillation**) является типичной разновидностью аритмии; проявляется учащенным и неритмичным пульсом и сердцебиением. При фибрилляции желудочков (**ventricular fibrillation**) сердце перестает сокращаться. Чаще всего причиной такой фибрилляции является инфаркт миокарда.

**Пороговым фибрилляционным током** называют наименьшее значение фибрилляционного тока. Для переменного тока частотой 50Гц фибрилляционным является ток от 100mA до 5A; пороговым - 100mA. Для постоянного тока пороговым фибрилляционным током считается ток 300mA, верхним пределом - 5A. Следует подчеркнуть, что эти данные справедливы при условии длительного прохождения тока через человека (не менее 2 - 3сек.) по пути рука - рука или рука - ноги.

Ток больше 5A, как при постоянном напряжении, так и частотой 50Гц фибрилляцию сердца, как правило, не вызывает. При протекании такого тока происходит немедленная остановка сердца, минуя состояние фибрилляции. Если воздействие тока было кратковременным (до 1-2 сек.) и не вызвало паралич сердца, то сердце, как правило, самостоятельно возобновляет нормальную деятельность. При таких токах, даже в случае кратковременного воздействия, наряду с остановкой сердца, происходит и паралич дыхания.

При определенных допущениях тело человека можно представить в виде электрической схемы замещения.

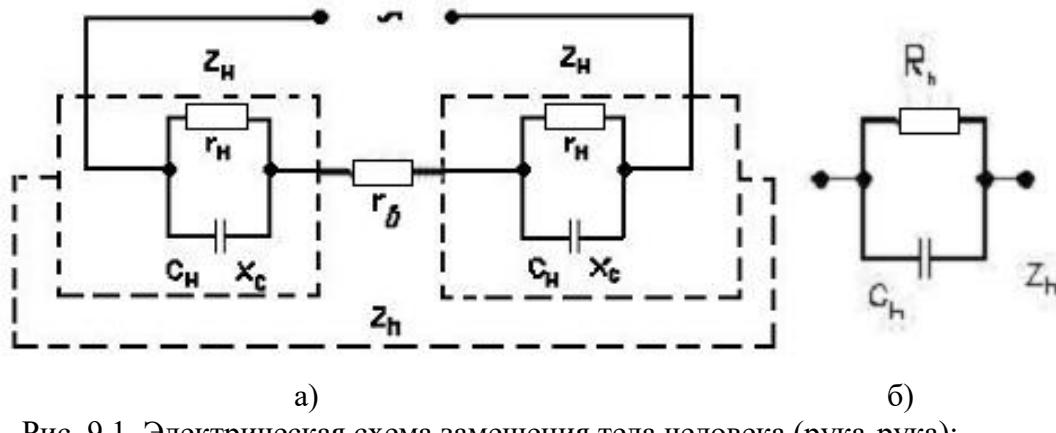


Рис. 9.1. Электрическая схема замещения тела человека (рука-рука):  
а) эквивалентная; б) упрощённая.

Чаще всего для анализа явлений при протекании тока через человека

по пути рука - рука и расчета электрических параметров сопротивления человека используются - две схемы замещения: эквивалентная (рис.9.1,а) и упрощенная (рис.9.1,б).

Здесь  $R_h$  и  $C_h$  - активное сопротивление и емкость в зоне контакта ладони с электродом.

На схеме (см. рис.9.1,а)  $R_h$  и  $C_h$  - активная и реактивная составляющая наружного сопротивления кожи  $Z_h$ ,  $r_b$  - внутреннее сопротивление.

Анализируя эквивалентную схему замещения, можно сделать несколько выводов:

а) Наличие емкости  $C$  в схеме и, соответственно, реактивной составляющей в выражении для  $Z_h$  обусловливает влияние рода и частоты тока на значение сопротивления тела человека.

б) С увеличением частоты  $f$  емкостное сопротивление  $x_C = 1/(2\pi f C_H)$  уменьшается и шунтирует активное сопротивление  $r_h$ . В пределе при  $f \rightarrow \infty$  полное сопротивление тела человека равно  $r_b$ .

в) При уменьшении частоты емкостное сопротивление возрастает и в пределе при  $f \rightarrow 0$ , т.е. при постоянном токе  $z_h = z_0 = 2r_h + r_b$ , откуда

$$r_h = \frac{z_0 - r_b}{2} \quad (9.1)$$

С некоторыми допущениями можно принять, что полное сопротивление тела человека на частотах 0 - 100 Гц находится в линейной зависимости от частоты тока и может быть определено методом экстраполяции. С этой целью в линейном масштабе строится график зависимости полного сопротивления от частоты, как показано на рис.9.2.

Значение  $z_0$  находится при пересечении прямой  $z_1 - z_4$  с осью координат.

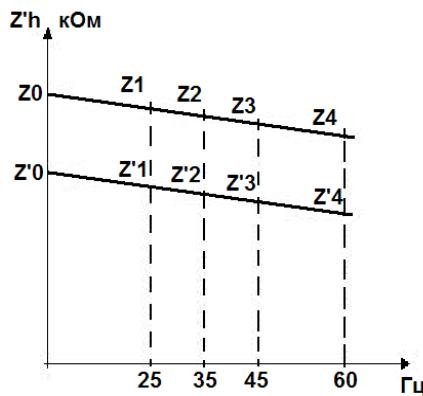


Рис. 9.2. График экстраполяции при определении сопротивления постоянному току.

г) Значение полного сопротивления наружного слоя кожи  $Z_h$  при данной частоте может быть найдено из выражения

$$z_h = \frac{z_f - r_b}{2} \quad (9.2)$$

где  $z_f$  - сопротивление человека  $Z_h$  на заданной частоте.

Полное сопротивление наружного слоя кожи  $z_H$  связано с  $r_H$  и  $1/(\omega C_H)$  соотношением  $1/z_H^2 = 1/r_H^2 + (\omega^2 C_H^2)$

Отсюда можно получить емкость наружного слоя кожи  $C_H$  из выражения

$$C_H = \frac{\sqrt{r_H^2 - z_H^2}}{2\pi f r_H z_H} \quad (9.3)$$

Если  $r_H \gg z_H$ , то вместо соотношения (3) можно использовать более простое выражение  $C_H = 1/(2\pi f z_H)$  (9.4)

Приведенные выражения позволяют при наличии экспериментальной зависимости  $z_h(f)$  определить расчетным путем для заданной частоты  $f$  значения  $r_B, z_0, r_H, z_H, C_H$ .

Состояние кожи сильно влияет на значение электрического сопротивления тела человека. Так, повреждение рогового слоя, в том числе порезы, царапины, ссадины и другие микротравмы, могут снизить  $z_h$  до значения, близкого к значению внутреннего сопротивления, что, безусловно, увеличивает опасность поражения током. Такое же влияние оказывает и увлажнение кожи водой или потом, а также загрязнение кожи, проводящей ток, пылью или грязью.

Поскольку у одного и того же человека электрическое сопротивление кожи неодинаково на разных участках тела, то на сопротивление в целом влияют: место приложения, а также плотность и площадь контакта.

Значение тока и длительность его прохождения через тело человека непосредственно влияют на полное электрическое сопротивление  $z_h$ : с ростом тока и времени его прохождения сопротивление падает, поскольку при этом усиливается местный нагрев кожи, что приводит к расширению ее сосудов, а следовательно, к усилению снабжения этого участка кровью и увеличению потовых выделений.

И наконец, повышение напряжения, приложенного к телу человека, уменьшает в десятки раз сопротивление кожи, а следовательно, и полное сопротивление тела человека, которое в пределе приближается к своему наименьшему значению 300 – 500 Ом (сопротивление внутренних органов  $r_B$ ). Это объясняется рядом факторов, прежде всего, пробоем рогового слоя кожи, который наступает при напряжении 50 - 200 В, а также ростом тока, проходящего через кожу (за счет повышения напряжения) и др.

В целом при нормальных условиях величина полного сопротивления тела человека находится в пределах 3-100 кОм. В расчетах при напряжении до 50 В используют величину сопротивления тела человека 6 кОм, а при напряжениях выше 50 В - 1 кОм.

В заключение следует отметить, что на тяжесть электротравм, кроме указанных выше факторов, также влияют условия внешней среды, путь протекания тока через человека (наиболее опасный - правая рука - голова) и схема подключения человека к конкретной электрической сети.

## 2. Практическая часть лабораторной работы № 9 (в ауд. 104 ГК1)

### 2.1. Описание лабораторной работы № 9 (в ауд. 104 ГК1)

Для исследования зависимости сопротивления тела человека от частоты применяется экспериментальная установка (рис.9.3), состоящая из звукового генератора со встроенным вольтметром, вольтметра и стенда с тремя парами дисков-электродов площадью 22 ( $S$ ), 11 ( $S'$ ) и 7,3 ( $S''$ )  $\text{см}^2$ .

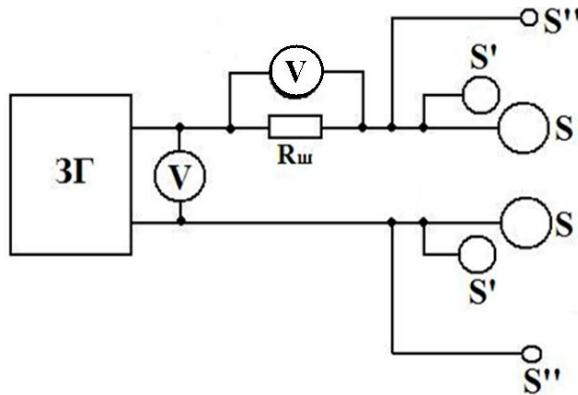


Рис.9.3. Схема включения приборов.

3Г - звуковой генератор; V - вольтметр;  
mV - вольтметр, используемый для определения тока через тело человека;  
 $S, S', S''$  - диски-электроды площадью 22  $\text{см}^2$ , 11  $\text{см}^2$  или 7,3  $\text{см}^2$ ;  
 $R_{ш}$  - шунтирующий резистор.

### 2.2. Условия проведения лабораторной работы № 9 (ауд. 104 ГК1)

Генератор является источником синусоидальных электрических колебаний в диапазоне частот от 20Гц до 20кГц. Частоты устанавливаются по диапазонам 20 - 200Гц (x1), 200 - 2000Гц (x10), 2 - 20кГц (x100), 20-200кГц (x1000) с помощью переключателя. Амплитуда выходного напряжения регулируется ручкой «Регулятор выходного напряжения». Вольтметр, измеряющий падение напряжения на сопротивлении  $R_{ш}$ , равном 1кОм, позволяет получить значение тока через человека.

Во время исследования руки испытуемого накладываются на диски - электроды, на которые от звукового генератора подается напряжение заданной частоты. Для получения правильных значений сопротивления плотность прижатия рук к дискам-электродам должна быть постоянной в течение опыта и кисти рук не должны соприкасаться между собой.

Данные для выполнения работы (площади дисков и частота для расчета) представлены в таблице на стенде лабораторной установки.

### 2.3. Порядок проведения лабораторной работы № 9 (ауд. 104 ГК1)

2.3.1. Получив задание, проверьте подключение приборов к сети и положение ручек на генераторе Г3-33 и вольтметре В7-38.

Для включения генератора необходимо предварительно включить **Сетевой разделятельный трансформатор** (в черном корпусе, слева от генератора). При необходимости установите переключатель диапазонов частоты генератора на «x1». Ручку регулятора выходного напряжения

поворните до отказа влево, после чего можно включить приборы. Включение вольтметра производится отдельно на «сетевом фильтре».

2.3.2. Поворачивая на генераторе ручку «**Регулятор выходного напряжения**» вправо, установите напряжение 2 - 4В (точно по заданию преподавателя).

С помощью ручки «**Частота Hz**» лимбом настройки необходимо последовательно устанавливать частоты (по бланку) - от 25Гц до 20кГц .

2.3.3. Установив на генераторе указанную частоту, одному из участников испытания необходимо положить кисти рук на диски-электроды установки, не нажимая ладонями на них, и произвести измерения напряжения вольтметра (в милливольтах – 0.000).

При этом необходимо: приложить ладони рук одновременно, но порознь (не касаясь друг друга), к двум электродам указанной площади контактной поверхности, выждать ориентировочно 10сек., и в показаниях прибора учитывать изменения в третьей цифре.

Частоту переменного тока генератора в дальнейшем необходимо изменять согласно бланку задания. **При изменении частоты руки с электродов надо снимать!** При этом показания напряжения должны качественно соответствовать теоретическим данным.

Показания приборов запишите в таблицу бланка отчета (U,В - показания вольтметра генератора; U,мВ - показания вольтметра В7-38 в милливольтах).

2.3.4. Провести измерения тока через человека для остальных участников лабораторной работы на установленной преподавателем частоте (**f**) и напряжении (**U**) - при прикосновении рук к большим контактам. Данные всех экспериментов и последующих расчетов занести в таблицы бланка.

## 2.4. Обработка экспериментальных данных лабораторной работы № 9

1. Рассчитайте значение тока (mA) и сопротивление тела человека (кОм) по формулам, которые для данной установки с учетом параметров схемы измерения имеют вид:

а)  $I = U[\text{мВ}] / 1000\Omega$ , где  $U[\text{мВ}]$  - показания вольтметра В7-38 в милливольтах;

б)  $z_h = (U[\text{В}] / I[\text{mA}]) \cdot 1\text{k}\Omega$ , где  $U[\text{В}]$  - показания вольтметра звукового генератора (ЗГ). Заполните таблицу бланка отчета.

2. Постройте по полученным данным частотные зависимости

а)  $z_h = \varphi(f)$  при  $S$ ;

б)  $z_h' = \varphi'(f)$  при  $S'$ . Частота по оси абсцисс на бланке отчета отложена в логарифмическом масштабе.

3. Постройте графики  $I_h = \varphi(f)$  при условии постоянства выходного напряжения генератора  $I_h = \varphi(\lg f)$ , для чего на оси ординат (слева) выберите масштаб для  $I_h$  и нанесите численные значения  $I_h$ . Из анализа

графиков  $I_h=\varphi(f)$  сделайте вывод об изменении значений тока ( $I_h$ ) в зависимости от частоты ( $f$ ).

4. Определите внутреннее сопротивление  $r_B$ . Оно равно значению  $z_h$  при  $f = 20\text{кГц}$ .

5. Постройте на бланке график для  $S_1$  и  $S_2$  методом экстраполяции (пример см. на рис.9.2). Найдите значение сопротивления тела человека при постоянном токе  $z_0$ , т.е. при  $f \rightarrow 0$ .

6. Рассчитайте активное сопротивление наружного слоя кожи  $r_H$  по формуле (9.1).

7. На частоте, указанной преподавателем в задании, определите из соотношения (9.2) полное сопротивление наружного слоя кожи  $z_H$ .

8. Рассчитайте по приведенным формулам величину емкости  $c_H$  наружного слоя кожи для электродов  $S$  и  $S'$ .

9. Рассчитайте емкостное сопротивление  $x_C$  по формуле

$$x_C = 1/\omega C, \text{ где } \omega=2\pi f.$$

10. Результаты расчета основных параметров электрической схемы замещения тела человека, для заданной преподавателем частоты, внесите в таблицу бланка отчета.

11. Начертите электрическую схему замещения сопротивления тела человека для условий проведенного эксперимента и укажите на ней для максимальной площади электродов численные значения основных параметров  $r_H$ ,  $r_B$ ,  $x_C$ .

12. По результатам опыта укажите факторы, которые влияют на условия поражения электрическим током. Перечислите, какие еще факторы определяют исход поражения током.

Для получения зачета по работе необходимо изучить теоретические основы занятия, заполнить бланк отчета, знать порядок проведения практической части работы и быть готовым ответить на контрольные вопросы преподавателя.

## 2. Практическая часть лабораторной работы № 9а (в ауд. 106 ГК)

### 2.1. Описание лабораторной работы № 9а (в ауд.106 ГК)

Для выполнения работы используется отдельный модуль 341 комплексной лабораторной установки.

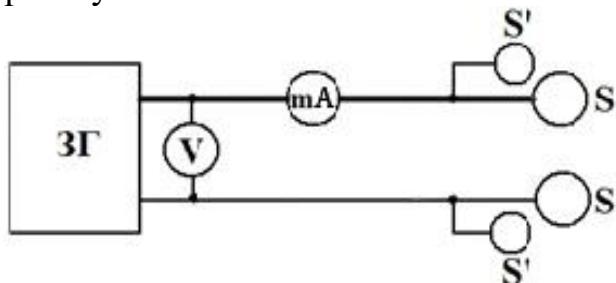


Рис.9.4. Схема включения приборов.

ГС – генератор сигналов; mA - миллиамперметр, используемый для определения тока через тело человека; V - вольтметр; S, S "- диски-электроды площадью 25 и  $12,5\text{см}^2$ .

В состав модуля входит генератор сигналов – ГС (с диапазоном частот от 20Гц до 200кГц), вольтметр, миллиамперметр и две пары дисков - электродов площадью 12,5см<sup>2</sup> (S) и 25см<sup>2</sup> (S<sup>1</sup>) (рис.9.4). НАПРЯЖЕНИЕ(U) и ЧАСТОТА(f) регулируются кнопками, расположенными на поле «ГЕНЕРАТОР СИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ».

## 2.2. Условия проведения лабораторной работы № 9а (ауд. 106 ГК)

Генератор является источником синусоидальных электрических колебаний в диапазоне частот от 20Гц до 20кГц. Частоты устанавливаются по диапазонам 20 - 200Гц, 200 - 2000Гц, 2 - 20кГц, 20-200кГц с помощью кнопочного переключателя. Амплитуда выходного напряжения устанавливается также с помощью кнопочного переключателя. Прибор измеряющий падение напряжения на сопротивлении R<sub>ш</sub>, равном 1кОм, позволяет получить значение тока через человека.

Во время исследования руки испытуемого накладываются на диски - электроды, на которые от звукового генератора подается напряжение заданной частоты. Для получения правильных значений сопротивления плотность прижатия рук к дискам-электродам должна быть постоянной в течение опыта и кисти рук не должны соприкасаться между собой.

Данные для выполнения работы (площади дисков и частота для расчета) представлены в таблице на стенде лабораторной установки.

## 2.3. Порядок проведения лабораторной работы № 9а (ауд. 106 ГК)

2.3.1. Включить на модуле 341 стенда выключатель «СЕТЬ».

2.3.2. Определяя кнопками на поле «ГЕНЕРАТОР СИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ» выставить по нижнему индикатору напряжение (U) согласно заданию преподавателя, но не менее 5В, и частоту (f), указанную в бланке. Для этого использовать кнопки регулировок: «ВЫБОР U / f», «< ЗАДАНИЕ U / f >» и соответствующую светодиодную сигнализацию.

2.3.3. Приложить ладони рук одновременно, но порознь (не касаясь друг друга), к двум электродам с площадью контактной поверхности 25см<sup>2</sup> и с верхнего индикатора считать величину тока I<sub>h</sub>, протекающего через человека. Во время исследования руки испытуемого накладываются на диски - электроды, на которые от звукового генератора подается напряжение заданной частоты. Для получения правильных значений сопротивления плотность прижатия рук к дискам-электродам должна быть постоянной в течение опыта на определенной частоте.

Изменяя частоту f (с помощью кнопок «ВЫБОР ДИАПАЗОНА f» и «< ЗАДАНИЕ U / f >») снять зависимость I<sub>h</sub>(f).

Аналогичным образом снять зависимость I<sub>h</sub>(f) при прикосновении рук к электродам с площадью 12,5см<sup>2</sup>. Показания миллиамперметра и вольтметра внести в таблицу бланка.

**При изменении частоты руки с электродов надо снимать!**

2.3.4. Провести измерения тока через человека для остальных участников лабораторной работы на установленной преподавателем частоте ( $f$ ) и напряжении ( $U$ ) – при прикосновении рук к большим контактам.

Данные всех экспериментов и последующих расчетов занести в таблицы бланка.

## 2.4. Обработка экспериментальных данных лабораторной работы № 9а

1. Рассчитайте сопротивление тела человека (кОм) по формуле:  $z_h = U/I_h$  и заполните таблицу бланка отчета, для чего

a)  $z_h = \varphi(f)$  при  $S$ ;

б)  $z'_h = \varphi'(f)$  при  $S'$ . Частота по оси абсцисс на бланке отчета отложена в логарифмическом масштабе.

3. Определите внутреннее сопротивление  $r_B$ . Оно равно значению  $z_h$  при  $f = 20$  кГц.

4. Методом экстраполяции (см. график на рис.9.2) найдите значение сопротивления тела человека при постоянном токе  $Z_0$ , т.е. при  $f \rightarrow 0$ .

5. Рассчитайте активное сопротивление наружного слоя кожи  $r_H$  по формуле (9.1).

6. На частоте, указанной преподавателем в задании, определите из выражения (9.2) полное сопротивление наружного слоя кожи  $Z_H$ .

7. Рассчитайте по приведенным формулам величину емкости  $C_H$  наружного слоя кожи для электродов  $S$  и  $S'$ .

8. Рассчитайте емкостное сопротивление  $x_C$  по формуле

$$x_C = 1/\omega C = 1/2\pi f C.$$

9. Результаты расчета основных параметров электросхемы замещения тела человека для заданной преподавателем частоты внесите в таблицу бланка отчета.

10. Начертите электрическую схему замещения сопротивления тела человека для условий проведенного эксперимента и укажите на ней для максимальной площади электродов численные значения основных параметров  $r_H$ ,  $r_B$ ,  $x_C$ .

11. Постройте графики  $I_h = \varphi(f)$  при условии постоянства выходного напряжения генератора. Графики постройте на сетке  $I_h = \varphi(\lg f)$  бланка отчета, для чего на оси ординат (слева) выберите масштаб для  $I_h$  и нанесите численные значения  $I_h$ . Из анализа графиков  $I_h = \varphi(f)$  сделайте вывод об изменении значений тока в зависимости от частоты.

12. Для частотного диапазона, в котором  $U = \text{const}$ , постройте графики  $z_h = \varphi(I_h)$  для  $S$  и  $S'$  и сделайте вывод.

13. По результатам опыта укажите факторы, которые влияют на условия поражения электрическим током. Перечислите, какие еще

факторы определяют исход поражения током. Для получения зачета по работе необходимо изучить теоретические основы занятия, заполнить бланк отчета, знать порядок проведения практической части работы и быть готовым ответить на контрольные вопросы преподавателя.

## 2. Практическая часть лабораторной работы № 9б (в ауд. 106 ГК)

### 2.1. Описание лабораторной работы № 9б (в ауд. 106 ГК)

Для исследования зависимости сопротивления тела человека от частоты применяется стенд «Исследование сопротивления тела человека» (рис.9.5).

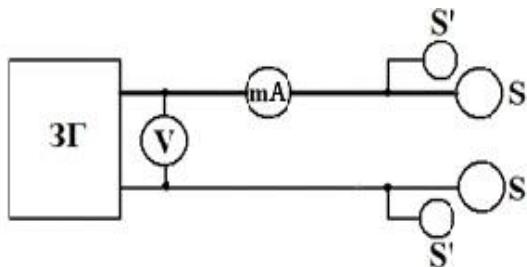


Рис. 9.5. Схема включения приборов.

ЗГ - функциональный звуковой генератор с модулем «Источник тока»; mA - цифровой миллиамперметр, используемый для определения тока через тело человека; V - цифровой вольтметр; S, S' - диски-электроды площадью 28 и 12,5 см<sup>2</sup>.

Состав стенда: функциональный звуковой генератор с модулем «Источник тока»; цифровой миллиамперметр, используемый для определения тока через тело человека; цифровой вольтметр; диски-электроды площадью 28 и 12,5 см<sup>2</sup>.

Модуль «Источник тока» предназначен для подачи на стенд низковольтного постоянного и переменного напряжения для исследования влияния электрического тока на тело человека. При этом модуль содержит следующие компоненты:

- функциональный звуковой генератор (в левой части модуля), являющийся источником низковольтного (от 0 до 9В) переменного напряжения регулируемой частоты;

- источник низковольтного (от 0 до 9В) постоянного напряжения (в правой части модуля).

Модуль цифрового вольтметра и цифрового миллиамперметра **постоянного тока** состоит из цифрового вольтметра постоянного тока (в верхней части модуля) и цифрового амперметра постоянного тока (в нижней части модуля), подключённых внутри стенда к контактным площадкам для измерения параметров низковольтного электрического тока, протекающего через тело человека. Питание на приборы подаётся при переключении тумблера в положение подачи на контактные площадки постоянного напряжения (правое положение).

Модуль цифрового вольтметра переменного тока (в верхней части модуля) и цифрового амперметра **переменного тока** (в нижней части

модуля), подключён внутри стенда к контактным площадкам для измерения параметров низковольтного электрического тока, протекающего через тело человека. Питание на приборы подаётся при переключении тумблера в положение подачи на контактные площадки переменного напряжения (левое положение).

Пары больших ( $28\text{cm}^2$ ) и малых ( $12,50\text{cm}^2$ ) контактных площадок предназначены для исследования влияния электрического тока на тело человека на примере низковольтного постоянного и переменного тока, проходящего через тело человека.

## **2.2.Условия проведения лабораторной работы № 9б (ауд. 106 ГК)**

Внимание! Внутри лабораторного оборудования имеется опасное для жизни напряжение до 230В. Перед началом работы выключатель питания стенда следует поставить в выключенное положение. Визуальным осмотром убедиться в исправности всего оборудования: обратить особое внимание на качество изоляции, отсутствие видимых повреждений, общее состояние всех приборов и соединений.

Выключатель «Питание стенда» служит для включения и выключения общего питания стенда. Нижнее положение выключателя соответствует выключенному состоянию. Верхнее положение выключателя соответствует включённому состоянию. Внутри полупрозрачной красной кнопки выключателя имеется световой индикатор, который постоянно горит во включённом состоянии выключателя при наличии входного напряжения на стенде.

Выходное постоянное или переменное напряжение от модуля «Источник тока» подаётся на две пары электрических контактов (дисков), расположенных в правой части стенда. Переключение рода электрического тока осуществляется тумблером на три положения, расположенным ниже модуля «Источник тока». Правое положение ручки тумблера соответствует постоянному току; левое положение - переменному току; среднее положение - выключенное состояние.

Регулировка величины выходного постоянного напряжения осуществляется поворотом металлической ручки в правой части модуля.

Регулировка величины выходного переменного напряжения осуществляется поворотом пластмассовой ручки, расположенной на правом торце функционального генератора. Поворот каждой из ручек осуществляется по часовой стрелке.

Установка частоты выходного переменного напряжения осуществляется с помощью кнопок управления на генераторе. При этом параметры выводимого переменного напряжения выводятся на цифровой дисплей генератора.

Во время исследования руки испытуемого накладываются на диски - электроды, на которые от звукового генератора подается напряжение

заданной частоты. Для получения правильных значений сопротивления плотность прижатия рук к дискам-электродам должна быть постоянной в течение опыта и кисти рук не должны соприкасаться между собой.

### **2.3.Порядок выполнения лабораторной работы № 9б (ауд. 106 ГК)**

**2.3.1.Перед началом работы** со стендом проверить, чтобы **выключатель «питание стенда»** находился в выключенном положении.

**Тумблер** выбора рода электрического тока поставьте в среднее (выключенное) положение.

**Ручку регулировки** выходного постоянного напряжения «изменение напряжения», «постоянный ток» плавно поверните против часовой стрелки до упора (в положение минимального выходного напряжения).

**Ручку регулировки** выходного переменного напряжения «переменный синусоидальный ток 9в», расположенную на правом торце функционального генератора, также поверните плавно против часовой стрелки до упора (в положение минимального выходного напряжения).

**Включение стенда** осуществить **выключателем «питание стенда»**, переместив его в верхнее (включённое) положение.

**Включение** всей установки, для последующих измерений, осуществляется переключением **тумблера** на передней панели (в левой центральной по вертикали части стенда) из нейтрального положения в положение «**переменный ток**», а в последующем, при необходимости, - «**постоянный ток**».

Поэтому **тумблер** выбора вида электрического тока переместите в правое положение - «**постоянный ток**». При этом включатся цифровой **вольтметр** и цифровой **амперметр** постоянного тока, расположенные в центральной части передней панели стенда.

**Установить** величину напряжения  **$U$**  постоянного тока по заданию преподавателя с помощью регулировки «**постоянный ток**» - «изменение напряжения».

**Поместить** обе ладони сначала на малую пару электрических контактов (**1250мм<sup>2</sup>**), а потом на большую пару электрических контактов (**2800мм<sup>2</sup>**). При этом, кисти рук не должны соприкасаться между собой. Подержать ладони на них в течение 10 секунд.

*Во время исследования руки испытуемого накладываются на диски - электроды, на которые от звукового генератора подается напряжение заданной частоты. Для получения правильных значений сопротивления плотность прижатия рук к дискам-электродам должна быть постоянной в течение опыта на определенной частоте.*

Снять показания величины тока (**I**) по амперметру в миллиамперах и записать в бланк отчёта.

**2.3.2.Переключить** тумблер выбора электрического тока в левое положение – «**переменный ток**».

### Примечание:

- **включение и выключение** генератора при этом производится **красной кнопкой «POWER»** в левой нижней части панели генератора;
- **кнопку «MODE» не использовать (не трогать)!**

Управление параметрами выходного напряжения функционального генератора осуществляется с помощью **кнопок различного назначения, расположенных в нижней части передней панели генератора.**

**Установить** нужную частоту (**f**) и амплитуду выходного сигнала (величину напряжения  $U_{nep}$ ) генератора согласно указанию преподавателя.

При этом: в **ходе настройки** параметров генератора, в нижней строке дисплея генератора имеется **курсор в форме мигающего сплошного прямоугольника**, положение которого указывает на редактируемый в данный момент символ.

Для установки **нужной выходной частоты** генератора, сначала последовательным нажатием **кнопки «CURSOR»** подведите **мигающий сплошной прямоугольный курсор** к нужной позиции. Затем **кнопками «+» и «-»** установите нужную цифру в позиции **мигающего курсора.**

Установив необходимое значение частоты генератора, можно подать выходное напряжение генератора на контактные пластины для проведения экспериментов. Для этого следует нажать на кнопку **«RUN/STOP»** в правой нижней части панели генератора - при этом **курсор** исчезает, свидетельствуя о переходе генератора в режим выдачи установленного переменного  $U_{nep}$ .

**Регулировка** величины выходного напряжения генератора осуществляется поворотом **чёрной ручки «изменение напряжения»** (в нижней части правого торца корпуса генератора). При этом величина выходного напряжения генератора отображается на цифровом **вольтметре** переменного тока на передней панели стенда. При изменении частоты от **1кГц** до **20кГц** напряжение не должно быть выше **1В.**

**2.3.3. Поместить обе ладони** на малую пару электрических контактов (**площадь контактной поверхности 1250мм<sup>2</sup>**), на которые (по заданию к работе или указанию преподавателя) выводится установленное постоянное напряжение. Обе ладони прижимать к контактам со средним усилием в течение 10 сек. По показаниям цифрового **амперметра** переменного тока определите **силу тока**, протекающего через ваше тело, включая обе руки.

**При изменении частоты руки с электродов надо снимать!**

Затем провести аналогичные действия с большими контактами (**площадь контактной поверхности 2800мм<sup>2</sup>**).

Частоту переменного тока генератора в дальнейшем необходимо изменять согласно бланку задания. Для этого следует снова войти в режим настройки генератора, для чего следует повторно нажать **кнопку «RUN/STOP».**

**2.3.4. Провести** измерения тока через человека для остальных

участников лабораторной работы на установленной преподавателем частоте (**f**) и напряжении (**U**) - при прикосновении рук к большим контактам. Данные всех экспериментов и последующих расчетов занести в таблицы бланка.

### 2.3.5. Обработка экспериментальных данных ЛР № 9б

1. Рассчитайте сопротивление тела человека (кОм) по формуле  $z_h = U/I_h$  и заполните таблицу бланка отчета

а)  $z_h = \varphi(f)$  при  $S$ ;

б)  $z_h = \varphi(f)$  при  $S'$ . Частота по оси абсцисс на бланке отчета отложена в логарифмическом масштабе.

2. Определите внутреннее сопротивление  $r_B$ . Оно равно значению  $z_h$  при  $f = 20\text{кГц}$ .

3. Рассчитайте активное сопротивление наружного слоя кожи  $r_H$  по формуле (9.1).

4. На частоте, указанной в задании, определите из выражения (9.2) полное сопротивление наружного слоя кожи  $Z_H$ .

5. Рассчитайте по формуле (9.3), или упрощенной формуле (9.4) при  $r_H \gg Z_H$ , величину емкости  $C_H$  наружного слоя кожи для электродов  $S$  и  $S'$ .

6. Рассчитайте емкостное сопротивление  $x_C$  по формуле

$$X_C = 1/\omega C = 1/2\pi fC$$

7. Результаты расчета основных параметров электрической схемы замещения тела человека для заданной частоты внесите в таблицу бланка отчета.

8. Начертите полную электрическую схему замещения сопротивления тела человека для условий проведенного эксперимента и укажите на ней для максимальной площади электродов численные значения основных параметров:  $r_H$ ,  $r_B$ ,  $x_C$ .

9. Постройте графики  $I_h = \varphi(f)$  при условии постоянства выходного напряжения генератора. Графики постройте на сетке  $I_h = \varphi(\lg f)$  бланка отчета, для чего на оси ординат (слева) выберите масштаб для  $I_h$  и нанесите численные значения  $I_h$ . Из анализа графиков  $I_h = \varphi(f)$  сделайте вывод об изменении значений тока в зависимости от частоты (наносить на график значение тока и сопротивления при  $f = 0$  не нужно).

10. По результатам опыта укажите факторы, которые влияют на условия поражения электрическим током. Перечислите, какие еще факторы определяют исход поражения током. Для получения зачета по работе необходимо изучить теоретические основы занятия, заполнить бланк зачета, знать порядок проведения практической части работы и быть готовым ответить на контрольные вопросы преподавателя.

## Расчетное задание лабораторной работы

**При невозможности провести измерения** следует провести расчет зависимостей  $I_h(f)$  и  $R_h(f)$  согласно варианту задания (табл.9.1), используя соотношения для  $r_H$ ,  $C_H$ , приведенные в общей части описания, а также формулу для сопротивления человека на различных частотах  $z_h$

$$z_h = \sqrt{\frac{4r_H(r_H + r_B)}{1 + (\omega C_H r_H)^2} + r_B^2}.$$

Частота  $f$  для расчета: 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000 и 10000 Гц.

По полученным данным построить графики  $I_h(f)$  и  $R_h(f)$ .

Таблица 9.1.

### Варианты задания на лабораторную работу

№ варианта	$Z_0$ , кОм	$f$ , кГц	$Z_h=Z_f$ , кОм	Сопротивление человека $Z_h$ при $f=100$ кГц	Напряжение генератора, В
1	30	1,0	2,5	0,8	3,0
2	40	1,1	2,4	0,75	3,2
3	50	1,2	2,3	0,7	3,4
4	60	1,3	2,2	0,65	3,6
5	70	1,5	2,0	0,6	3,8

### Вопросы для самоконтроля.

1. Укажите значения пороговых ощутимых, неотпускающих и безопасных токов.
2. Что такое фибрилляционный ток?
3. В каком интервале значений возникают фибрилляционные токи при частоте 50 Гц?
4. В чем опасность фибрилляционных токов?
5. Какие факторы влияют на величину электрического сопротивления тела человека?
6. Укажите численные значения внутреннего сопротивления тела человека. От чего оно зависит?
7. К чему стремится сопротивление тела человека (по эквивалентной схеме замещения) при частоте  $f \rightarrow 0$ ?
8. К чему стремится сопротивление тела человека (по эквивалентной схеме замещения) при частоте  $f \rightarrow \infty$ ?
9. Каково значение сопротивления тела человека при нормальных климатических условиях и отсутствии приложенного напряжения?
10. Каково расчетное значение сопротивления тела человека в аварийных ситуациях, когда  $U_{np} \geq 100$  В?

11. От чего зависит степень тяжести электрической травмы?
12. Какое действие электрический ток оказывает на организм человека?
13. Чем реально образована ёмкость, приведенная на эквивалентной схеме замещения, и от чего зависит её величина?
14. Какие группы и виды электротравм вы знаете?

## **Работа № 10**

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНЫХ МЕР В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ**

**Цель работы:** изучить принцип действия и эффективность применения защитного заземления и защитного зануления в электроустановках, получить навыки расчёта параметров заземляющих устройств, а также научиться проводить приборное измерение характеристик защитного заземления и удельного сопротивления грунта при эксплуатации электроустановок (ЭУ).

### **1. Теоретическая часть**

#### **1.1.Основные защитные меры в электроустановках**

В процессе эксплуатации ЭУ происходит старение изоляции. Поэтому, возможно ее повреждение, что может привести к появлению напряжения на металлических нетоковедущих (сторонних проводящих) частях электрооборудования, называемое замыканием на корпус. Подобная ситуация может возникнуть при неисправной электроустановке или ошибочных действиях персонала.

Для защиты людей от поражения электрическим током при замыкании на корпус применяются следующие защитные меры: защитное заземление, защитное зануление, устройства защитного отключения, разделение электрических сетей, применение малых напряжений, использование двойной изоляции, блокировку, выравнивание и уравнивание потенциалов. При выполнении лабораторной работы рассматриваются первые две защитные меры.

#### **1.2. Защитное заземление**

**Защитным заземлением** называется преднамеренное электрическое соединение нетоковедущих частей ЭУ, оказавшихся под напряжением, с заземляющим устройством.

Защитное заземление представляет совокупность заземлителей-проводников, соединённых между собой и находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и проводников, соединяющих заземляемые части ЭУ с заземлителями.

**Рабочее (функциональное) заземление** - заземление точки или точек токоведущих частей ЭУ, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях электробезопасности).

**Назначение защитного заземления** - снижение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электроустановки, оказавшихся под напряжением.

**Принцип действия защитного заземления** - снижение напряжения

между частями ЭУ, оказавшихся под напряжением, и землей (напряжения прикосновения или шага - напряжение между ногами человека на расстоянии шага (1м)) до безопасного значения.

**Область применения защитного заземления:**

- при напряжении до 1000В - трехфазные трехпроводные сети с изолированной нейтралью и однофазные двухпроводные, изолированные от земли;
- при напряжениях выше 1000В - трехфазные сети с любым режимом нейтрали.

**Заземлителем** называется проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду. Заземлители могут быть выполнены в виде стальных труб, уголковой стали, прутковой стали и т.д.

Следует различать естественные и искусственные заземлители.

**Естественные заземлители** - электропроводящие части коммуникаций и сооружений производственного или иного назначения, используемые для целей заземления. Находящиеся в соприкосновении с землёй, например, проложенные в землю водопроводные и другие металлические трубы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей, взрывоопасных газов); обсадные трубы артезианских колодцев, скважин, металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений. Имеющие соединение с землёй, свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле, и т.п.

**Искусственные заземлители** - металлические электроды, помещённые в землю. В качестве искусственных заземлителей применяются трубы, уголки, стержни, полосы, а также стальные листы.

В зависимости от места размещения заземления относительно заземляемого оборудования различают два типа защитного заземления: *выносное* (в один ряд) и *контурное*.

*Выносное* защитное заземление характеризуется тем, что его заземлители вынесены за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование (рис.10.1,а).

*Контурное* защитное заземление – характеризуется тем, что его заземлители размещаются по контуру площадки, на которой находится заземляемое оборудование (рис.10.1,б). Контурные заземляющие устройства являются более эффективными с точки зрения электробезопасности, так как за счет выравнивания потенциала на защищаемой территории снижается напряжение прикосновения.

В целях уменьшения сопротивления заземления защитное заземление выполняют из ряда одиночных заземлителей, объединённых в один контур заземления.

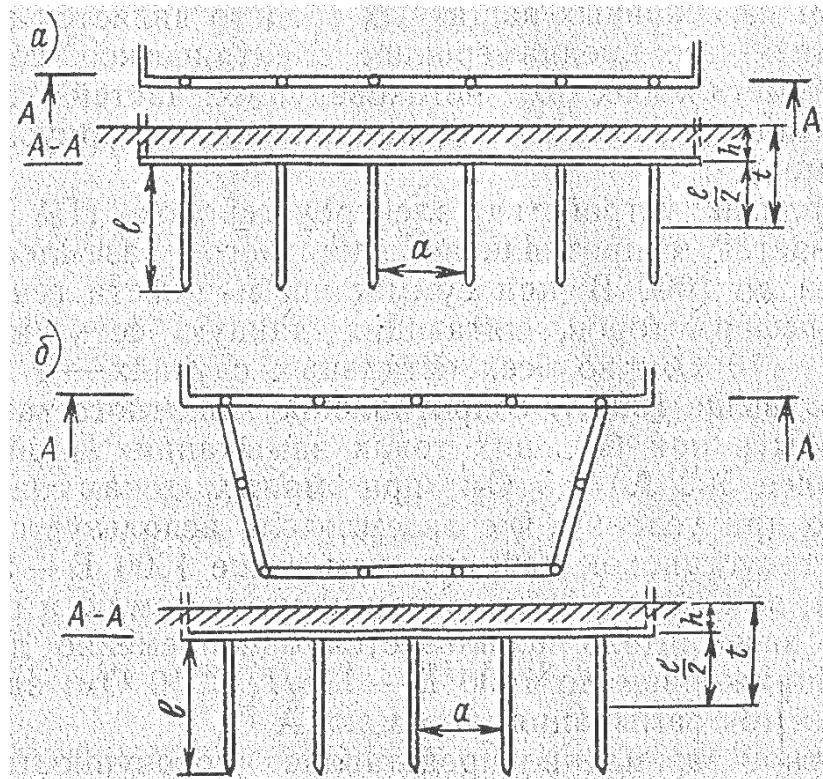


Рис.10.1. Виды защитного заземления.

Коэффициент использования заземлителей  $\eta_{\text{TP}}$ , расположенных в однородном грунте, зависит от типа одиночных заземлителей, их геометрических размеров и взаимного расположения в грунте. В заземляющем устройстве, состоящем из ряда стержневых заземлителей, соединённых полосой, условия растекания в грунте тока замыкания, стекающего с полосы, отличаются от условий растекания тока со свободно уложенной полосы. Поэтому в расчёт сопротивления соединительной полосы вводят коэффициент использования полосы  $\eta_p$ , величина которого зависит от числа стержневых заземлителей, их размеров и взаимного расположения.

Сопротивление защитного заземления зависит от удельного сопротивления грунта, климатических условий, размеров, числа и размещения одиночных заземлителей в грунте.

Удельным сопротивлением грунта называется электрическое сопротивление, оказываемое грунтом объёмом  $1\text{m}^2$  при прохождении тока от одной грани куба грунта к противоположной. Удельное сопротивление грунта зависит от характера и строения грунта, температуры и содержания в нём влаги и солей. Поэтому в расчёт сопротивления одиночных заземлителей всегда вводят коэффициент сезонности  $\varphi$ .

Для уменьшения влияния времени года на сопротивление заземления, а также для повышения безопасности эксплуатации

защитного заземления, заземлители стационарных электроустановок, как правило, располагают в грунте на глубине не менее 0,5м.

### 1.3.Защитное заземление в электрических сетях, изолированных от земли (система заземления IT)

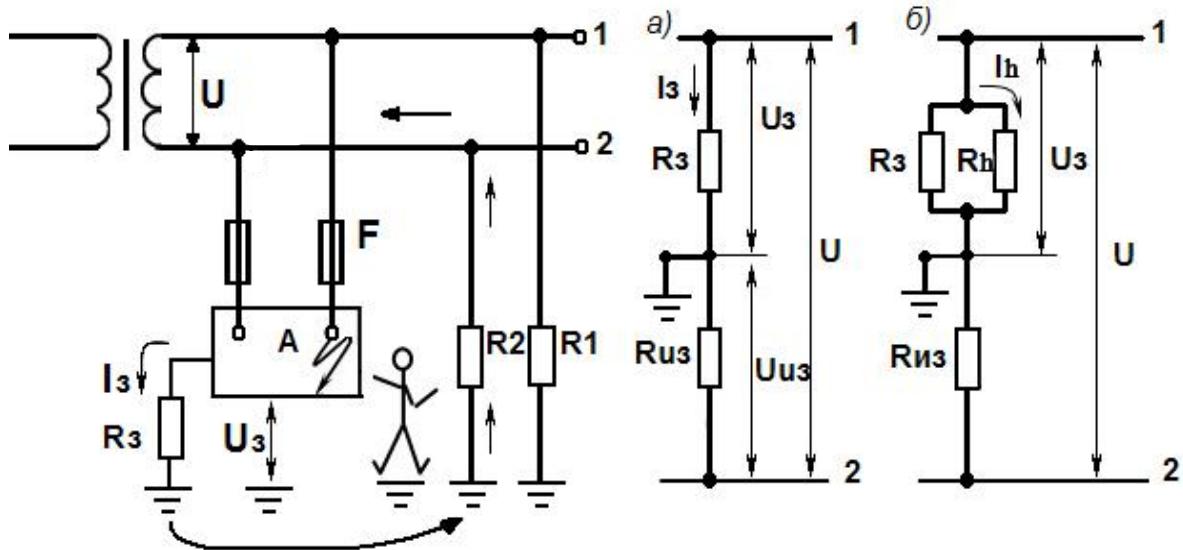


Рис.10.2. Принцип действия защитного заземления.

Принцип действия защитного заземления рассмотрим на примере однофазной сети с изолированным выводом источника питания (рис.10.2).

При замыкании провода 1 на корпус электроустановки, через заземляющее устройство с сопротивлением  $R_3$  и изоляцию провода 2 с сопротивлением  $R_2$  потечет ток замыкания  $I_3$  (буквой F обозначены предохранители).

Для упрощения расчетов примем следующие допущения:

- 1) ток утечки между сопротивлениями изоляции  $R_1$  и  $R_2$  равен нулю;
- 2)  $R_1 = R_2 = R_{u3}$ ;      3)  $R_{ЗЕМЛИ} = R_{ОБУВИ} = R_{ПОЛА} = R_{СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ} = 0$ ;

Тогда согласно схеме замещения (рис.10.2,а)  $I_3 = \frac{U}{R_{u3} + R_3}$ .

Поскольку напряжение источника  $U = U_3 + U_{u3}$ , то напряжение, под которым окажется корпус заземленной электроустановки относительно земли, будет равно

$$U_3 = U - U_{u3} = U - I_3 R_{u3} = U - \frac{U R_{u3}}{R_{u3} + R_3},$$

$$\text{или } U_3 = U \left( 1 - \frac{R_{u3}}{R_{u3} + R_3} \right) \quad (10.1)$$

Из выражения (10.1) видно, что напряжение замыкания на корпус  $U_3$  будет тем меньше, чем меньше сопротивление заземляющего устройства  $R_3$  по сравнению с сопротивлением изоляции  $R_{u3}$ , т.е. когда  $\frac{R_{u3}}{R_{u3} + R_3} \rightarrow 1$ ,  $U_3 \rightarrow 0$

Если человек прикоснется к корпусу неисправной электроустановки,

то он подключается (рис.10.1,б) параллельно сопротивлению  $R_3$ , и ток, протекающий через него, будет примерно равен

$$I_h = \frac{U_3}{R_h} = \frac{U}{R_h} \left( 1 - \frac{R_{HZ}}{R_{HZ} + R_3} \right) = \frac{U \cdot R_3}{R_h \cdot (R_{HZ} + R_3)} . \quad (10.2)$$

Выражение (10.2) показывает, что даже при неблагоприятных для эксплуатации значениях  $R_{HZ}$  и при соблюдении требований к величине  $R_3$  защитное заземление свою защитную роль выполнит.

Пример: Пусть  $U = 220\text{В}$ ,  $R_3 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_{HZ} = 100000\text{Ом}$ .

Тогда:  $U_3 = 220 \left( \frac{4}{100000 + 4} \right) \approx 220 \cdot 0,00004 = 0,0088 \text{ В}$

$$I_h = \frac{U_3}{R_h} = \frac{0,0088}{1000} = 0,0088 \text{ mA}$$

**Вывод.** Защитное заземление является эффективной мерой защиты человека от поражения током при замыкании на корпус ЭУ, питающейся от электрической сети, изолированной от земли (система заземления IT).

На рис.10.3 представлена трёхфазная трёхпроводная сеть, от которой питается ЭУ А с защитным заземлением корпуса.

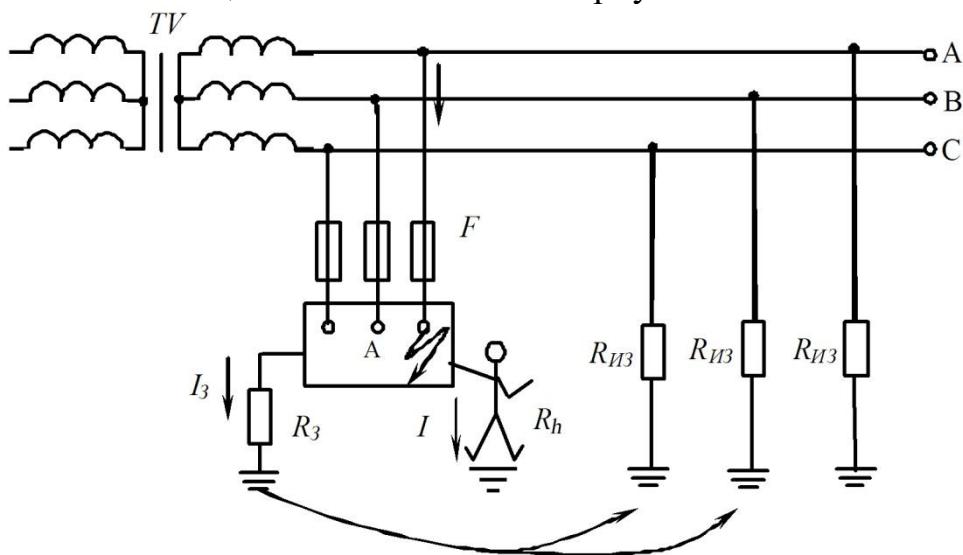


Рис.10.3. Защитное заземление в трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью.

**Вывод** об опасности поражения электрическим током, сделанный выше для однофазной сети, справедлив и для трёхфазной.

#### 1.4. Защитное заземление в заземленных электрических сетях (система заземления TN)

Проведем анализ эффективности защитного заземления на примере трехфазной электрической сети напряжением до 1000В с глухо заземленной нейтралью (рис.10.4).

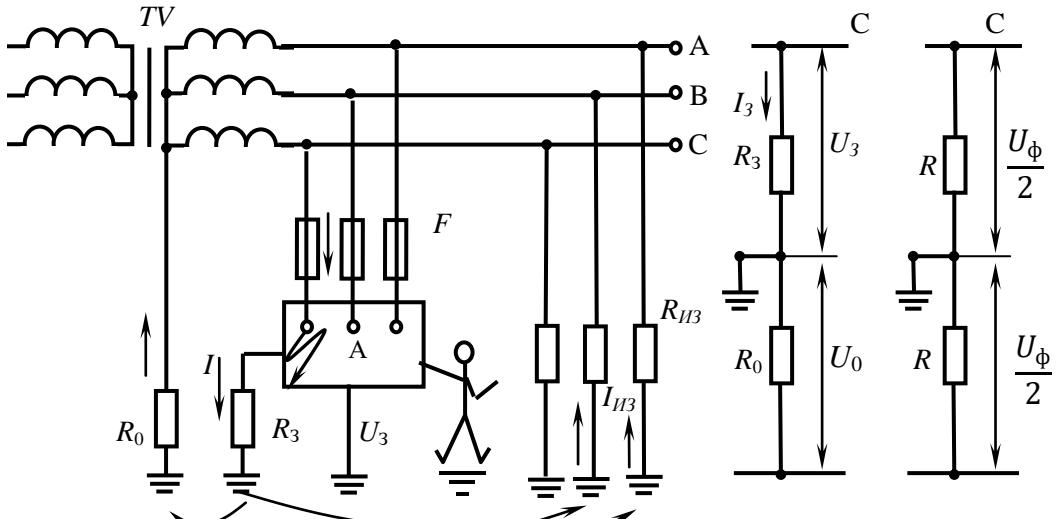


Рис.10.4. Защитное заземление в заземленной электрической сети.

Поскольку на практике сопротивление изоляции  $R_{H3}$  составляет десятки и сотни тысяч Ом, а сопротивление рабочего заземления вторичной обмотки трансформатора - единицы Ом, то величиной тока, протекающего через  $R_{H3}$ , пренебрежем.

Тогда согласно схеме замещения (см. рис. 3)  $R_3 = R_0$ , то

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_3 + R_0} \quad U_3 = U_\phi \frac{R_3}{R_3 + R_0}$$

Таким образом, корпус заземленной ЭУ может оказаться под напряжением относительно земли, равном примерно половине фазного напряжения сети.

Если человек коснется корпуса ЭУ, то он подключится параллельно сопротивлению  $R_3$  и  $I_h = \frac{U_\phi}{2R_h}$ .

При  $U_\phi = 220$  В,  $I_h = \frac{220}{2 \cdot 1000} = 0,11$  А, что представляет смертельную опасность для человека.

**Вывод.** Защитное заземление в заземленных электрических сетях до 1000 В неэффективно.

Вот почему Правила устройства электроустановок (ПУЭ) не рекомендуют использовать защитное заземление в данных сетях в качестве единственной меры защиты. Оно может использоваться только как дополнение к занулению или другим видам защиты.

При напряжении свыше 1000 В ток замыкания существенно увеличивается, что позволяет использовать устройства максимальной токовой защиты для отключения аварийного участка сети от ЭУ.

Из рассмотренного принципа действия защитного заземления следует, что чем меньше сопротивление защитного заземления или заземляющего устройства, тем меньший ток протекает через тело человека.

**Сопротивлением заземляющего устройства** называется отношение напряжения на нем к току, стекающему с заземлителя. В зависимости от режима нейтрали сети, от которой питается ЭУ, оно будет различным.

Необходимо отметить, что согласно ПУЭ, величина сопротивления заземляющего устройства, при полной мощности ЭУ в 100кВА и более и напряжении до 1кВ, не может быть больше 4Ом. А при меньших мощностях не может превышать 10Ом. Если напряжение выше 1кВ, то допустимая величина сопротивления заземляющего устройства зависит от тока замыкания. И при токе более 500A  $R_3 \leq 0,5\text{Ом}$ , а при меньших токах  $R_3 \leq \frac{250}{I_3}$  Ом, но не больше, чем при U до 1кВ.

### 1.5.Защитное зануление

**Защитным занулением** называется преднамеренное электрическое соединение частей ЭУ, на которых может оказаться напряжение, с нулевым проводником.

**Область применения защитного зануления** – трехфазные четырехпроводные (пятипроводные) сети с заземленной нейтралью при напряжениях до 1000В. Как было рассмотрено выше, защитное заземление в таких сетях не выполняет защитную роль. И поэтому для защиты человека в аварийных ситуациях в таких сетях согласно ПУЭ следует применять защитное зануление.

**Назначение зануления** - устранение опасности поражения электрическим током при прикосновении к корпусу и другим металлическим ЭУ, оказавшимся под U вследствие замыкания на корпус.

**Принцип действия зануления** (рис.10.5) основан на превращении замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание (КЗ) между фазным и нулевым защитным проводником (РЕ).

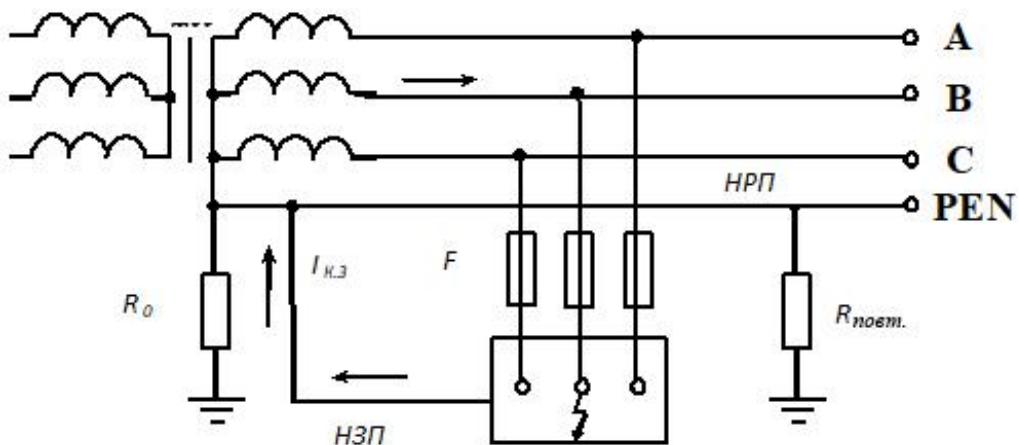


Рис.10.5. Схема защитного зануления.

При данном КЗ протекает большой ток короткого замыкания (по цепи фаза – корпус – нулевой провод – фаза), обеспечивающий срабатывание защиты (автоматов, предохранителей и т.п.), автоматически отключающей поврежденную установку от питающей сети.

Для обеспечения надежного отключения необходимо, чтобы ток короткого замыкания (КЗ) превышал номинальный ток плавкой вставки или отключающего автомата.

Однако, при такой схеме зануления на PEN-проводнике относительно «земли» всегда присутствует потенциал, так как PEN-проводник используется как нулевой рабочий, так и нулевой защитный. Кроме того, поскольку согласно «Правил устройства установок» максимальное время отключения установки при напряжении 220В составляет величину 0,4 сек., то в это время корпус ЭУ находится под высоким напряжением (порядка 150В). Также, возможен обрыв нулевого проводника, что нарушает работу зануления. Для обеспечения электробезопасности в этих случаях дополнительно заземляют нулевой проводник с помощью повторных сопротивлений величиной порядка величины  $R_0$ .

**Заключение:** защитное заземление и защитное зануление не обеспечивают безопасности человека в случае его прикосновения к токоведущим частям ЭУ или к фазному проводу. Иногда, например, в условиях низких температур снижается защитная роль этих мер. В таких случаях применяют устройства защитного отключения (УЗО) как основную или дополнительную защитную меру.

## **2. Практическая часть лабораторной работы № 10 (в ауд. 104 ГК1)**

### **2.1. Описание лабораторной работы № 10 (в ауд. 104 ГК1)**

Для расчета заземляющего устройства необходимо провести измерение сопротивления растеканию тока с заземлителей. В лаборатории имеется лабораторная установка (ЛУ) с разными приборами для выполнения данной работы. Принцип действия приборов одинаков, хотя и есть внешние конструктивные отличия.

### **2.2. Условия проведения лабораторной работы № 10 (ауд. 104 ГК1)**

В лабораторной установке для выполнения задания применяется **измеритель заземления М-416 (Ф4103)** - широко распространенный на практике. Он предназначен для измерения сопротивления заземляющих устройств и для определения удельного сопротивления грунта. Измеритель сопротивления М-416 имеет четыре зажима и несколько диапазонов измерения, что позволяет измерять сопротивления от 0,1Ом до 1000Ом. Принцип действия основан на компенсационном методе с применением вспомогательного заземлителя и потенциального электрода (зонда).

### **2.3. Порядок проведения лабораторной работы № 10 (ауд. 104 ГК1)**

#### **2.3.1. Определение удельного сопротивления грунта**

а) Получите задание от преподавателя. На стенде лабораторной установки переключатель «**Выбор варианта задания**» установите на номер варианта, указанного преподавателем. В соответствии с вариантом задания впишите в первую таблицу отчета исходные данные для расчёта

удельного сопротивления грунта (табл.10.1).

Таблица 10.1

**Исходные данные для расчётов в ходе проведения работы на ЛУ**

Данные для расчёта удельного сопротивления грунта (1-м способом)												
Номера заданий	-	X	2	3	4	5	6	7	8	9	X	
Глубина забивки трубы	$l_l$ , см		150	160	175	125	180	200	130	120		
Диаметр трубы	$dl$ , см		6	6,4	7	5	7,2	8	5,2	4,8		
Климатический коэффициент	$\varphi$		$\varphi_2$	$\varphi_1$	$\varphi_1$	$\varphi_3$	$\varphi_2$	$\varphi_2$	$\varphi_1$	$\varphi_3$		
Данные для расчёта защитного заземления												
Необходимое сопротивление заземляющего устройства	$R_{\text{ДОП}}$ , Ом	$\leq 4$ для всех заданий										
Форма заземления	-	по контуру		в ряд		по контуру		в ряд		по контуру		
Длина заземлителя	$l$ , см	240	200	250	260	270	280	290	300	260	540	400
Диаметр заземлителя	$d$ , см	4,8	4	5	7,2	5,4	5,6	5,8	6	5,2	5,6	5
Глубина заложения	$h$ , см	89	100	75	70	65	60	55	50	100	70	90
Расстояние между заземлителями	$al$ , см	480	400	500	520	520	540	560	580	600	400	500
Ширина полосы	$b$ , см	4	4	5	5	5	6	6	6	4	5	4

Проверьте работоспособность прибора М-416. Для этого необходимо установить переключатель в положение «КОНТРОЛЬ 5ом» (крайнее левое), нажать и удерживать красную кнопку (слева) и ручкой «РЕОХОРД» установить стрелку прибора по центру (0), при этом показание шкалы прибора должно быть  $5 \pm 0,35$  Ом.

б) Соберите схемы согласно рис.10.6 и измерьте сопротивление грунта  $R_I$  (грунта), а также  $R_{cm}$ (станка),  $R_3$ (зонда),  $R_{всп}$ (вспомогательного заземлителя).

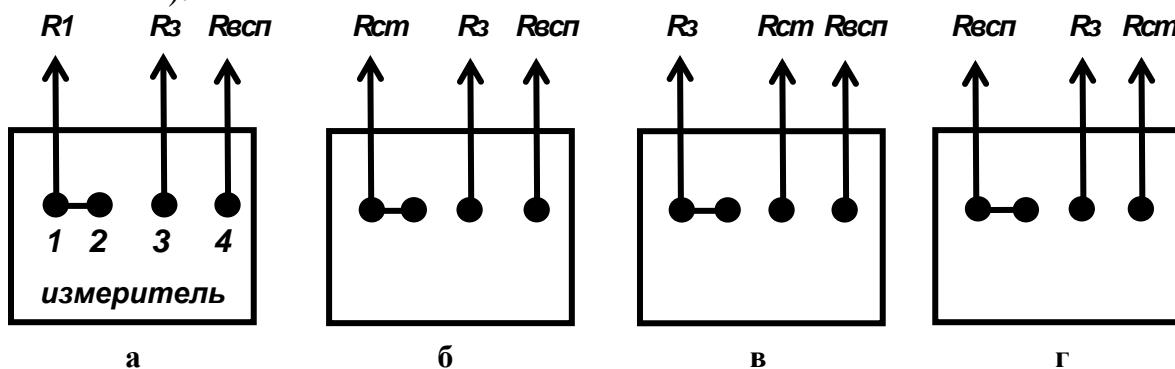


Рис.10.6. Схемы подключения прибора М-416 для измерения сопротивления:  
а) грунта; б) станка; в) зонда; г) вспомогательного заземлителя

*Примечание.* Цифрами 1,2,3, 4 обозначены номера контактов с проводами.

Для проведения измерений необходимо:

- установить переключатель прибора в положение «x1» или «x5» (в зависимости от предполагаемого значения сопротивления заземления);

- нажать красную кнопку прибора и, одновременно поворачивая ручку «РЕОХОРД», добиться положения стрелки прибора по центру (0). Если на этом диапазоне измерение произвести невозможно ( $R_1$  - больше 10Ом, стрелка индикатора зашкаливает), перейти на следующий диапазон: «x5», «x20», «x100». Повторить измерение и результат считывания со шкалой реохорда умножить на множитель (5,20,100);

- измеряемое сопротивление определяется по показанию на шкале реохорда, умноженному на коэффициент, установленный положением переключателя;

б) Полученные результаты измерений  $R_1$ ,  $R_{cm}$ ,  $R_3$ ,  $R_{scn}$  внесите в таблицу бланка отчета;

г) По данным опыта рассчитайте удельное сопротивление грунта

$$\rho_{izm} = \frac{2\pi l_1 R_1}{\ln \frac{4l_1}{d_1}} = 2.73 \frac{l_1 R_1}{\lg \frac{4l_1}{d_1}} \text{ Ом}^* \text{см}, \quad (10.3)$$

где  $R_1$  - сопротивление, измеренное прибором М-416 (М 1103);

$l_1$  - глубина забивки трубы, см;  $d_1$  - диаметр трубы, см.

### 2.3.2. Расчет заземляющего устройства.

а) По величине  $P_{izm}$  определите вид грунта и значение климатического коэффициента  $\varphi$  из табл.10.2 (по пределу колебаний) и табл.10.3. В дальнейшем для расчёта защитного заземления используйте Данные из таблицы со стенда (по указанному варианту задания).

Таблица 10.2

#### Удельное сопротивление грунта

Характер грунта	Удельное сопротивление, $\text{Ом} \cdot \text{см} \cdot 10^4$	
	При влажности 10 - 20% к весу почвы для предварительных расчетов	Предел колебаний
Песок	7	4 - 7
Каменистый грунт	-	1,5 - 4
Супесь	3	1,5 - 4
Лес	2,5	1 - 3
Суглинок	1	0,4 - 1,5
Глина	0,4	0,08 - 0,7
Садовая земля	0,4	0,2 - 0,6
Торф	0,2	0,1 - 0,3
Речная вода	0,5	0,1 - 0,8
Морская вода	0,01	0,002 - 0,01

Таблица 10.3

**Величины климатических коэффициентов в зависимости от вида грунта и глубины заложения заземлителей**

Характер грунта	Глубина заложения $h$ , м	Климатический коэффициент		
		$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$
Суглинок	0,5 – 0,8	3,0	2,0	1,5
Суглинок	0,8 - 3,8	2,0	1,5	1,4
Садовая земля до глубины 0,6м, ниже - слой глины	0 - 3	-	1,32	1,2
Гравий с примесью глины, ниже - глина	0 - 2	1,8	1,2	1,1
Известняк	0 - 2	2,5	1,51	1,2
Гравий с примесью песка	0 - 2	1,5	1,3	1,2
Торф	0 - 2	1,4	1,1	1,0
Песок	0 - 2	2,4	1,56	1,2
Глина	0 - 2	2,4	1,36	1,2

*Примечание.*  $\varphi_1$  - если измерения сопротивления грунта выполнялись при большой влажности грунта;  $\varphi_2$  - если измерения производились при средней влажности;  $\varphi_3$  - если измерения осуществлялись при сухом грунте.

**б) Определите** значение расчетного удельного сопротивления грунта, «Ом\*см» из выражения  $\rho_{PAC\gamma} = \rho_{изм} \cdot \phi$ .

**в) Рассчитайте** сопротивление растеканию тока одиночного трубчатого заземлителя  $R_{TP}$ , Ом, забитого на некоторую глубину  $h$  от поверхности земли, по формуле

$$R_{TP} = \frac{\rho_{PAC}}{2\pi \cdot l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) = 0,366 \frac{\rho_{PAC}}{l} \left( \lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) \quad (10.4)$$

где  $\rho_{PAC\gamma}$  - расчетное удельное сопротивление грунта, Ом см;

$l$  - длина трубы, см;  $d$  - диаметр трубы, см;

$t$  - расстояние от поверхности земли до середины заземлителя,  $t = h + \frac{1}{2}l$ , см.

**г) Определите** приближенное число заземлителей:  $n_{приб} = R_{TP} / R_{доп}$ .

где  $R_{доп}$  - допустимое сопротивление защитного заземления, Ом (для фазного напряжения 220В  $R_{доп} = 4$ Ом).

При получении нецелого числа округлите в большую сторону.

**д) По** приближенному числу заземлителей **определите** из графиков рис.10.7 и рис.10.8 коэффициент использования заземлителей  $\eta_{TP}$  в зависимости от отношения  $a / l$ ;

**е) Определите** число заземлителей с учетом  $\eta_{TP}$ , округлив его в большую сторону:  $n = n_{приб} / \eta_{TP}$

**ж) Определите** длину полосы  $L$ , соединяющей заземлители, при расположении заземлителей по контуру, по формуле  $L=1,05 an$  и при расположении заземлителей в ряд по формуле  $L=1,05 a(n-1)$ ,

где  $a$  - расстояние между заземлителями, см;  $n$  - число заземлителей.

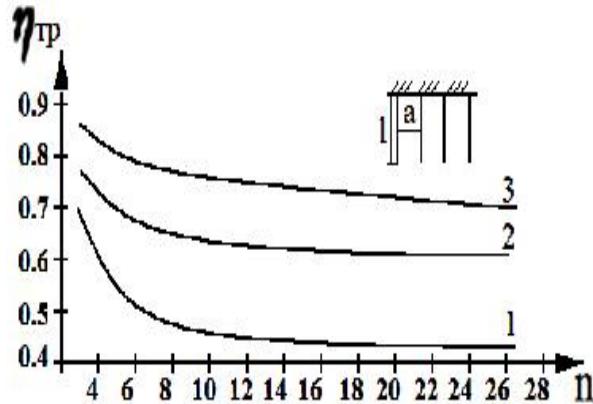


Рис. 10.7. График для определения коэффициента использования  $\eta_{tp}$ , заземлителей из труб (уголков), размещенных по контуру, без учета влияния полосы связи.

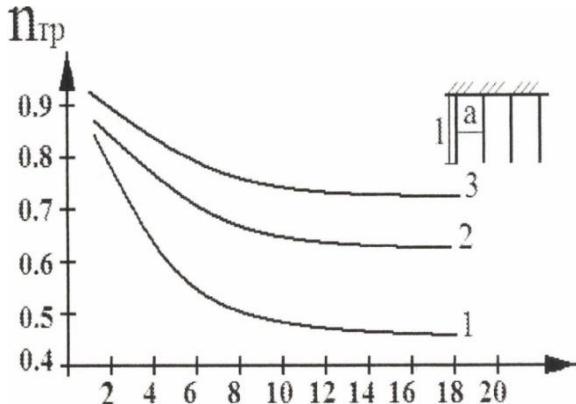


Рис. 10.8. График для определения коэффициента использования  $\eta_{tp}$ , заземлителей из труб (уголков), размещенных в ряд без учета влияния полосы связи.

3) **Определите** сопротивление заданную глубину  $h$  от поверхности земли:

$$R_p = \frac{\rho_{PAC}}{2\pi L} \ln \frac{2L^2}{bh} = 0,366 \frac{\rho_{PAC}}{L} \lg \frac{2L^2}{bh}, \text{ Ом,} \quad (10.5)$$

где  $L$  - длина полосы, см;  $b$  - ширина полосы, см;

$h$  - глубина заложения, см.

и) **Определите** общее сопротивление заземляющего устройства по формуле  $R_{общ} = \frac{R_{tp} R_p}{n R_p \eta_{tp} + R_{tp} \eta_p}$ , Ом, (10.6)

где  $\eta_p(n)$  - коэффициент использования полосы при различных отношениях  $a/l$  (определите по графикам рис.10.9 и рис.10.10).

Обязательным остается условие  $R_{общ} < R_{don}$ .

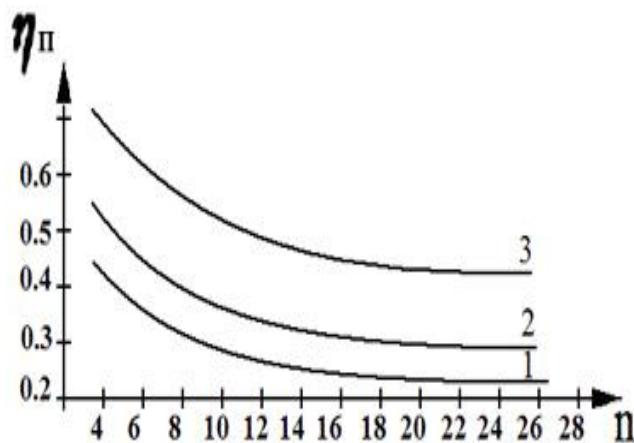


Рис. 10.9. График для определения коэффициента использования  $\eta_p$  соединительной полосы в контуре из труб (уголков).

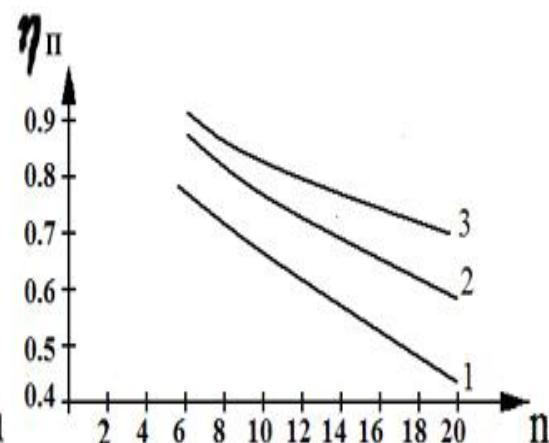


Рис. 10.10. График для определения коэффициента использования  $\eta_p$  соединительной полосы в ряду труб (уголков) к магистрали заземления здания.

к) Расчетные данные внесите в таблицу бланка отчета и обоснуйте применение заземляющих устройств различной конфигурации.

## 2. Практическая часть лабораторной работы № 10а (в ауд. 106 ГК1)

### 2.1. Описание лабораторной работы № 10а (ауд. 106 ГК1) «Исследование эффективности защитного заземления»

Как было сказано в теоретической части описания к лабораторной работе № 10, принципом действия защитного заземления является снижение напряжения прикосновения или шага. Лабораторная работа № 10а как раз и посвящена экспериментальному исследованию этого принципа. Для этой цели используется лабораторный стенд № 10а (рис.10.11), состоящий из отдельных, соединенных между собой электрических блоков, позволяющих на практике продемонстрировать действие защитного заземления.

Таблица 10.4

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G 1	Однофазный источник питания	218.8	~ 220В / 16А
A 1	Модель питающей электрической сети	387.1	~ 220В / 50ВА
A 2	Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1	~ 220В
A 3	Модель человека	309.1	~ 220В / 1кОм с сопротивлением обуви 1, 10, 100 кОм
A 7	Модель участка электрической сети	303.1	~ 220В / 0,5А
A 8	Модель заземлителя	390	~ 220В / 2,10,100,10000Ом
A 11	Автоматический однополюсный выключатель	359.1	~ 220В / 0,5А
P 1	Блок мультиметров	509.2.1	2 мультиметра 0...1000 В;—; 0...10 А;—; 0...20 Мом

### 2.2. Условия проведения лабораторной работы № 10а (ауд. 106 ГК1)

Перед проведением измерений необходимо ознакомиться с составом и назначением блоков, указанных на электрической схеме стенда (рис.10.11), а также в таблице 10.4.

Все проводники, обозначенные на схеме пунктиром на блоках 303.1, 390 и 388.1, должны быть отключены от стенда. Также все выключатели стенда должны быть выключены. Подключение приборов должно совпадать с электрической схемой. Так, один контакт вольтметра должен быть соединен с корпусом электроустановки, а второй через контакт амперметра соединен с общей шиной (землей). Второй контакт амперметра должен быть подключен к требуемому сопротивлению обуви.

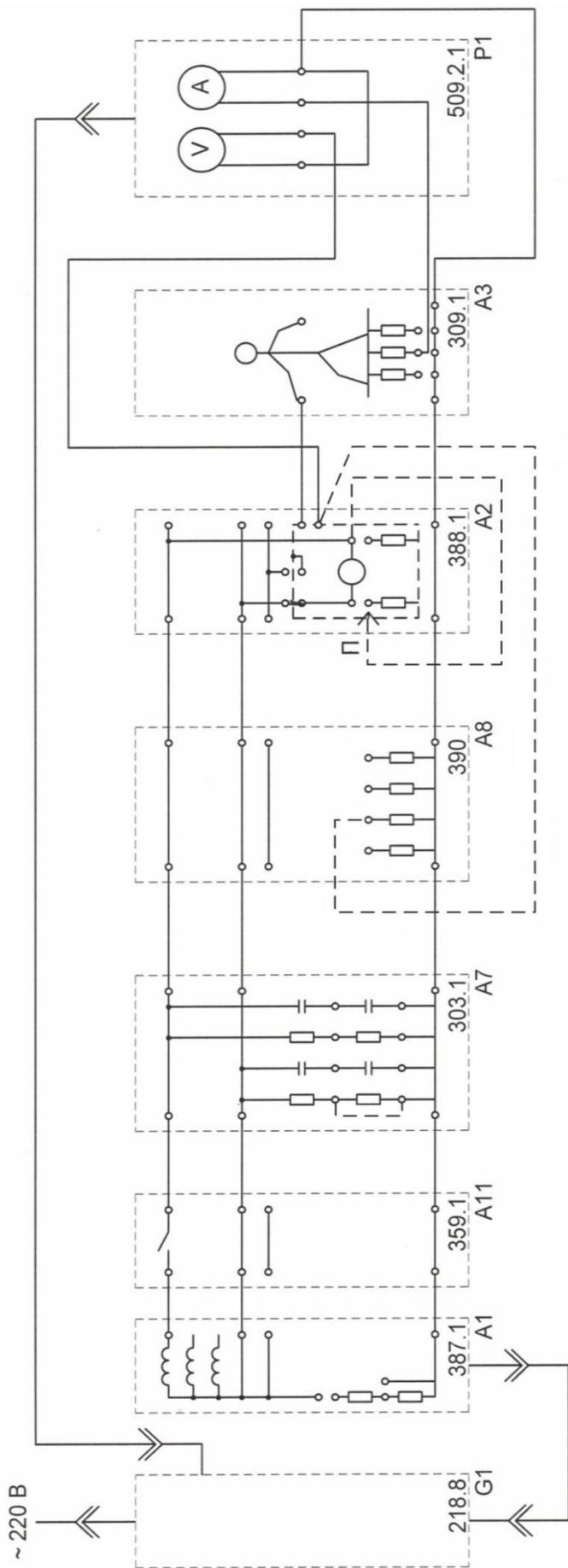


Рис. 10.11. Схема для выявления действия защитного заземления (с защитным заземлением)

Человек касается корпуса, при этом, через сопротивление обуви и подключенный амперметр он связан с землей. При нормальном режиме работы на корпусе установки напряжение отсутствует, и ток через человека равен нулю. При повреждении изоляции на корпусе установки появляется напряжение и возникает ток, протекающий по цепи: фаза - сопротивление корпуса - человек - обувь - амперметр - земля - комплексное сопротивление нулевого проводника относительно земли (сопротивление изоляции) - нулевой провод.

Необходимо отметить, что каждое задание подразумевает проведение двух экспериментов, которые отличаются величиной либо активного сопротивления изоляции нулевого провода, либо емкостного.

Согласно электрической схеме (блок 303.1 на рис.10.11) активное сопротивление изоляции нулевого провода при отсутствии короткозамыкателя равно сумме активных сопротивлений, то есть **515,1кОм** (пунктиром указаны возможное соединение элементов схем). Если сопротивление в **510кОм** зашунтировано короткозамыкателем (отрезок проводника со штекерами) и ток проходит по короткозамыкателю, а не через сопротивление, то остается только сопротивление в **5,1кОм**.

Аналогично с емкостным сопротивлением изоляции нулевого провода. При последовательно включенных емкостях номиналом **0,47мкФ** и **0,056мкФ** общая емкость составляет **0,05мкФ**. Если зашунтировать емкость номиналом **0,056мкФ** (подключить короткозамыкатель), то останется только емкость номиналом **0,47 мкФ**. Таким образом, в данном блоке можно устанавливать согласно заданию параметры комплексного сопротивления изоляции нулевого провода с помощью проводных соединений (короткозамыкателей): **515,1кОм** или **5,1кОм** по вышеприведенной схеме для активного сопротивления изоляции, и для емкостной составляющей в **0,47мкФ** (шунтируя емкость **0,056мкФ**) и **0,05мкФ**.

Величина напряжения прикосновения (напряжение между двумя точками электрической цепи, которых одновременно касается человек, т. е. только напряжение, приложенное к телу человека) определяет степень тяжести электротравмы. Его величину можно найти при измерении суммарного напряжения на человеке и обуви  $U_{h+ob}$  вольтметром (мультиметром), зная величину тока  $I_h$ . Напряжение прикосновения будет зависеть от величины тока, протекающего через человека, обувь и сопротивление изоляции нулевого провода. При подключении малого (несколько Ом) сопротивления заземляющего устройства (заземлителя) параллельно сопротивлению человека и обуви (рис.10.11 и рис.10.12а – упрощенная схема измерительной части стенда) напряжение  $U_{h+ob}$ , а следовательно и напряжение прикосновения существенно снижается, что подтверждает принцип работы защитного заземления. Для сопоставления

теоретических и экспериментальных данных необходимо провести расчет сопротивления электрической цепи, по которой протекает ток, согласно соотношению

$$|Z| = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + \frac{R_{u3}(2R_{\Sigma} + R_{u3})}{1 + (\omega CR_{u3})^2}}$$

где  $R_{\Sigma} = R_h + R_{об} + R_{корн}$  при отсутствии защитного заземления и  $R_{\Sigma} \approx R_{корн} + R_3$  при его наличии, т. е. в соотношениях 10.1 и 10.2, приведенных в теоретической части, следует заменить  $R_{u3}$  на  $|Z|$ .

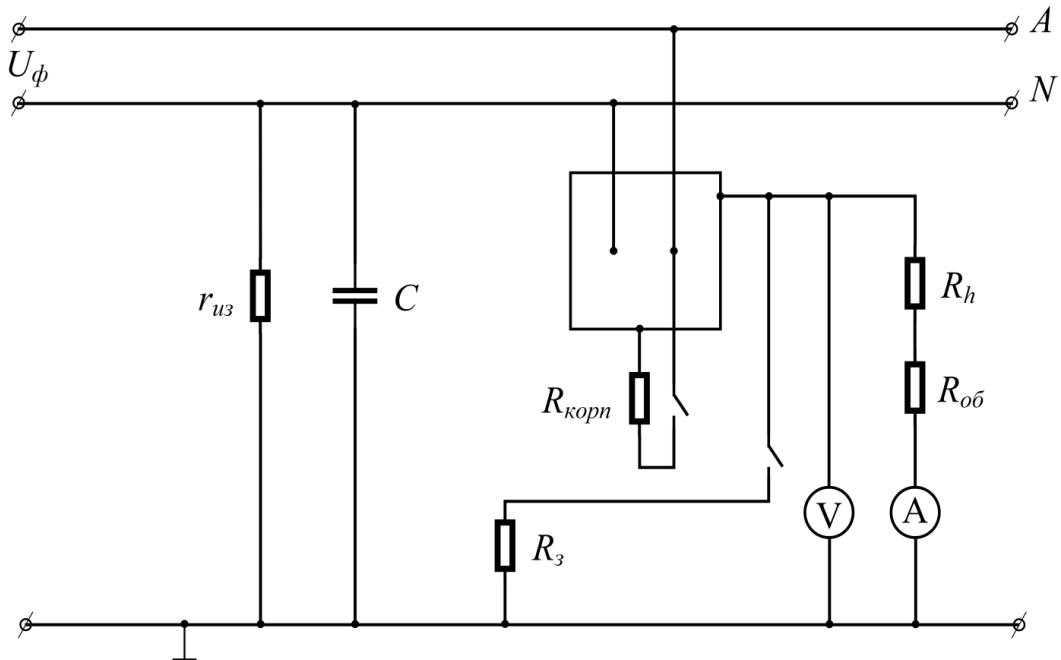


Рис. 10.12, а. Упрощенная электрическая схема стенда.

Используя полученное значение сопротивления цепи  $|Z|$ , можно на основании схемы рис. 10.12б определить теоретическое значение напряжения  $U_{h+об}$  в обоих случаях. А также величину тока через человека  $I_h$  и напряжение прикосновения. При этом, необходимо заметить, что расчётная величина тока может отличаться от экспериментального значения вследствие наличия сопротивления амперметра (оно в расчетах не учитывается), которое изменяется в зависимости от выбранного предела измерения.

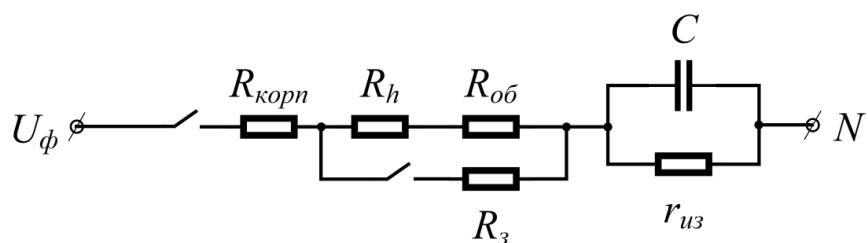


Рис. 10.12, б. Упрощенная электрическая схема для расчета напряжения прикосновения и тока через человека при отсутствии и наличии защитного заземления.

## **2.3.Порядок проведения лабораторной работы № 10а (ауд. 106 ГК1)**

### **Исследование эффективности защитного заземления в сети с изолированной нейтралью.**

**2.3.1.Убедиться**, что все отключения, указанные в п.2.1 на электрической схеме лабораторного стенда рис.10.11 выполнены, а приборы (мультиметры) подключены в соответствии с этой схемой.

**Проверить**, чтобы все выключатели стенда были выключены.

**Перед проведением первой части измерений** устанавливаем согласно заданию в табл.10.5 заданные значения: сопротивления обуви на блоке 309.1 подключением ко второму контакту амперметра, активного сопротивления изоляции и величину емкости нулевого провода на блоке 303.1. по методике, приведенной выше. Сопротивление человека в эксперименте не изменяется и равно **1кОм**.

**2.3.2.В последующем:**

**а) Включить** установку. Для этого включить автоматические выключатели с устройством защитного отключения на однофазном источнике питания (бл.218.8).

**Подать** напряжение на блок мультиметров (бл.509.2.1) выключателем «СЕТЬ». Каждый из приборов включить нажатием кнопки «POWER» (желтого цвета слева под экраном индикатора). Данные приборы позволяют измерять напряжение на суммарном сопротивлении человека и обуви  $U_{h+ob}$  и ток через человека. Приборы должны быть подсоединены к электрической сети в соответствии с указаниями п.2.1 (по схеме на рис.10.11, упрощенно - на рис.10.12а).

**Включить** выключатель «СЕТЬ» на модели питающей электрической сети (бл.387.1).

**Включить** автоматический однополюсный выключатель на блоке 359.1 для подачи питания на модель электроприемника с рабочей изоляцией (на электроустановку – бл.388.1). При этом должна загореться индикаторная лампа (красного цвета) модели электроприемника (бл.388.1.). В этом случае обеспечивается нормальный режим работы ЭУ.

Значения напряжения и тока через человека, измеряемые мультиметрами 1 (как вольтметр) и 2 (как амперметр), должны быть равны «0». При этом переключатели диапазонов измерений мультиметров на передней панели соответствующего прибора должны быть установлены в положении: вольтметр  $V = 20V$ , амперметр  $A = 20mA$ .

При дальнейшем измерении мультиметрами следует:

- устанавливать наиболее чувствительный предел (диапазон) измерений;
- при появлении на индикаторе прибора «1» изменить диапазон измерения величины тока или напряжения соответствующим переключателем в сторону больших значений диапазона измерения.

**б) Создать** аварийную ситуацию путем повреждения изоляции

электроприемника. Для этого соединяем проводник от фазного провода на бл.388.1 с корпусом через его сопротивление в **1Ом** - контакт «П» этого блока (рис.10.11). С помощью вольтметра и амперметра блока 509.2.1 измеряем величину напряжения  $U_{h+ob}$  и тока  $I_h$  через человека.

**в) Проверить** действие защитного заземления. Для этого соединяем проводами клемму корпуса модели электроприемника (с рабочей изоляцией) бл.388.1 с клеммой сопротивления защитного заземления **2Ом** модели заземлителя бл.390. Замеряем с помощью вольтметра и амперметра бл.509.2.1 величину напряжения  $U_{h+ob}$  и тока через человека  $I_h$ .

**Установить** на модели заземлителя (блок 390) последовательно сопротивление **10 Ом, 100 Ом** и произвести аналогичные измерения.

**2.3.3. Далее согласно заданию** к работе (табл.10.5) проводим вторую часть эксперимента. Для этого:

- **устанавливаем** другие значения емкости и (или) сопротивления изоляции нулевого провода, как указано выше (подсоединением короткозамыкателей на блоке 303.1), и **проводим** аналогичные измерения.

Все полученные данные записать в таблицу бланка работы.

#### **2.3.4. После завершения эксперимента необходимо:**

- **выключить** каждый из приборов на блоке мультиметров (бл.509.2.1) нажатием кнопки «POWER» (желтого цвета) слева под экраном индикатора;
- **отключить** выключатели «СЕТЬ» на блоке мультиметров (блок 509.2.1) и на модели питающей электрической сети (блок 387.1);
- **отключить** автоматический однополюсный выключатель на бл.359.1 и автоматические выключатели однофазного источника питания (бл.218.8);
- **отсоединить** все проводники от блоков 303.1, 390 и 388.1.

#### **2.4. По результатам исследования необходимо:**

- провести анализ действия защитного заземления в зависимости от параметров сети;

- провести расчет напряжения  $U_{h+ob}$  и тока через человека  $I_h$ ,

используя соотношение для  $|Z|$

$$|Z| = \sqrt{R_{\Sigma}^2 + \frac{r_{uz}(2R_{\Sigma} + r_{uz})}{1 + (\omega Cr_{uz})^2}};$$

- сравнить теоретические и экспериментальные данные;

- сделать выводы о влиянии величины сопротивления защитного заземления и сопротивления изоляции на его эффективность.

Таблица 10.5  
Варианты заданий

№ задания	$r_{из}$ , кОм	$C$ , мкФ	$R_{об}$ , кОм	$R_{корн}$ , Ом	Примечание
1	515,1 (510+5,1)	0,05	1		1 этап измерений
		0,47			2 этап измерений
2	515,1 (510+5,1)	0,05	10		1 этап измерений
		0,47			2 этап измерений
3	5,1	0,05	1		1 этап измерений
		0,47			2 этап измерений
4	5,1	0,05	10		1 этап измерений
		0,47			2 этап измерений
5	515,1 5,1	0,05	1		1 этап измерений
					2 этап измерений

### Расчетное задание на лабораторную работу № 10 (ауд. 104 и 106)

*При невозможности провести измерения* необходимо рассчитать устройство защитного заземления согласно варианту из табл.10.5, используя методику раздела Б, формулы (3) - (6), графики и данные табл.10.2 и табл.10.3, приведенные выше в описании. Величину измеренного удельного сопротивления грунта  $\rho_{изм}$ , климатического коэффициента и размеры элементов заземляющего устройства выбирать из табл.10.5.

Таблица 10.5  
Размеры элементов заземляющего устройства

№ варианта	$\rho_{изм}$ (Ом см $10^4$ )	$L$ (см)	$d$ (см)	$a$ (см)	$b$ (см)	$h$ (см)	$\varphi$
1	4,5	180	6	360	6	70	$\varphi_1$
2	1,5	200	5	400	5	60	$\varphi_2$
3	1,1	220	6	220	4	50	$\varphi_3$
4	0,8	230	5	460	5	60	$\varphi_1$
5	0,4	250	4	500	6	50	$\varphi_2$

Допустимое сопротивление защитного заземления для всех вариантов  
 $R_{доп} = 4\text{Ом}$ .

$\rho_{изм}$  - измеренное удельное сопротивление грунта, Ом см;

$l$  - длина одиночного заземлителя (трубы), см;

$d$  - диаметр трубы, см;

$a$  - расстояние между заземлителями, см

$b$  - ширина полосы, мм;

$h$  - глубина заземления, см;

$\varphi$  - климатический коэффициент.

Расстояние от поверхности земли до середины заземлителя « $t$ » вычислить по формуле  $t = h+l / 2$ , см.

Для вариантов 1-3 проводить расчет только для устройства защитного заземления, выполненного по контуру. Для вариантов 4 и 5 - согласно заданию преподавателя.

Результаты расчётов занести в таблицу бланка отчёта по следующим параметрам:

- Общее сопротивление заземления,  $R_{ОВЩ}$ , Ом;
- Характер грунта;
- Число заземлителей,  $n$ ;
- Величина климатического коэффициента,  $\varphi$ ;
- Удельное сопротивление грунта;
- Длина полосы,  $L$ , м;
- Сопротивление полосы,  $R_{П}$ , Ом;
- Коэффициент экранирования: заземлителя  $\eta_3$  и полосы  $\eta_{П}$

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что называется защитным заземлением?
2. Укажите область применения защитного заземления.
3. Объясните принцип действия защитного заземления.
4. Что называется защитным занулением?
5. Укажите область применения защитного зануления.
6. На чем основан принцип действия защитного зануления?
7. Что представляет климатический коэффициент сезонности при расчете заземляющего устройства?
8. Чему равно предельно допустимое значение сопротивление заземляющего устройства при напряжении 380В? При напряжении 6кВ?
- 9 В каких случаях целесообразно выполнять защитное заземление в ряд, а в каких – по контуру?
10. Как изменяется сопротивление заземляющего устройства при изменении влажности грунта?
- 11.Каково время срабатывания отключающих автоматов, предохранителей в устройствах защитного зануления?
- 12 . От чего зависит эффективность работы защитного заземления?
13. В каких случаях безопасность человека не могут обеспечить ни защитное заземление, ни защитное зануление?
14. От чего зависит R допустимое заземляющего устройства?
15. Каковы особенности работы заземляющего устройства при напряжении более 1000В?

## **Работа № 11**

# **ЗАЩИТА ОТ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ**

**Цель работы:** оценить интенсивность и степень опасности электромагнитного излучения, а так же эффективность средств защиты от него.

### **1. Теоретическая часть**

#### **1.1.Общие сведения**

Жизнь живых существ на Земле проходит под непрерывным воздействием **электромагнитных полей** (ЭМП) различного частотного диапазона. Электромагнитное поле – особая форма материи, которая осуществляет взаимодействие частиц, имеющих электрический заряд. Электромагнитное поле характеризуется вектором напряжённости электрического поля Е и вектором магнитной индукции В. Электромагнитное поле может распространяться в пространстве в виде электромагнитных волн. Электромагнитное поле порождается движущимися и неподвижными электрическими зарядами, а также переменными электрическим и магнитным полями. Это могут быть поля естественного происхождения: электрическое и магнитное поля Земли, электрические поля, образуемые в ее атмосфере, радиоизлучение Солнца и галактик. Кроме естественных, в настоящее время существует уровень искусственных ЭМП, создаваемых электрическими установками и радиотехническими системами различного назначения, и часто превышающий поля естественного происхождения. Влияние этих полей на организм человека может быть весьма значительным. При этом создается угроза его здоровью, снижается работоспособность. Широкое распространение получили за последнее время источники электромагнитных полей сверхвысокочастотного диапазона (СВЧ), в первую очередь - сотовые телефоны (стандарты GSM-900, GSM-1800) и персональные компьютеры (тактовая частота более 4ГГц), микроволновые печи (частота 2450МГц), а также локационные, навигационные установки, системы связи, радио и телевещания и другие.

Изготовление и эксплуатация СВЧ устройств и установок связаны с облучением обслуживающего персонала, а также и населения. Особую опасность представляют в этом случае станции мобильной связи, расположенные часто на крышах жилых зданий, а также сам сотовый телефон. При выходной мощности 100 – 200мВт его корпус находится вблизи головы, а соответственно и мозга человека. Очевидно, что при превышении допустимых уровней СВЧ излучения возникает необходимость защиты от его вредного воздействия.

При воздействии электромагнитных полей СВЧ на живой организм рассматривают тепловое и нетепловое воздействие. При тепловом воздействии в биологических тканях образуются токи смещения, что приводит к выделению в них тепла. Наибольшему воздействию СВЧ полей подвержены органы человека, обладающие наилучшей поглощающей способностью и наихудшим теплоотводом. Например: спинной и головной мозг, семенники, глаза. Под **тепловым порогом** понимается такой уровень плотности потока энергии (ППЭ), при котором системы терморегуляции организма человека не справляются с отводом поглощаемого тепла электромагнитного поля (в данном случае это  $100\text{ Вт}/\text{м}^2$ ).

Поглощенная энергия  $E$  на частотах выше 300 МГц зависит от эффективной поверхности тела  $S$ , плотности потока энергии ППЭ, падающей на эту поверхность, расстояния  $r$ , пройденного волной от поверхности кожи в глубь тела, коэффициента отражения от границы сред (воздух–кожа, кожа–жир, кожа–мышцы)  $\gamma$  и приближенно описывается

$$\text{соотношением } E = \text{ППЭ} \cdot S(1 - \gamma)t e^{\frac{-2r}{x}} \text{ (Дж), где } t \text{ - время воздействия;}$$

$x$  - глубина проникновения до ослабления в  $e$  раз.

Поскольку эффективная поверхность тела и коэффициент отражения сильно зависят от частоты, то поглощенная энергия СВЧ поля также будет определяться частотным диапазоном. Наибольшее поглощение наблюдается при длинах волн 10–30 см (до 100%). Однако, хотя и поглощение энергии при длинах волн 30–100 см несколько меньше (30–40%), вред может быть нанесен больший, так как воздействию подвергаются в этом случае внутренние органы (сердце, легкие и т.д.) вследствие более глубокого проникновения излучения в тело человека.

Влияние на живой организм электромагнитных полей СВЧ обнаруживается и при интенсивностях, ниже тепловых порогов (нетепловое воздействие). Длительное и систематическое воздействие полей СВЧ на обслуживающий персонал и население, даже с малыми интенсивностями, приводит к функциональным изменениям в организме. В результате нарушаются ранее выработанные условные рефлексы, изменяется характер и интенсивность физиологических, биологических процессов в организме, нервной регуляции сердечнососудистой системы и т.д. Вследствие этого замедляется пульс (брадикардия), понижается кровяное давление (гипотония), изменяется состав крови. Кроме того, появляется головная боль, нарушается сон, повышается раздражительность. При облучении глаз возможна катаракта (помутнение хрусталика глаза). Степень воздействия электромагнитных полей СВЧ зависит от интенсивности облучения, его длительности, диапазона частот, формы сигнала, режима облучения (непрерывного, импульсного), коэффициента направленного действия излучателя, расстояния от источника и индивидуальной чувствительности организма.

Электромагнитное поле СВЧ диапазона характеризуется мощностью Р, **плотностью потока энергии - ППЭ** ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) и частотой излучения или длиной волны. Для СВЧ полей частота излучения составляет 300МГц – 300ГГц (длина волны 0,001-1м). ППЭ излучения в зависимости от расстояния  $R$  (м) до облучаемого объекта в воздухе в дальней зоне (для малых размеров антенны  $R > \lambda / 2\pi$ , где  $\lambda = c / f$  - длина волны в воздухе,  $c=300000\text{км}/\text{с}$  - скорость света,  $f$  - частота) определяется через мощность излучения радиотехнического устройства Р (Вт) и **коэффициент усиления излучающей антенны G**

$$\text{ППЭ}_{\text{изл}} \left( \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right) = \frac{PG}{4\pi R^2} \quad (11.1)$$

Коэффициент  $G$  определяет фактически плотность электромагнитной энергии в пространстве и поэтому он велик у радиолокационных станций (сотни) и мал у станций сотовой связи (единицы).

Измеряемая ППЭ на рабочем месте на произвольном расстоянии от источника излучения  $\text{ППЭ}_{\text{изм}}$  определяется соотношением

$$\text{ППЭ}_{\text{изм}} \left( \frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2} \right) = \frac{P_0}{\eta S_{\text{эфф}}}, \quad (11.2)$$

где  $P_0$  - показания ваттметра поглощаемой мощности в мкВт;

$S_{\text{эфф}}$  - эффективная поверхность приемной антенны в  $\text{см}^2$ ;

$\eta$  - КПД преобразователя (в данной работе равен 1).

Для предупреждения заболеваний людей от воздействия электромагнитных полей установлены предельно допустимые значения ППЭ ( $\text{ППЭ}_{\text{don}}$ ) в ГОСТ 12.1.006–84, СанПиН 2.1.8./2.2.4.1383-03 и СанПиН 1.2.3685-21.  $\text{ППЭ}_{\text{don}}$  в СВЧ диапазоне определяют, исходя из категории (группы) людей. Так при отсутствии защитных средств во всех случаях она не должна превышать  $10\text{Вт}/\text{м}^2$  для персонала и  $0,1\text{Вт}/\text{м}^2$  для населения при сколь угодно малом времени облучения. Кроме того, предельно допустимое значение  $\text{ППЭ}_{\text{don}}$  уменьшается до  $1\text{Вт}/\text{м}^2$  для персонала при наличии рентгеновского излучения или высокой температуры воздуха в рабочих помещениях (выше  $28^\circ\text{C}$ ).

Предельно допустимое значение **энергетической экспозиции**  $\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{don}} = 2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \text{час}$  (*отношение энергии излучения, падающей на элемент поверхности в течение данной длительности времени к площади этого элемента*) позволяет определить время пребывания в зоне облучения  $T$  при заданной ППЭ на рабочем месте:  $T = \mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{don}} / \text{ППЭ}$ . (11.3)

Кроме того,  $\text{ППЭ}_{\text{don}}$  на рабочем месте в зависимости от времени можно определить по формуле  $\text{ППЭ}_{\text{don}} = \mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{don}} / T$ , но во всех случаях значение  $\text{ППЭ}_{\text{don}}$  не должно превышать величин указанных выше.

Для сотовых телефонов  $\text{ППЭ}_{\text{don}} = 0,1\text{Вт} / \text{м}^2$ , а для микроволновых печей  $\text{ППЭ}_{\text{don}} = 1\text{Вт} / \text{м}^2$ .

В Западной Европе и США в качестве допустимого параметра для сотовых телефонов используют коэффициент радио поглощения SAR, который должен быть не более 2Вт/кг и 1,6Вт/кг, соответственно.

При несоответствии значений ППЭ требованиям норм, применяют следующие основные меры защиты от воздействия СВЧ излучений:

- 1) уменьшение выходной мощности источника излучений или работу на эквивалент антенны;
- 2) экранирование источника излучения;
- 3) удаление рабочего места от источника излучения или удаление источника от рабочего места;
- 4) ограничение времени пребывания в зоне облучения;
- 5) применение индивидуальных средств защиты;
- 6) контроль уровня излучений на рабочем месте.

В зависимости от типа источника излучения, его мощности, характера технологического процесса может быть применен один из указанных методов или любая их комбинация.

Эффективным средством защиты от СВЧ излучений является применение экранирующих устройств отражающего или поглощающего типа, устанавливаемых на пути излучения. Степень ослабления СВЧ поля в случае применения экранов определяется соотношением

$$L(\text{dB}) = 10 \lg(PPE / PPE_{\text{Э}}),$$

где  $PPE_{\text{Э}}$  - ППЭ при наличии экрана, а  $PPE$  - при его отсутствии.

Физическая сущность электромагнитного экранирования, с точки зрения теории электромагнитного поля, для экранов отражающего типа состоит в том, что под воздействием поля в материале экрана наводятся токи, поля которых во внешнем пространстве по величине близки, а по направлению противоположны экранируемому полю. В результате происходит взаимная компенсация полей. Экранирующие устройства выполняются в виде сплошных или сетчатых заземленных экранов, изготовленных из меди, латуни, алюминия и других материалов. Уровень ослабления СВЧ электромагнитного излучения при использовании сплошных экранов может составлять величину порядка 50дБ.

Защитные свойства сетчатых экранов зависят от размера ячеек и толщины используемой для его изготовления проволоки. Чем меньше размеры ячейки сетки по отношению к длине волны излучения, тем выше эффективность экранирования. Так, например, использование латунной сетки с количеством ячеек 9x9 на 1см<sup>2</sup> обеспечивает затухание 48дБ в 3-х сантиметровом диапазоне длин волн.

В экранах поглощающего типа происходит преобразование электромагнитной энергии в тепловую. В таких экранах широко применяются материалы на основе графита. Наилучшую защиту обеспечивают экраны, состоящие из поглощающего и отражающего слоев.

## 2. Практическая часть

### Измерение уровня электромагнитного излучения, создаваемого на рабочем месте экспериментальной установкой

#### 2.1. Описание лабораторной работы № 11 (в ауд.106 ГК)

Блок-схема установки для проведения измерений уровней СВЧ излучения и экранирующих свойств материалов представлена на рис.11.1.

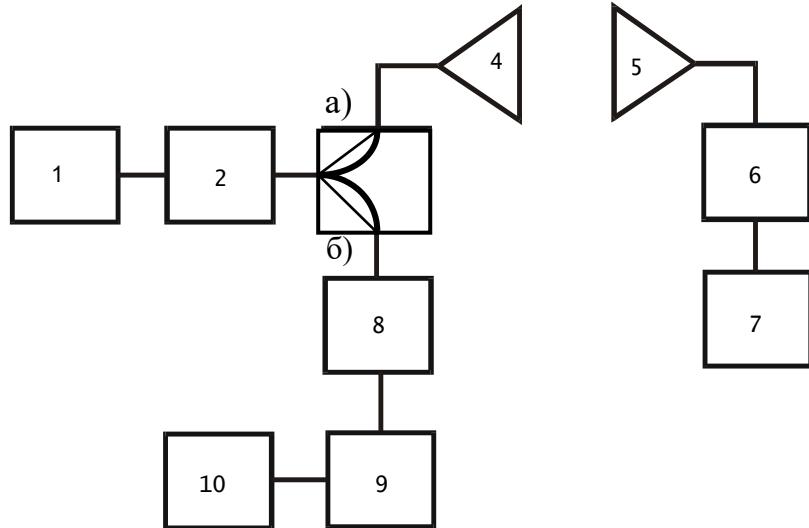


Рис. 11.1. Блок-схема установки.

Генератор сигналов СВЧ – Г4-82 (1) (слева на столе),  
аттенюатор - регулятор уровня СВЧ сигнала (2),  
волноводный переключатель (ВП) (3), излучающая(передающая) (4)  
и приемная (5) антенны, детекторная секция (6), подключенная к  
микроамперметру (7), секция для исследуемого экранирующего материала (8)  
и детекторная секция (9), подключенная к мультиметру UT51 (10).

#### 2.2.Условия проведения лабораторной работы № 11 (ауд. 106)

СВЧ сигнал генератора Г4-82 -1 через аттенюатор -2 (регулятор уровня СВЧ сигнала), попадает на волноводный переключатель (ВП) -3, с выхода которого в положении «а» проходит на излучающую антенну -4 и далее через приемную антенну -5 попадает на детекторную секцию -6 и микроамперметр -7, прокалибранный в единицах мощности - мкВт.

В положении «б» СВЧ сигнал с ВП -3 проходят на секцию -8, в которую помещен исследуемый материал с экранирующими или поглощающими свойствами, и далее на детекторную секцию -9, подключенную к мультиметру UT51 -10, который позволяет измерить уровень СВЧ колебаний с экранирующим материалом и без него.

#### 2.3.Порядок проведения лабораторной работы № 11 (ауд. 106)

##### 2.3.1.Измерение уровня СВЧ излучений $P_0$ в зависимости от расстояния до источника (ВП - в положении "а"):

а) включить СВЧ генератор Г4-82 и дать прогреться ему 5 мин;

Частота СВЧ сигнала генератора Г4-82 установлена (по шкале) **7500МГц**.

**б) установить** величину затухания на аттенюаторе (2) **0 дБ**.

**Перемещая** приемную антенну относительно передающей - от плоскости рупора передающей до плоскости рупора приемной антенны, измерить мощность  $P_o$  сигнала СВЧ по шкале микроамперметра (прокалиброванного в единицах мощности - мкВт) в 4-х - 5-ти точках согласно варианту задания (см.табл.11.1). Полученные по шкале микроамперметра значения необходимо при этом умножать на 10 (указано на приборе). Во время измерений **следить** за тем, чтобы направление приемной антенны совпадало с направлением передающей антенны - по максимуму измеряемого сигнала.

*Если возникает превышение уровня измеряемого сигнала сверх максимального значения шкалы микроамперметра, необходимо уведомить об этом преподавателя.*

### **2.3.2.Измерение на заданном расстоянии R зависимости ППЭ на рабочем месте от излучаемой мощности $P_{изл}$ :**

**а) установить** на аттенюаторе (2) затухание в **0дБ**, а приемную антенну - на расстояние R, указанное в задании;

**б) увеличивая** затухание сигнала аттенюатором, измерить уровень мощности СВЧ сигнала по шкале микроамперметра. То есть **определить** зависимость уровня мощности СВЧ сигнала (аналогично п.1) от величины затухания сигнала на аттенюаторе - **0дБ/ 3дБ/ 6дБ/ 10дБ/ 13дБ**. В ходе измерений указанные значения (целых чисел) устанавливать по шкале аттенюатора, вращая ручку устройства (от «0» по часовой стрелке), - на фоне подвижного белого сектора, который перемещается по шкале.

После измерений установить на аттенюаторе затухание в **0 дБ**.

### **2.3.3.Измерение экранирующих свойств материалов:**

**а) Включить** мультиметр UT51 нажатием кнопки «**POWER**» (желтого цвета под экраном индикатора слева). Данный прибор позволяет измерять постоянное напряжение в диапазоне до 2 вольт (положение переключателя диапазонов V-- установлено на «2»).

**Установить** переключатель **ВП** (3) в положение “**б**” и измерить по мультиметру уровень СВЧ сигнала при отсутствии экранирующих материалов  $U_0$ .

**б) Установить** последовательно в секцию **8** экранирующие материалы - сеточки из латуни с различными размерами ячейки: **1мм, 5мм, 10мм и графитированный гетинакс**, и выполнить измерение уровня СВЧ сигнала -  $U_3$  при наличии экранирующих материалов;

**в) Убрать** образцы экранирующего материала в контейнер, выключить генератор сигналов СВЧ и мультиметр.

### **2.3.4.Обработка экспериментальных результатов.**

Рассчитать ППЭ СВЧ излучения в зависимости от расстояния (п.1) по формуле (11.2) при  $S_{эфф}=25\text{см}^2$  и время безопасного пребывания (если оно не превышает 24 часа) для каждого расстояния по формуле (11.3).

Рассчитать ППЭ излучения аналогично п.1 при различных уровнях мощности излучаемого сигнала **Ризл**. Учитывая, что начальная мощность излучения при затухании аттенюатора  $L=0\text{дБ}$ ,  $P_{изл_0}=12\text{ мВт}$ , а мощность излучаемого сигнала при введенном затухании  $P_{изл}$ , можно рассчитать по формуле  $L(\text{дБ})=10\lg \frac{P_{изл_0}}{P_{изл}}$  методом потенцирования.

Допустимое время пребывания в зоне облучения (час). при измеренной ППЭ на рабочем месте, определяется по формуле (11.3).

Для расчета безопасного расстояния при измеренной ППЭ для рабочего дня различной продолжительности можно воспользоваться формулой полученной из соотношений формул (11.1) и (11.3):

$$R_{без} = R \sqrt{\frac{ППЭ_{изм}}{ППЭ_{доп}}} (\text{м}) . \quad (11.4)$$

А также определить эффективность экранирования по формуле

$$L = 20\lg \frac{U_0}{U_3} (\text{дБ}). \quad (11.5)$$

Построить графики зависимостей ППЭ(R) и ППЭ<sub>изм</sub>(P<sub>изл</sub>).

Также провести сравнительный анализ защитных свойств исследуемых материалов.

Таблица 11.1

#### Варианты заданий лабораторной работы № 11 (ауд. 106)

№ задания	Расстояния от плоскости передающей антенны, см по п.1	Расстояние от плоскости передающей антенны, см по п.2
1	4, 9, 15, 20, 25	5
2	3, 6, 12, 18, 21	7
3	5, 10, 15, 20, 25	4
4	4, 8, 16, 22, 28	6

#### 2.3.5.Пример расчета параметров рабочего места в ауд. 106 ГК1

1. Измерения показали, что на расстоянии 0,4м мощность электромагнитной волны с длиной 3,2см составила 800мкВт. Требуется определить расстояние от источника излучения, на котором может работать настройщик СВЧ аппаратуры без ущерба для здоровья в течение 8ч. при заданных параметрах антенны. Определим ППЭ на заданном расстоянии 0,4м  $\text{ППЭ}_{изм} = \frac{800}{25} = 32 \frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2} = 0,32 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ .

2. Определим допустимую ППЭ по допустимой энергетической нагрузке, учитывая длительность рабочей смены 8ч.

$$\text{ППЭ}_{доп} = \frac{2*10^6}{8*10^4} = 25 \frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2} = 0,25 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Согласно формуле (11.5) для R<sub>без</sub> получаем 0,452м.

## **Расчетное задание на лабораторную работу**

**При невозможности провести измерения** необходимо, используя значения из табл.11.2, а так же используя приведенные в описании соотношения, провести расчет ППЭ на рабочем месте, на расстоянии 0,25м, 0,5м, 0,7м, 1м, 1,5м по измеренной мощности на заданном расстоянии согласно варианту задания. А также определить затухание L(дБ), создаваемое экраном для обеспечения безопасных условий работы персонала при заданной длительности рабочего времени в случаях превышения допустимых значений ППЭ для персонала. Построить график зависимости ППЭ(R).

Таблица 11.2

### **Варианты заданий лабораторной работы (при невозможности провести измерения)**

<b>№ варианта</b>	<b>Измеренная мощность <math>P_0</math>, мкВт</b>	<b>Заданное расстояние, м</b>	<b>Время рабочего дня, час</b>
1	1000	0,8	8
2	1200	0,6	7
3	800	0,4	8
4	1500	0,7	6
5	2000	0,9	8

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какими характеристиками описывается СВЧ электромагнитное излучение?
2. От чего зависит степень воздействия электромагнитного СВЧ излучения?
3. Каковы особенности воздействия электромагнитного СВЧ излучения при пороге выше теплового?
4. На какие системы организма человека воздействует излучение при пороге ниже теплового? Каковы результаты этого воздействия?
5. В каких нормативных документах приведены допустимые уровни электромагнитных излучений?
6. От чего зависит допустимый уровень электромагнитного СВЧ излучения? Какова его величина?
7. От чего зависит уровень излучения на рабочем месте?
8. Какие имеются защитные меры от воздействия электромагнитных излучений?
9. Что такое затухание в ЗдБ?
10. Какие бывают защитные экраны по принципу действия?
11. Каковы требования к защитным экранам отражающего типа, выполненным в виде сетки?
12. Каковы особенности эксплуатации мобильных телефонов?

## **Работа № 12**

# **ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО СВЧ ПЕЧЬЮ**

**Цель работы:** оценить интенсивность и степень опасности электромагнитного излучения, а так же эффективность средств защиты от него.

### **1. Теоретическая часть**

#### **1.1.Общие сведения**

Жизнь живых существ на Земле проходит под непрерывным воздействием **электромагнитных полей** (ЭМП) различного частотного диапазона. Электромагнитное поле – особая форма материи, которая осуществляет взаимодействие частиц, имеющих электрический заряд. Электромагнитное поле характеризуется вектором напряжённости электрического поля Е и вектором магнитной индукции В. Электромагнитное поле может распространяться в пространстве в виде электромагнитных волн. Электромагнитное поле порождается движущимися и неподвижными электрическими зарядами, а также переменными электрическим и магнитным полями. Это могут быть поля естественного происхождения: электрическое и магнитное поля Земли, электрические поля, образуемые в ее атмосфере, радиоизлучение Солнца и галактик. Кроме естественных, в настоящее время существует уровень искусственных ЭМП, создаваемых электрическими установками и радиотехническими системами различного назначения, и часто превышающий поля естественного происхождения. Влияние этих полей на организм человека может быть весьма значительным. При этом создается угроза его здоровью, снижается работоспособность. Широкое распространение получили за последнее время источники электромагнитных полей сверхвысокочастотного диапазона (СВЧ), в первую очередь - сотовые телефоны (стандарты GSM-900, GSM-1800) и персональные компьютеры (тактовая частота более 4ГГц), микроволновые печи (частота 2450МГц), а также локационные, навигационные установки, системы связи, радио и телевещания и другие.

Изготовление и эксплуатация СВЧ устройств и установок связаны с облучением обслуживающего персонала, а также и населения. Особую опасность представляют в этом случае станции мобильной связи, расположенные часто на крышах жилых зданий, а также сам сотовый телефон. При выходной мощности 100 – 200мВт его корпус находится вблизи головы, а соответственно и мозга человека. Очевидно, что при превышении допустимых уровней СВЧ излучения возникает необходимость защиты от его вредного воздействия.

При воздействии электромагнитных полей СВЧ на живой организм рассматривают тепловое и нетепловое воздействие. При тепловом воздействии в биологических тканях образуются токи смещения, что приводит к выделению в них тепла. Наибольшему воздействию СВЧ полей подвержены органы человека, обладающие наилучшей поглощающей способностью и наихудшим теплоотводом. Например: спинной и головной мозг, семенники, глаза. Под **тепловым порогом** понимается такой уровень плотности потока энергии (ППЭ), при котором системы терморегуляции организма человека не справляются с отводом поглощаемого тепла электромагнитного поля (в данном случае это  $100\text{ Вт}/\text{м}^2$ ).

Поглощенная энергия  $E$  на частотах выше 300 МГц зависит от эффективной поверхности тела  $S$ , плотности потока энергии ППЭ, падающей на эту поверхность, расстояния  $r$ , пройденного волной от поверхности кожи в глубь тела, коэффициента отражения от границы сред (воздух–кожа, кожа–жир, кожа–мышцы)  $\gamma$  и приближенно описывается

$$\text{соотношением } E = \text{ППЭ} \cdot S(1 - \gamma)t e^{\frac{-2r}{x}} \text{ (Дж), где } t \text{ - время воздействия;}$$

$x$  - глубина проникновения до ослабления в  $e$  раз.

Поскольку эффективная поверхность тела и коэффициент отражения сильно зависят от частоты, то поглощенная энергия СВЧ поля также будет определяться частотным диапазоном. Наибольшее поглощение наблюдается при длинах волн 10–30 см (до 100%). Однако, хотя и поглощение энергии при длинах волн 30–100 см несколько меньше (30–40%), вред может быть нанесен больший, так как воздействию подвергаются в этом случае внутренние органы (сердце, легкие и т.д.) вследствие более глубокого проникновения излучения в тело человека.

Влияние на живой организм электромагнитных полей СВЧ обнаруживается и при интенсивностях, ниже тепловых порогов (нетепловое воздействие). Длительное и систематическое воздействие полей СВЧ на обслуживающий персонал и население, даже с малыми интенсивностями, приводит к функциональным изменениям в организме. В результате нарушаются ранее выработанные условные рефлексы, изменяется характер и интенсивность физиологических, биологических процессов в организме, нервной регуляции сердечнососудистой системы и т.д. Вследствие этого замедляется пульс (брадикардия), понижается кровяное давление (гипотония), изменяется состав крови. Кроме того, появляется головная боль, нарушается сон, повышается раздражительность. При облучении глаз возможна катаракта (помутнение хрусталика глаза). Степень воздействия электромагнитных полей СВЧ зависит от интенсивности облучения, его длительности, диапазона частот, формы сигнала, режима облучения (непрерывного, импульсного), коэффициента направленного действия излучателя, расстояния от источника и индивидуальной чувствительности организма.

Электромагнитное поле СВЧ диапазона характеризуется мощностью Р, **плотностью потока энергии - ППЭ** ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) и частотой излучения или длиной волны. Для СВЧ полей частота излучения составляет 300МГц – 300ГГц (длина волны 0,001-1м). ППЭ излучения в зависимости от расстояния  $R$  (м) до облучаемого объекта в воздухе в дальней зоне (для малых размеров антенны  $R > \lambda / 2\pi$ , где  $\lambda = c / f$  - длина волны в воздухе,  $c=300000\text{км}/\text{с}$  - скорость света,  $f$  - частота) определяется через мощность излучения радиотехнического устройства Р (Вт) и **коэффициент усиления излучающей антенны G**

$$\text{ППЭ}_{\text{изл}} \left( \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right) = \frac{PG}{4\pi R^2} \quad (11.1)$$

Коэффициент  $G$  определяет фактически плотность электромагнитной энергии в пространстве и поэтому он велик у радиолокационных станций (сотни) и мал у станций сотовой связи (единицы).

Измеряемая ППЭ на рабочем месте на произвольном расстоянии от источника излучения  $\text{ППЭ}_{\text{изм}}$  определяется соотношением

$$\text{ППЭ}_{\text{изм}} \left( \frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2} \right) = \frac{P_0}{\eta S_{\text{эфф}}}, \quad (11.2)$$

где  $P_0$  - показания ваттметра поглощаемой мощности в мкВт;

$S_{\text{эфф}}$  - эффективная поверхность приемной антенны в  $\text{см}^2$ ;

$\eta$  - КПД преобразователя (в данной работе равен 1).

Для предупреждения заболеваний людей от воздействия электромагнитных полей установлены предельно допустимые значения ППЭ ( $\text{ППЭ}_{\text{don}}$ ) в ГОСТ 12.1.006–84, СанПиН 2.1.8./2.2.4.1383-03 и СанПиН 1.2.3685-21.  $\text{ППЭ}_{\text{don}}$  в СВЧ диапазоне определяют, исходя из категории (группы) людей. Так при отсутствии защитных средств во всех случаях она не должна превышать  $10\text{Вт}/\text{м}^2$  для персонала и  $0,1\text{Вт}/\text{м}^2$  для населения при сколь угодно малом времени облучения. Кроме того, предельно допустимое значение  $\text{ППЭ}_{\text{don}}$  уменьшается до  $1\text{Вт}/\text{м}^2$  для персонала при наличии рентгеновского излучения или высокой температуры воздуха в рабочих помещениях (выше  $28^\circ\text{C}$ ).

Предельно допустимое значение **энергетической экспозиции**  $\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{don}} = 2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \text{час}$  (*отношение энергии излучения, падающей на элемент поверхности в течение данной длительности времени к площади этого элемента*) позволяет определить время пребывания в зоне облучения  $T$  при заданной ППЭ на рабочем месте:  $T = \mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{don}} / \text{ППЭ}$ . (11.3)

Кроме того,  $\text{ППЭ}_{\text{don}}$  на рабочем месте в зависимости от времени можно определить по формуле  $\text{ППЭ}_{\text{don}} = \mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{don}} / T$ , но во всех случаях значение  $\text{ППЭ}_{\text{don}}$  не должно превышать величин указанных выше.

Для сотовых телефонов  $\text{ППЭ}_{\text{don}} = 0,1\text{Вт} / \text{м}^2$ , а для микроволновых печей  $\text{ППЭ}_{\text{don}} = 1\text{Вт} / \text{м}^2$ .

В Западной Европе и США в качестве допустимого параметра для сотовых телефонов используют коэффициент радио поглощения SAR, который должен быть не более 2Вт/кг и 1,6Вт/кг, соответственно.

При несоответствии значений ППЭ требованиям норм, применяют следующие основные меры защиты от воздействия СВЧ излучений:

- 1) уменьшение выходной мощности источника излучений или работу на эквивалент антенны;
- 2) экранирование источника излучения;
- 3) удаление рабочего места от источника излучения или удаление источника от рабочего места;
- 4) ограничение времени пребывания в зоне облучения;
- 5) применение индивидуальных средств защиты;
- 6) контроль уровня излучений на рабочем месте.

В зависимости от типа источника излучения, его мощности, характера технологического процесса может быть применен один из указанных методов или любая их комбинация.

Эффективным средством защиты от СВЧ излучений является применение экранирующих устройств отражающего или поглощающего типа, устанавливаемых на пути излучения. Степень ослабления СВЧ поля в случае применения экранов определяется соотношением

$$L(\text{dB}) = 10 \lg(PPE / PPE_{\text{Э}}),$$

где  $PPE_{\text{Э}}$  - ППЭ при наличии экрана, а  $PPE$  - при его отсутствии.

Физическая сущность электромагнитного экранирования, с точки зрения теории электромагнитного поля, для экранов отражающего типа состоит в том, что под воздействием поля в материале экрана наводятся токи, поля которых во внешнем пространстве по величине близки, а по направлению противоположны экранируемому полю. В результате происходит взаимная компенсация полей. Экранирующие устройства выполняются в виде сплошных или сетчатых заземленных экранов, изготовленных из меди, латуни, алюминия и других материалов. Уровень ослабления СВЧ электромагнитного излучения при использовании сплошных экранов может составлять величину порядка 50дБ.

Защитные свойства сетчатых экранов зависят от размера ячеек и толщины используемой для его изготовления проволоки. Чем меньше размеры ячейки сетки по отношению к длине волны излучения, тем выше эффективность экранирования. Так, например, использование латунной сетки с количеством ячеек 9x9 на 1см<sup>2</sup> обеспечивает затухание 48дБ в 3-х сантиметровом диапазоне длин волн.

В экранах поглощающего типа происходит преобразование электромагнитной энергии в тепловую. В таких экранах широко применяются материалы на основе графита. Наилучшую защиту обеспечивают экраны, состоящие из поглощающего и отражающего слоев.

## **2. Практическая часть**

### **2.1. Описание лабораторной работы № 12 (в ауд.104 ГК1)**

Стенд для проведения измерений уровня СВЧ излучения состоит из:

- **источника излучения – микроволновая печь** (частота излучения 2450МГц, максимальная выходная мощность 750Вт);
- **координатного устройства**, позволяющего регистрировать перемещение датчика СВЧ сигнала (содержит полуволновой вибратор и СВЧ диод) в пространстве;
- **измерителя СВЧ сигнала – микроамперметра** (в дальнейшем прибор), прокалиброванного в единицах ППЭ.

Координатное устройство выполнено в виде планшета на поверхности стола, на который нанесена координатная сетка.

В СВЧ печи в качестве нагрузки используются керамические плитки.

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

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

### **2.2.Условия проведения лабораторной работы № 12 (ауд. 104 ГК1)**

При выполнении лабораторной работы должны быть выполнены следующие требования безопасности:

1. К работе допускаются студенты, ознакомленные с устройством лабораторного стенда, принципом действия и мерами безопасности при проведении измерений.
2. Запрещается работать с открытой дверцей СВЧ печи.
3. Запрещается самостоятельно регулировать, ремонтировать панель управления, дверь или какие-либо другие части печи.
4. Должно быть выполнено защитное заземление (зануление) СВЧ печи в лаборатории.
5. Не допускается включение и работа печи без нагрузки.
6. СВЧ печь предназначена только для проведения лабораторной работы. Включение осуществлять на 1мин. с интервалом включения 1мин.

### **2.3.Порядок выполнения лабораторной работы № 12 (ауд. 104 ГК1)**

#### **2.3.1.Включение микроволновой печи.**

Для выбора необходимой мощности следует на панели управления печи нажать **кнопку «СВЧ»**. На табло вы светится «**750Вт**».

Далее, нажимая последовательно на эту кнопку, установить требуемую заданием мощность. Затем, на панели установки времени задать время работы микроволновой печи, т.е. время измерения, нажимая кнопку MIN 1мин. Внимание: время включения печи не более 1-ой минуты!.

После установки времени нажать **кнопку «Старт»**.

По истечении заданного времени СВЧ печь выключается автоматически. Если за выставленное время не удаётся провести весь цикл измерений необходимо повторить вышеописанную процедуру через 1 минуту. Если во время измерений необходимо остановить работу СВЧ печи, следует нажать **кнопку «СТОП»**.

### **2.3.2. Измерение уровня СВЧ излучений в зависимости от расстояния до источника.**

Установить antennu **измерителя** СВЧ сигнала на требуемую вариант задания (Таблица 12.1) отметку по оси Y и по оси X координатной сетки. **Высоту Z не изменять!**

Включить печь СВЧ и провести по прибору несколько измерений уровня СВЧ излучения, изменяя расстояние от печи до антенны согласно варианту задания (Таблица 12.1).

Таблица 12.1

**Варианты заданий лабораторной работы № 12**

№ вар.	Мощность Вт	Расположение антенны по оси X , см	Расположение антенны по оси Y, см	Расположение антенны по оси Z, см	Расстояние антенны от экранов в см
<b>1</b>	300	5,10,20,25,30,40	0	15	5
<b>2</b>	300	5,10,15,20,30,40	+15	15	5
<b>3</b>	300	5,10,15,20,30,40	- 15	15	4
<b>4</b>	180	5,10,20,25,30,40	+10	15	3
<b>5</b>	180	5,10,15,20,25,35	- 10	15	3

При проведении измерений возможны колебания стрелки прибора в широких пределах, связанные с особенностью работы СВЧ генератора микроволновой печи (в импульсном режиме).

В качестве измеряемых величин рекомендуется выбирать максимальные показания прибора **измерителя** в диапазоне колебания стрелки, игнорируя разовые скачки на 200мкВт/см<sup>2</sup>.

*Примечание.* Для дальнейших расчётов ППЭ необходимо показания микроамперметра (**мкВт/см<sup>2</sup>**) переводить в **Вт/м<sup>2</sup>**.

Знак “минус” означает смещение антенны по оси Y **вправо**, знак “плюс” - смещение **влево** относительно направления к микроволновой печи. При измерении свойств защитных экранов антенна должна находится постоянно на высоте, указанной в п. «Расположение по оси Z».

### **2.3.3. Измерение свойств защитных экранов.**

Поместить antennu на указанном в задании (Таблица 12.1) расстоянии главной оси от печи СВЧ. Зафиксировать показания прибора.

Далее поочередно строго вертикально вставить в направляющие защитные экраны и измерить по прибору уровень СВЧ излучения.

### **2.3.4. Измерение уровня электромагнитного излучения от мобильного телефона.**

Поместить мобильный телефон на расстоянии приблизительно **1 см** от антенны и измерить с помощью прибора уровень излучения в режиме вызова абонента.

Экспериментальные данные по пунктам 2 – 4 занести в протокол и провести их обработку. Для расчета эффективности экранирования использовать соотношение  $L = 10 \lg \frac{ППЭ_0}{ППЭ_3}$  (дБ),

где  $ППЭ_0$  - показания прибора без экрана, а  $ППЭ_3$  - с экраном.

На основании полученных значений плотности потока энергии(ППЭ):

- Рассчитать время безопасного пребывания на различных расстояниях от СВЧ печи ( $T=2/ППЭ_{изм}$ , час), а также безопасное расстояние от СВЧ печи ( $R_{без}$ ), на котором обеспечивается безопасная работа в течение рабочего дня без применения защитных средств.
- Определить время безопасного пользования мобильным телефоном.
- Также провести сравнительный анализ защитных свойств исследуемых материалов.

### **Расчетное задание на лабораторную работу**

**При невозможности провести измерения** необходимо, используя значения из табл.12.2, а так же используя приведенные в описании соотношения, провести расчет ППЭ на рабочем месте, на расстоянии 0,25м, 0,5м, 0,7м, 1м, 1,5м по измеренной мощности на заданном расстоянии согласно варианту задания. А также определить затухание L(дБ), создаваемое экраном для обеспечения безопасных условий работы персонала при заданной длительности рабочего времени в случаях превышения допустимых значений ППЭ для персонала. Построить график зависимости ППЭ(R).

Таблица 12.2

#### **Варианты заданий лабораторной работы**

№ варианта	Измеренная мощность $P_0$ , мкВт	Заданное расстояние, м	Время рабочего дня, час
1	1000	0,8	8
2	1200	0,6	7
3	800	0,4	8
4	1500	0,7	6
5	2000	0,9	8

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какими характеристиками описывается СВЧ электромагнитное излучение?
2. От чего зависит степень воздействия электромагнитного СВЧ излучения?
3. Каковы особенности воздействия электромагнитного СВЧ излучения при пороге выше теплового?
4. На какие системы организма человека воздействует излучение при пороге ниже теплового? Каковы результаты этого воздействия?
5. В каких нормативных документах приведены допустимые уровни электромагнитных излучений?
6. От чего зависит допустимый уровень электромагнитного СВЧ излучения? Какова его величина?
7. От чего зависит уровень излучения на рабочем месте?
8. Какие имеются защитные меры от воздействия электромагнитных излучений?
9. Что такое затухание в ЗдБ?
10. Какие бывают защитные экраны по принципу действия?
11. Каковы требования к защитным экранам отражающего типа, выполненным в виде сетки?
12. Каковы особенности эксплуатации мобильных телефонов?

## **Работа № 13**

### **ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ЗАЩИТА ОТ НЕГО**

**Цель работы:** ознакомить студентов с опасными факторами лазерного излучения и методами защиты от них.

#### **1. Теоретическая часть**

##### **1.1.Общие сведения**

Оптические квантовые генераторы—лазеры являются источниками мощного монохроматического излучения видимого, инфракрасного и ультрафиолетового диапазонов. Вследствие своих уникальных свойств они нашли широкое применение в военной технике, металлургии, микроэлектронике, медицине, системах связи, голограмии, вычислительной технике, в исследовании по термоядерному синтезу и многих других областях. Лазеры непрерывно совершенствуются. Появляются новые области их применений, возрастает количество лиц, занятых обслуживанием лазерных установок и, следовательно, необходимо учитывать возникающие в этом случае опасности.

##### **1.2.Основные характеристики лазерного излучения**

**Лазерное излучение (ЛИ)** является электромагнитным излучением с длиной волны 0,2...100мкм. Этот диапазон может быть разбит в соответствии с биологическим действием на ряд областей спектра:

1-й диапазон - от 180 до 380нм - ультрафиолетовая область;

2-й диапазон - от 380 до 1400нм - видимая и ближняя инфракрасная области;

3-й диапазон - от 1400 до  $10^5$ нм - дальняя инфракрасная область.

С энергетической точки зрения лазерное излучение характеризуется следующими параметрами:

- энергетической облученностью (освещенностью) Е, определяемой как отношение потока излучения, падающего на рассматриваемый малый участок поверхности, к площади этой поверхности, Вт/см<sup>2</sup>;

- энергетической экспозицией Н, определяемой как отношение энергии излучения, падающей на рассматриваемый участок поверхности, к площади этой поверхности, Дж/см<sup>2</sup>. Энергетическую экспозицию можно определять также как произведение энергетической освещенности в Вт/см<sup>2</sup> на длительность облучения в сек.

Лазерное излучение обладает высокой монохроматичностью и когерентностью, а также малой расходимостью луча. Это позволяет получать исключительно высокие уровни концентрации энергии в лазерном луче: плотность энергии до  $10^{12}$ Дж/см<sup>2</sup> и плотность мощности до  $10^{22}$ Вт /см<sup>2</sup>. По виду излучения лазерное излучение делится на:

- а) коллимированное (прямое и зеркально отраженное) лазерное излучение - излучение, заключенное в ограниченном телесном угле;
- б) зеркально отраженное лазерное излучение - излучение, отраженное от поверхности под углом, равным углу падения излучения;
- в) рассеянное лазерное излучение - излучение, рассеянное от вещества, находящегося в составе среды, сквозь которую проходит излучение;
- г) диффузно отраженное лазерное излучение - излучение, отраженное от поверхности по всевозможным направлениям в пределах полусферы.

Лазер может работать как в импульсном режиме, так и в непрерывном. **Непрерывным** лазерным излучением является излучение, существующее в любой момент времени наблюдения, а **импульсным** – излучение, существующее в ограниченном интервале времени, меньшим времени наблюдения.

### 1.3. Воздействие лазерного излучения на человека

При эксплуатации лазерных установок обслуживающий персонал может подвергаться воздействию большого числа опасных и вредных факторов.

Все эти факторы подразделяются на: **основные и сопутствующие**.

К **основным** относятся собственно монохроматическое когерентное лазерное и паразитное излучения (отраженное и рассеянное).

К **сопутствующим** - факторы, которые возникают на лазерных участках при эксплуатации лазеров и другого оборудования, такие как шум, вибрации, электромагнитные и ионизирующие излучения, наличие высоких напряжений, а также наличие вредных веществ. Под влиянием этих факторов может происходить нарушение функционирования, как отдельных органов человека, так и всего организма в целом.

Наибольшую опасность ЛИ представляет для органов зрения. Практически на всех длинах волн внутрь глаза свободно проникает лазерное излучение. Лучи света, прежде чем достигнуть сетчатки глаза, проходят последовательно через несколько преломляющих сред: роговицу, хрусталик и, наконец, стекловидное тело. При рассмотрении воздействия лазерного излучения на орган зрения необходимо отдельно разбирать действие излучения в интервале длин волн 0,4-1,4 мкм и вне этого интервала, где оптические среды глаза являются непрозрачными. Облученность, создаваемая ЛИ на сетчатке, вследствие фокусирующего действия хрусталика (имеет вид двояковыпуклой линзы) в десятки и сотни тысяч раз может быть выше, нежели облученность, создаваемая на роговице и других частях глаза. Кроме того, следует учитывать, что глаз человека адаптирован к видимому диапазону светового потока и является более чувствительным в данном случае к воздействию света. Как показывает анализ, величина облученности на сетчатке будет определяться мощностью ЛИ, его апертурой и углом расходимости, а также диаметром

зрачка. Длительное облучение сетчатки в видимом диапазоне на уровнях, не намного меньших порога ожога, может вызывать в ней необратимые изменения. Повреждение сетчатки обязательно сопровождается нарушением функции зрения. Клетки сетчатки, как и клетки центральной нервной системы, после повреждения не восстанавливаются.

В **ультрафиолетовом диапазоне** ЛИ оказывает наибольшее воздействие на роговицу, которая является непрозрачной для оптического излучения данных длин волн и поглощает до 80% всей энергии излучения.

В **инфракрасном диапазоне** ЛИ может нанести вред роговице, а также радужной оболочке и хрусталику.

Первой линией защиты организма человека от повреждения ЛИ является кожа, которая представляет собой важный физиологически активный орган, обширные повреждения которого могут привести к гибели организма. Степень повреждения кожи зависит от поглощенной энергии, а сами повреждения могут быть различными: от легкого покраснения (эрите́мы) до обугливания. Минимальное повреждение кожи образуется при воздействии ЛИ с энергетической экспозицией 0,1–1Дж/см<sup>2</sup> (в зависимости от степени пигментации кожи и длительности воздействия). Наибольшее биологическое воздействие на кожу оказывает ЛИ с длинами волн 0,28–0,32мкм. При длительном или интенсивном облучении в коже могут возникать злокачественные образования, происходить ее старение.

ЛИ **дальней инфракрасной области спектра** способно проникать через ткани тела и взаимодействовать с биологическими структурами на значительной глубине, поражая внутренние органы. Наибольшую опасность для внутренних органов представляет сфокусированное ЛИ. Однако следует учитывать, что и не сфокусированное излучение может фокусироваться в глубине тела человека. Кроме того, следует учитывать воздействие ударной волны, возникающей при работе мощных лазеров в импульсном режиме. Степень повреждения в значительной степени определяется энергетической облученностью и цветом окраски органа. Печень является одним из наиболее уязвимых органов.

В целом, ЛИ оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека. Наблюдающиеся патологические изменения проявляются в виде функциональных расстройств центральной нервной системы, нарушения сердечнососудистой регуляции, что проявляется в неустойчивости артериального давления, замедлению пульса, повышенной потливости. У операторов лазерных установок иногда наблюдают повышенную раздражительность, утомляемость глаз и всего организма. Имеются данные об изменении состава крови (уменьшении эритроцитов, лейкоцитов, гемоглобина и т.д.). Все это свидетельствует о том, что у них возникают изменения как патологического характера, обусловленные тепловым действием излучения, так и функционального, обусловленные скрытыми

биологическими эффектами.

#### **1.4.Классификация лазеров по степени опасности**

Лазерное излучение нормируется по **пределенно допустимым уровням (ПДУ)** ПДУ - это уровни лазерного облучения, при которых в условиях ежедневной работы не появляются у работающих заболевания, отклонения в состоянии здоровья. За *ПДУ* лазерного излучения принимаются энергетические экспозиции облучаемых тканей (Дж/см<sup>2</sup>) - отношение энергии излучения, падающей на рассматриваемый участок, к площади этого участка, т.е. произведение энергетической освещенности (Вт/см<sup>2</sup>) на длительность облучения (с).

Определение класса лазера основано на сравнении его выходной энергии (мощности) и допустимых пределов излучения (ДПИ) согласно ГОСТ Р 50723-94 или предельно допустимого уровня (*ПДУ*) согласно СанПиН 5804-91, СанПиН 1.2.3685-21, а также ГОСТ IEC 60825-1, при однократном воздействии генерируемого излучения. Под однократным воздействием лазерного излучения понимается случайное воздействие с длительностью, не превышающей  $3 \cdot 10^4$  сек.

Под *ПДУ при однократном воздействии* понимается уровень излучения, при котором существует незначительная вероятность возникновения обратимых отклонений в организме работающих.

А *ПДУ при хроническом воздействии* - уровень излучения, при воздействии которого при работе установленной продолжительности в течение трудового стажа не возникает отклонений в состоянии здоровья в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

По степени опасности лазеры согласно ГОСТ Р50723-94, «Санитарным нормам и правилам устройства и эксплуатации лазеров» № 5804-91, СанПиН 1.2.3685-21 подразделяются на *четыре класса*:

1-й класс - выходное коллимированное излучение не представляет опасности для глаз и кожи, т.е. лазерные изделия безопасны при предполагаемых условиях эксплуатации;

2-й класс - выходное излучение (в диапазоне длин волн от 400 до 700нм) представляет опасность при облучении глаз коллимированным пучком. Защита глаз помимо изложенных ниже, обеспечивается естественными реакциями, включая рефлекс мигания;

3-й класс - выходное излучение представляет опасность при облучении глаз коллимированным, а также диффузно отраженным излучением на расстоянии 10см от отражающей поверхности, и (или) при облучении кожи коллимированным излучением. Дополнительно можно отметить, что класс 3 согласно ГОСТ делится на два класса: 3А и 3В. Непосредственное наблюдение пучка, испускаемого лазерными изделиями класса 3А с помощью оптических инструментов, может быть опасным.

Непосредственное наблюдение же лазерного излучения изделий класса 3В всегда опасно;

4-й класс - выходное излучение представляет опасность при облучении кожи диффузно отраженным излучением на расстоянии 10см. от отражающей поверхности. Такие лазерные изделия создают опасное рассеянное излучение.

Классификация лазеров в данной работе проводится по выходным характеристикам излучения расчетным методом согласно ГОСТ Р50723 – 94, в соответствии с табл.13.1, где приведены расчетные соотношения для определения допустимого предела излучения в случае непрерывного лазерного излучения видимого диапазона. При этом ЛИ относится к конкретному классу опасности, если ЛИ, проходящее через апертуру, превышает ДПИ для всех более низких классов, но не превышает ДПИ для класса, к которому изделие отнесено.

Таблица 13.1

**Допустимые пределы излучения для лазерных изделий при длительности воздействия  $t=0,25 - 10$  с на длинах волн 400 - 700 нм**

Класс опасности лазера	ДПИ
1	$7 \cdot 10^{-4} t^{0.75} C$ , Дж
2	$C \cdot 10^{-3}$ , Вт
3А	$5 \cdot 10^{-3}$ , Вт
3В	0,5 Вт

*Примечание.*  $C = 1$  для  $\alpha \leq \alpha_{\min}$ ;  $C = \alpha / \alpha_{\min}$  для  $\alpha_{\min} < \alpha$ .

$a_{\min} = 1,5$  мрад для  $t < 0,7$  с и  $a_{\min} = 2t^{0.75}$  мрад для  $0,7 \leq t < 10$  с.

Угловой размер источника излучения  $\alpha$  определяется по формуле

$$\alpha = \frac{2}{R} \sqrt{\frac{S \cos \theta}{\pi}}, \text{ рад}, \quad (13.1)$$

где  $S$  - площадь источника излучения (лазерного луча);  $R$  - расстояние от точки наблюдения до источника;  $\theta$  - угол между нормалью к поверхности источника и направлением визирования (при выполнение данной работы равен 0 рад.).

Учитывая, что  $S = \pi r^2$ , и угол  $\theta = 0$ , соотношение (13.1) имеет более простой вид:  $\alpha = \frac{2r}{R}$ , рад.

Под **апертурой  $r$**  понимается радиус отверстия в защитном кожухе лазера, через которое проходит лазерное излучение. Практически апертура составляет величину в единицы миллиметров. В «Правилах» предельно допустимые уровни излучения приводятся для апертур  $2r=1.1 \cdot 10^{-3}$  м и для  $2r=7 \cdot 10^{-3}$  м.

## **1.5.Защитные мероприятия при эксплуатации лазерных установок**

Все защитные мероприятия при эксплуатации лазерных установок согласно нормативным документам можно разделить на конструктивные и эксплуатационные. Естественно, что степень защитных мероприятий должна соответствовать классу опасности лазера. Так, например, при работе с лазером 1 класса опасности никаких мер защиты не требуется.

## **1.6.Требования к конструкции лазерных изделий**

Лазерное изделие должно иметь защитные устройства, предотвращающие несанкционированное воздействие на персонал ЛИ, превышающее ДПИ для класса 1, а также блокировки с целью обеспечения безопасности при техническом обслуживании.

Лазеры 3-х и 4-го класса опасности должны быть снабжены визуальными и (или) звуковыми устройствами предупреждения о лазерной опасности. Визуальный предупредительный сигнал должен отличаться интенсивностью или прерывистостью и быть хорошо виден через защитные очки. Звуковой предупредительный сигнал должен представлять собой последовательность звуковых импульсов не менее 0,2 с.

Лазеры 3-го и 4-го классов должны быть также снабжены съемным ключом управления. Пульт (панель) управления лазерными изделиями должен размещаться так, чтобы не происходило облучения персонала. Лазерные изделия классов 3В и 4, как правило, должны иметь дистанционное управление.

Лазеры ультрафиолетового и инфракрасного диапазонов 3-го и 4-го классов опасностей должны иметь встроенный лазер 1-го класса видимого диапазона для определения места положения траектории излучения.

## **1.7.Требования к эксплуатации лазерных изделий**

Лазерные изделия 3-4-го классов до начала их работы должны быть приняты комиссией, назначенной администрацией учреждения, с обязательным включением в состав комиссии представителей Госсанэпиднадзора.

Безопасность на рабочих местах при эксплуатации лазерных изделий должна обеспечиваться соответствующей организацией рабочего места.

Основное условие безопасной работы - исключение возможности воздействия ЛИ на персонал, или чтобы его величина не превышала ДПИ для класса 1. Поэтому между лазерными изделиями 3-4-го классов рекомендуемые расстояния со стороны пультов управления составляют не менее 1,5м при однорядном расположении и не менее 2м при двухрядном. Траектория прохождения лазерного луча должна быть заключена в оболочку из несгораемого материала или иметь ограждение, снижающее уровень лазерного излучения при визуальном наблюдении лазерного пучка до ДПИ для класса 1 и исключающие бесконтрольное попадание лазерного

пучка на зеркально отражающие поверхности. Оболочка или ограждение траектории лазерного пучка должны иметь предупреждающую надпись (знак лазерной опасности). Защитные экраны должны быть изготовлены из огнестойкого и непроницаемого для лазерного излучения материала.

Открытые траектории излучения лазеров 2-4 классов опасности в зоне возможного нахождения человека должны располагаться значительно выше уровня глаз. Минимальная высота траектории составляет величину 2,2 м. Пучок излучения лазеров 2-4 классов опасности должен ограничиваться на конце полезной траектории диффузным поглотителем или отражателем.

Лазерные изделия классов 3В и 4 должны эксплуатироваться, как правило, в специально выделенных помещениях.

Запрещается осуществлять наблюдение прямого и зеркально отраженного лазерного излучения при эксплуатации лазеров 2-4 классов опасности без средств индивидуальной защиты и размещать в зоне лазерного пучка предметы, вызывающие его зеркальное отражение.

**К основным организационным мерам защиты от ЛИ относятся:**

- Лазерные изделия III—IV класса до начала их эксплуатации должны быть приняты комиссией с обязательным включением в ее состав представителей Ростехнадзора.

- Персонал, допускаемый к работе с лазерными изделиями, должен пройти инструктаж и специальное обучение безопасным приемам и методам работы.

- При эксплуатации лазеров 3-го и 4-го классов опасности должно назначаться лицо, ответственное за охрану труда при их эксплуатации.

Оценка степени опасности лазера определяется путем дозиметрического контроля.

## **2. Практическая часть**

### **2.1. Описание лабораторной работы №13 (в ауд.106 ГК1)**

Лабораторная установка размещена в аудитории 106 ГК1 (ЛР № 13).

Основа установки: полупроводниковый лазер типа **SLD1122VS**.

Напряжение подается на лазер от низковольтного ( $U=3\text{V}$ ) источника тока ( $8-30\text{mA}$ ). Для измерения мощности потока лазерного излучения используется измеритель типа **ИМЛ-1**, содержащий фоточувствительный приемник **1** и измерительный блок **2** (рис.13.1). Принцип работы прибора основывается на измерении фототока приемника, преобразовании его величины в цифровой код с выводом полученного результата на цифровое табло.

### **2.2. Условия проведения лабораторной работы № 13 (ауд.106 ГК)**

В экспериментальной части работы измеряют мощность излучения полупроводникового лазера типа **SLD1122VS** длиной волны  $633\text{nm}$  и с выходной мощностью не более  $5\text{mWt}$ . Далее на основании полученных

экспериментальных данных о выходной мощности ЛИ по данным задания, согласно приведенным в таблице 7.1 соотношениям, производят расчет ДПИ (допустимых пределов излучения) и определение класса опасности лазера. Затем выбирают необходимые меры безопасности и средства защиты при работе с данным лазером.

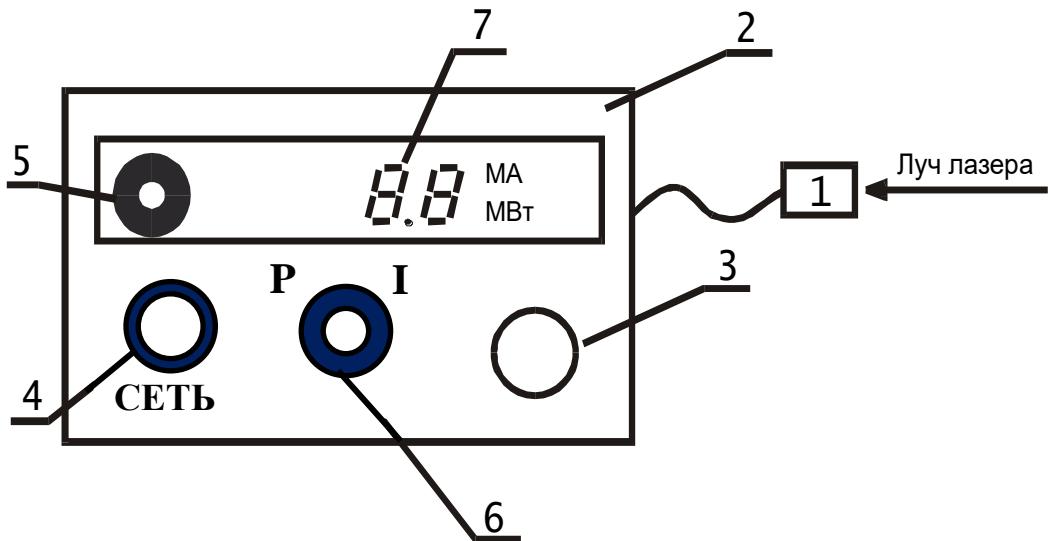


Рис.13.1. Схема установки.

### 2.3. Порядок проведения лабораторной работы № 13 (ауд.106 ГК)

1. **Подготовить** к работе прибор ИМЛ-1 (рис.7.1): клавишу «Сеть» (4) установить в отжатое положение; переключатель режима измерения (6) установить в положение «I» (для измерения тока), ручку установки тока лазера 3 повернуть плавно против часовой стрелки до упора (при этом упор ощущается еле заметно).

2. **Включить** прибор в сеть - нажать клавишу «Сеть» (4) - на табло высветятся индикатор включения (5) и цифровой индикатор (7). Установить переключатель 6 в положение измерения тока лазера «I» (в мА) (при крайнем левом положении ручки 3 ток I будет = 8mA).

3. **Установить** ручкой (3) последовательно значения тока, согласно заданию к работе (табл.13.2).

4. Переключатель (6) **установить** в положение «P» для измерения мощности лазера - Р (в мВт). (При максимальном значении тока, указанного в задании, мощность должна составлять величину не менее 2мВт.).

5. **Повторить** процедуру по пунктам 3-4 для каждого значения тока лазера, указанного в задании. Затем установить переключатель (6) в положение «I» и ручкой 3 выставить значение тока I для проведения следующего эксперимента согласно заданию.

6. Согласно заданию **проводести** измерение мощности лазерного излучения со светофильтрами. При измерении необходимо установить максимальное значение тока I, указанное в задании.

Результаты измерений и исходные данные для расчета вписать в таблицу отчета.

Обработать экспериментальные данные: построить график зависимости мощности излучения от тока лазера, определить ДПИ по таблице 13.1, который зависит от длины волны лазерного излучения, длительности воздействия, углового размера источника, апертуры излучения и т.д.

По данным варианта задания и измеренной мощности лазерного излучения и приведенным соотношениям определить класс опасности лазера для заданных значений тока.

Таблица 13.2

**Варианты заданий лабораторной работы**

№ варианта	Величина устанавливаемого тока, мА	Данные для расчета ДПИ			Тип светофильтров и их характеристики
		Апертура r, м	Расстояние от источника R, м	Время наблюдения t, с	
1	10; 15; 20; 25; 30	0,001	1	0,75	п-20, п-50, п-90
2	8; 14; 19; 24; 30	0,001	0,5	1,5	ж-50, п-50, с-50
3	10; 13; 18; 25; 29	0,002	0,8	2,5	п-10, п-50, п-90
4	9; 14; 18; 24; 30	0,007	2	2,5	п-20, п-50, п-99
5	10; 16; 21; 25; 29	0,007	1	3	ж-30, п-30, с-30

*Примечание.* Обозначения: **п** – пурпурный, **ж** – желтый, **с** – синий. Цифры – оптическая плотность светофильтров в процентах.

Расстояние от источника излучения используется только для расчета и не изменяется в эксперименте.

7. Рассчитать коэффициент затухания D используемых светофильтров согласно соотношению  $D = \frac{P_o}{P_{cb}}$ ,

где  $P_o$  - мощность излучения без светофильтров;

$P_{cb}$  - мощность излучения с применением светофильтров.

8. По полученным результатам указать, какие опасные и вредные факторы действуют на человека при работе с лазером данного класса, и какие необходимо принять меры безопасности.

## **Расчетное задание лабораторной работы № 13**

**При невозможности провести измерения** необходимо определить класс опасности лазера по заданной мощности излучения на рабочем месте согласно варианту задания (табл.13.3), используя соотношения, приведенные в описании и данные табл.13.1. Также рассчитать коэффициент затухания светофильтра  $D$ , необходимый для обеспечения безопасных условий эксплуатации лазера (снижение мощности излучения до допустимой для лазера 1-го класса опасности).

Таблица 13.3

**Заданная мощность на рабочем месте**

№ варианта	Заданная мощность лазерного излучения $P$ , мВт		
	$P_1$	$P_2$	$P_3$
<b>1</b>	0,2	1,8	8
<b>2</b>	0,3	2,0.	10
<b>3</b>	0,4	2,2	15
<b>4</b>	0,5	2,4	25
<b>5</b>	0,6	3,0	50

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Виды лазерного излучения и его основные характеристики.
2. Особенности воздействия лазерного излучения на глаза.  
Его воздействие на кожу.
3. Что опаснее непрерывное или импульсное лазерное излучение и почему?
4. Какие классы лазеров по степени опасности существуют?  
Дать определение всех классов лазеров.
5. Что понимают под предельно допустимым уровнем (ПДУ) лазерного излучения при однократном и хроническом воздействиях?
6. От чего зависит ПДУ лазерного излучения?
7. Защитные меры от воздействия излучения лазеров 2-го класса опасности и 3-го - 4-го классов опасности.
8. Области практического применения лазеров.

## Работа № 14

### ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

**Цель работы:** ознакомление с видами ионизирующих излучений, с особенностями их воздействия на организм человека, вопросами их нормирования. Получение практических навыков пользования виртуальным дозиметром - аналогом реального. Изучение защитных мер от воздействия ионизирующих излучений.

#### 1. Теоретическая часть.

##### 1.1. Общие сведения.

Излучения, взаимодействия которых со средой приводят к образованию ионов разных знаков и радикалов, называются **ионизирующими**. При этом различают **корпускулярное** и **фотонное** излучения.

**Корпускулярное излучение** представляет собой поток элементарных частиц:  $\alpha$  – и  $\beta$  – частицы, нейтроны, протоны, мезоны и др. Элементарные частицы возникают при радиоактивном распаде, ядерных превращениях или генерируются на ускорителях. Заряженные частицы в зависимости от величины кинетической энергии могут вызывать непосредственно ионизирующее излучение при столкновении с веществом. Нейтроны и другие нейтральные элементарные частицы при взаимодействии с веществом непосредственно ионизации не производят, но в процессе взаимодействия со средой они высвобождают заряженные частицы (электроны, протоны и т.д.), способные ионизировать атомы и молекулы среды, через которую они проходят. Такие излучения принято называть **косвенными ионизирующими** излучениями.

К **фотонному излучению** относят: **гамма-излучение, характеристическое, тормозное, рентгеновское излучения**.

Указанные излучения представляют собой электромагнитные колебания очень высоких частот ( $3 \cdot 10^{17} - 3 \cdot 10^{22}$  Гц), которые возникают при изменении энергетического состояния атомных ядер (**гамма - излучение**), перестройке внутренних электронных оболочек атомов (**характеристическое**), взаимодействии заряженных частиц с электрическим полем (**тормозное**) и других явлениях. Фотонное излучение также является косвенно ионизирующим. Кроме ионизирующей способности к основным характеристикам ионизирующих излучений относятся: энергия (измеряемая в электрон- вольтах), проникающая способность, активность, определяемая количеством распадов в единицу времени. Характеристикой активности радионуклида (самопроизвольного распада) является отношение числа спонтанных ядерных превращений, происходящих в источнике за единицу времени. Единицей

радиоактивности является **беккерель (Бк)**. Беккерель равен активности радионуклида в источнике, в котором за время 1с происходит одно спонтанное ядерное превращение. Внесистемная единица активности - **кири (Ки)**.  $1\text{Ki} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{Бк}$ . Активность радионуклидов зависит от времени. Время, в течение которого распадается половина исходных атомов, называется **периодом полураспада**. Так, например, период полураспада йода  $I_{53}^{131}$  8,05 суток, а у урана  $U_{92}^{238}$  - 4,5млрд. лет.

**Источником излучения** называют объект, содержащий радиоактивный материал или техническое устройство, испускающее или способное в определенных условиях испускать излучение. К числу таких объектов относятся: радионуклиды, ядерные устройства (ускорители, атомные реакторы), рентгеновские трубы.

Технологии, методики и приборы, использующие ионизирующие излучения, получили широкое распространение в промышленности, в медицине и науке. Это, в первую очередь, атомные электростанции, надводные и подводные корабли с атомными установками, рентгеновские установки для медицинского, научного и промышленного назначения и др.

## **1.2.Биологическое воздействие излучений.**

Излучение является вредным фактором для живой природы и, особенно, для человека. Биологически вредное воздействие излучения на живой организм определяется, в первую очередь, дозой поглощенной энергии и производимым при этом эффектом ионизации, т. е. плотностью ионизации. Большая часть поглощенной энергии расходуется на ионизацию живой ткани, что нашло свое отражение и в определении излучений как ионизирующих.

**Ионизирующие излучения** оказывают на биологическую ткань прямое и непрямое воздействие. Прямое - это разрыв внутриатомных и внутримолекулярных связей, возбуждение атомов или молекул, образование свободных радикалов. Наиболее важное значение имеет *радиолиз воды*. В результате радиолиза образуются высоко реактивные радикалы, которые вызывают вторичные реакции окисления по любым связям, вплоть до изменения химического строения ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) с последующими генными и хромосомными мутациями. В этих явлениях и заключается опосредованное (непрямое) действие излучения. При этом следует отметить, что особенность воздействия ионизирующих излучений состоит в том, что в химические реакции, индуцированные реактивными радикалами, вовлекаются сотни и тысячи молекул, не затронутых непосредственно излучением. Таким образом, результат воздействия ионизирующих излучений в отличие от других видов излучений зависит в большей степени от формы, в которой их энергия передается биологическому объекту.

Негативные последствия воздействия ионизирующих излучений на организм человека условно делятся на *соматические* и *генетические*. Генетические эффекты воздействия излучений проявляются в отдаленные промежутки времени у потомства облученных. Соматические последствия, в зависимости от степени и характера облучения, могут проявляться непосредственно в виде острой или хронической формы лучевой болезни.

**Лучевая болезнь**, в первую очередь, характеризуется изменением состава крови (уменьшением числа лейкоцитов в крови - лейкопенией), а также появлением тошноты, рвоты и под кожных кровоизлияний, изъязвлений. Острая форма лучевой болезни возникает у человека при однократном облучении выше 100Р (рентген) - 1 степень лучевой болезни, а при 400Р (3-я степень) наблюдается 50% смертельных случаев, что связано в первую очередь с потерей иммунитета. При экспозиционной дозе выше 600Р (4-я степень) погибают 100% облученных. В отношении поражения от ионизирующего излучения природа поставила человека в самые тяжелые условия по сравнению с другими живыми существами. Так, средние смертельные дозы (50%) составляют: обезьяна - 550Р, кролик - 800Р, черви - 20000Р, а амеба – 100 000Р, вирусы - более 1 000 000Р.

### 1.3. Единицы доз.

Общей единицей (мерой) воздействия ионизирующего излучения на человека является **доза**. Различают следующие основные виды доз: *поглощенная, эквивалентная, эффективная, экспозиционная*.

**Доза поглощенная ( $D$ )** - величина энергии ионизирующего излучения переданная веществу:  $D = dE / dm$

где:  $dE$  – средняя энергия, переданная ионизирующем излучением веществу, находящемуся в элементарном объеме,

$dm$  – масса вещества в этом объеме.

**Доза эквивалентная ( $H$ )** - сумма поглощенных доз в органах или тканях, умноженных на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения  $W_i$

$$H = \sum_i D_i W_i$$

где:  $D_i$  - средняя поглощенная доза в органе или ткани

$i$ -того ионизирующего излучения.

Взвешивающие коэффициенты учитывают относительную опасность различных видов излучения в индуцировании неблагоприятных биологических эффектов и зависят от ионизирующей способности излучений, а также от энергии. Для различных видов излучения значения взвешивающих коэффициентов составляют:

фотоны любых энергий, электроны..... 1

нейтроны с энергией менее 10кэВ..... 5

от 10кэВ до 100кэВ..... 10

альфа-частицы..... 20

**Доза эффективная ( $E$ )** - величина, используемая как мера риска

возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет собой сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты:

$$E = \sum_k W_k H_k$$

где:  $W_k$  - взвешивающий коэффициент для органа или ткани, который характеризует относительный риск на единицу дозы по выходу отдаленных последствий при облучении данного органа по отношению к облучению всего тела.

При облучении организма в целом  $W_k = 1$ , а при облучении отдельных органов  $W_k$  составляет: гонады (половые железы) - 0,2; желудок, легкие - 0,12; печень - 0,05; кожа, кости - 0,01 и т.д.  $H_k$  - эквивалентная доза в соответствующем органе или ткани.

**Экспозиционная доза ( $X$ )** - это количественная характеристика фотонного излучения, основанная на его ионизирующем действии в сухом атмосферном воздухе. Представляет собой отношение суммарного заряда ( $dQ$ ) ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении всех вторичных электронов и позитронов, которые были образованы фотонами в малом объеме воздуха, к массе воздуха ( $dm$ ) в этом объеме (справедливо для фотонного излучения с энергией до 3МэВ):

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

На практике в качестве характеристики ионизирующего излучения широко используется единица **рентген (Р)**, которая является внесистемной единицей экспозиционной дозы (при прохождении излучения через 1 куб.см воздуха создаются ионы, несущие заряд в 1 электростатическую единицу каждого знака). Экспозиционную дозу в рентгенах и поглощенную дозу в радах для биологических тканей можно считать совпадающими с погрешностью до 5%, которая вызвана тем, что экспозиционная доза не учитывает ионизацию, обусловленную тормозным излучением электронов и позитронов.

Единицы измерения доз в системе СИ и внесистемные единицы измерения приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1

Доза	Единицы СИ	Внесистемные единицы
<b>Поглощенная</b>	Дж/кг, Грей (Гр)	1 рад=0,01Гр
<b>Эквивалентная</b>	Зиверт (Зв)	1 бэр=0,01Зв
<b>Эффективная</b>	Зиверт (Зв)	
<b>Экспозиционная</b>	Кулон/кг, (Кл/кг)	Рентген (Р); 1Р=2,58 · 10 <sup>-4</sup> Кл/кг 1 Р = 1 рад = 0,013 Зв (в биол.тканях)

Для характеристики изменения дозы во времени вводится понятие **мощности дозы**. Мощность экспозиционной, поглощенной и эквивалентной доз соответственно определяются:

$$P_3 = \frac{dX}{dt}; P_n = \frac{dD}{dt}; P_{\text{экв}} = \frac{dH}{dt} .$$

#### **1.4.Нормы радиационной безопасности.**

Основным документом, регламентирующим допустимые уровни воздействия излучений на организм человека, в нашей стране, является «Нормы радиационной безопасности» (НРБ – 99/2009) и «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности» (ОСПОРБ-99/2009). С целью снижения необоснованного облучения нормирование осуществляется дифференцированно для различных категорий облучаемых лиц, в зависимости от условий контакта с источниками излучений и места проживания.

Нормы устанавливают следующие категории облучаемых лиц:

- персонал (группы А и Б);
- все население, включая лиц из персонала вне сферы и условий их производственной деятельности.

Нормы облучения также дифференцированы в отношении различной радиочувствительности органов и частей тела человека.

Для каждой категории облучаемых лиц устанавливаются три класса нормативов: *основные дозовые пределы, допустимые уровни и контрольные уровни*. Основные дозовые пределы приведены в таблице 8.2.

**Предельно допустимая доза** (ПДД) - наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы за год, которое при равномерном воздействии в течение 50 лет не вызовет в состоянии здоровья персонала неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.

**Предел дозы** (ПД) - предельная эквивалентная доза за год для ограниченной части населения. ПД устанавливают меньшим, чем ПДД в 10 раз для предотвращения необоснованного облучения этого контингента людей. Значения ПДД и ПД в зависимости от группы критических органов приведены ниже в таблице 8.2.

Закономерности биологического эффекта излучения на живую ткань определяют основные принципы защиты - снижение плотности потока излучения и времени его действия. Время контакта с излучением в режиме нормальной эксплуатации установки является *регулируемым и контролируемым параметром*. Плотность облучающего потока зависит от мощности источника, его физических характеристик и инженерной защиты источника.

#### **1.5.Защитные мероприятия.**

Под инженерной защитой понимают любую среду (материал),

расположенную между источником и зоной размещения людей или оборудования для ослабления потоков ионизирующих излучений. Защиту принято классифицировать по назначению, типу, компоновке, форме и геометрии. По назначению защиту подразделяют на биологическую, радиационную и тепловую.

Биологическая защита должна обеспечивать уменьшение дозы облучения персонала до предельно допустимых уровней. При радиационной защите должна быть обеспечена степень радиационных повреждений различных объектов, подвергающихся облучению, до допустимых уровней. Тепловая защита обеспечивает снижение радиационного энерговыделения в защитных композициях до допустимых уровней.

Таблица 8.2.

**Основные пределы доз.**

<b>Нормируемые величины</b>	<b>Пределы доз</b>	
	<b>Персонал (группа А)*</b>	<b>Лица из населения</b>
<b>Эффективная доза</b>	20мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50мЗв в год	1мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5мЗв в год
<b>Эквивалентная доза за год:</b> - в хрусталике глаза, - коже, - кистях и стопах	150мЗв 500мЗв 500мЗв	15мЗв 50мЗв 50мЗв

\* Примечание: дозы облучения для персонала группы Б не должны превышать  $\frac{1}{4}$  значений для персонала группы А. Персонал группы А - сотрудники, работающие непосредственно с источниками ионизирующих излучений. Персонал группы Б - остальные сотрудники, которые могут подвергнуться облучению.

Основными свойствами излучений, определяющими условия безопасности обращения с ними, являются *ионизирующая* и *проникающая* способность. Ионизирующая способность излучения отражена в значении взвешивающего коэффициента  $W_i$ , а проникающая - характеризуется величиной линейного коэффициента поглощения.

Закон ослабления излучения в веществе, в зависимости от его толщины ( $x$ ), можно записать в следующем виде:

$$\varphi(x) = \varphi(0)e^{-\mu x} \quad (8.1)$$

где:  $\varphi(0)$ ,  $\varphi(x)$  - плотности потока излучения, соответственно, на входе  $\varphi(0)$  и на выходе  $\varphi(x)$  из вещества толщиной  $x$ ;

$\mu$  - линейный коэффициент ослабления излучения в веществе.

Формула (8.1) может быть записана в следующем виде:

$$n_0 - n_\phi = (n - n_\phi) e^{-\mu x} \quad (8.2)$$

где:  $n$  - скорость счета импульсов тока при наличии защитного материала толщиной  $x$ , имп/с,

$n_\phi$  - скорость счета импульсов тока за пределами зоны влияния источника излучения, т.е. фона, имп/с,

$n_0$  - скорость счета импульсов тока без защитного материала, имп/с.

Из формулы (8.2) выводим выражение для расчета линейного

$$\text{коэффициента ослабления: } \mu = \frac{1}{x} \ln \frac{n_0 - n_\phi}{n - n_\phi} \quad (8.3)$$

Поглощение излучения в веществе зависит от природы излучения, а также от состава и плотности самого вещества. Ниже - в таблице 8.3 представлена зависимость коэффициента ослабления для излучения фотонной природы.

Таблица 8.3

**Зависимость коэффициента ослабления для излучения фотонной природы**

Энергия гамма-излучения, МэВ	Коэффициент ослабления, см <sup>-1</sup>			
	воздух	оргстекло	железо	свинец
0,1	0,198	0,172	2,81	59,9
0,5	0,111	0,006	0,82	1,67
1,0	0,081	0,07	0,45	0,75
2,0	0,057	0,05	0,33	0,51
5,0	0,036	0,03	0,24	0,48
10,0	0,026	0,022	0,23	0,62

Поглощение корпускулярных ионизирующих излучений происходит значительно интенсивнее фотонных. Это можно объяснить либо наличием у частиц, ионизирующих вещество, электрического заряда, либо при его отсутствии наличием значительной массы ионизирующих частиц (нейтронов). Поглощение корпускулярных излучений удобно характеризовать величиной свободного пробега частиц в веществе.

В таблице 8.4 представлены типичные значения свободных пробегов частиц в воздухе для  $\alpha$ -,  $\beta$ - и протонного излучений.

Таблица 8.4

**Типичные значения свободных пробегов частиц в воздухе для  $\alpha$ -,  $\beta$ - и протонного излучений**

Вид ионизирующего излучения	Диапазон энергии, МэВ	Диапазон свободных пробегов, см
$\alpha$	4,0 - 10,0	2,5-10,6
$\beta$	0,01-8,00	22-1400
протонное	1,0-15,0	0,002-0,003

## **1.6.Геометрическое ослабление излучений.**

Геометрические источники могут быть *точечными и протяженными*. Протяженные источники представляют собой суперпозицию точечных источников и могут быть линейными, поверхностными или объемными. Физически точечным можно считать такой источник, максимальные размеры которого много меньше расстояния до точки детектирования и длины свободного пробега в материале источника.

Для точечных источников поток излучения, кроме указанной выше закономерности ослабления при прохождении в веществе, будет ослабляться за счет геометрической расходимости, подчиняющейся закону обратных квадратов:

$$\varphi(R) = \frac{I}{4\pi R^2} e^{-\mu x}$$

где  $I$  - мощность источника,  $R$  - расстояние от источника.

Так, например, ослабление за счет поглощения в воздухе, например, для источника с энергией, равной 1МэВ на расстоянии 3м, составляет 0,2%.

## **1.7.Регистрация излучений.**

Применяемые в области радиационного контроля **приборы** по своему назначению подразделяются на **дозиметры, радиометры и спектрометры**.

**Дозиметры** служат для измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения или ее мощности.

**Радиометры** служат для измерения плотности потока излучений и активности радионуклидов.

**Спектрометры** служат для измерения распределения излучений по энергии частиц или фотонов.

Основа регистрации любого вида излучений – его взаимодействие с веществом детектора. Под **детектором** понимается устройство, на вход которого поступают ионизирующее излучение и на выходе появляются регистрируемый сигнал. Тип детектора определяется природой сигнала – при световом сигнале детектор называется *сцинтилляционным*, при импульсах тока – *ионизационным*, при появлении пузырьков пара – *пузырьковая камера*, а при наличии капелек жидкости – *камера Вильсона*.

Вещество, в котором происходит преобразование энергии ионизирующего излучения в сигнал, может быть газом, жидкостью или твердым телом, что и дает соответствующее название детекторам: **газовые, жидкостные и твердотельные**.

В данной работе применялся прибор, совмещающий функции дозиметра и радиометра – переносной геологоразведочный **СРП-68-01**. Прибор состоял из выносного блока детектирования БДГЧ-01, переносного пульта, который содержал схему измерения и стрелочный прибор.

В СРП-68-01 используется сцинтилляционный детектор на основе неорганического монокристалла натрий-йод (NaI). Принцип работы детектора заключается в следующем. Излучение, взаимодействуя с веществом сцинтиллятора, создает в нем вспышки света. Фотоны света попадают на фотокатод и выбиваются из него фотоэлектроны. Ускоренные и умноженные электроны собираются на аноде. Каждому электрону, поглощенному в сцинтилляторе, соответствует импульс тока в анодной цепи фотоэлектронного умножителя, следовательно, измерению может подлежать как среднее значение анодного тока, так и число импульсов тока в единицу времени. В соответствии с этим различают *токовый* (интегрирующий) и *счетный* режимы сцинтилляционного дозиметра.

Стрелочный прибор в измерительном комплексе позволяет снимать значения для двух режимов работы дозиметра:

- мощность экспозиционной дозы, мкР/ч;
- средняя скорость счета импульсов тока, имп/с.

Однако есть существенные ограничения по использованию в учебном процессе источников ионизирующих излучений - радионуклида  $^{60}\text{Сo}$  и др. Поэтому в данной лабораторной работе экспериментальные исследования выполняются на виртуальном лабораторном стенде, основу которого составляет сцинтилляционный геологоразведочный прибор СРП-68-01. Схема виртуального стенда представлена на рис.8.1 и полностью соответствует реальной лабораторной работе.

## 2.Практическая часть

### 2.1.Условия проведения лабораторной работы № 14

Для запуска виртуальной лабораторной работы по ионизирующему гамма излучению необходимо запустить на ПК файл «W.exe».

### 2.2.Порядок проведения виртуальной лабораторной работы № 14

В открывшейся сцене виртуальной лабораторной работы, студенту необходимо выполнить подготовку используемой установки, аналогично реальной установке, то есть:

- переключить пульт измерения ионизирующего излучения из положения «Выкл» в положение «5» (см. рис.8.1);
- удалить защитную пластину перед источником гамма-квантов, если она имеется.

После установки переключателя, выполняется работа по **измерению экспозиционной дозы излучения** в зависимости от расстояния до источника излучения:

- 1). Установить датчик на максимальном расстоянии от источника согласно заданию ручками «Вперед» - «Назад».
- 2). Включить сцинтилляционный счетчик нижней желтой кнопкой на нижнем переключателе, установив его на деление «5». На верхнем

переключателе с помощью правой желтой кнопки установить переключатель пределов и режимов измерений в нижнее положение зажатием левой кнопки мыши и поворота до необходимой шкалы (30мкР/ч) измерения мощности экспозиционной дозы в мкР/ч;

3) Снять значения экспозиционной дозы с измерительной шкалы прибора (см. рис.8.1) или дублирующие показания в интерфейсе. С помощью левой кнопкой мыши производить перемещение датчика вдоль измерительной линейки и устанавливать расстояние в соответствии с вариантом задания и произвести снятие зависимости экспозиционной дозы от расстояния.

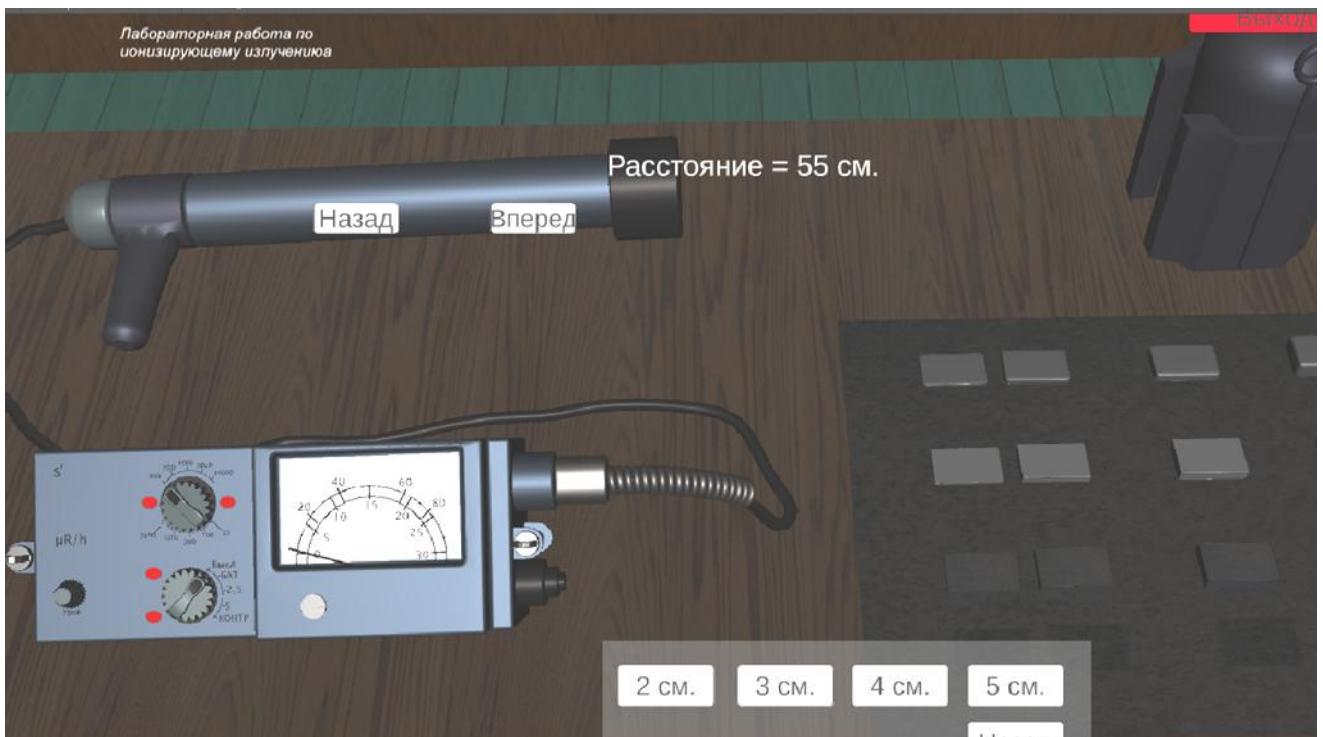


Рис.8.1. Лабораторная работа по ионизирующему излучению

Следующая часть лабораторной работы заключается в **измерении плотности потока гамма-квантов за слоями защитных материалов**.

4) Установить датчик на заданном расстоянии и перемещая экранирующие пластины заданного материала и толщины произвести измерения имп/с как без экранов, так и при их наличии. Для этого на верхнем переключателе с помощью левой желтой кнопки установить переключатель пределов и режимов измерений в верхнее положение зажатием левой кнопки мыши и поворота до необходимой шкалы «100имп/с»).

Далее с помощью левой кнопки мыши нажать на выбранный материал и затем на пластину необходимой толщины; установить ее перед источником излучения (нажав на нее кнопкой мыши). Произведя измерение имп/с для данной пластины, заменить ее, нажав левой кнопкой

мыши «Назад» и аналогично повторить процедуру для следующей пластины.

Следует отметить, что при расстояниях более 30 см мощность экспозиционной дозы и скорость счета импульсов ионизирующего излучения будут соответствовать уровню ионизирующего излучения окружающей среды.

После проведения измерений необходимо вернуть переключатели в исходное положение и выйти из программы, нажав на «Выход».

Провести обработку экспериментальных результатов, построив график зависимости экспозиционной дозы от расстояния. И провести расчет по формуле 8.3 коэффициента ослабления для различных экранирующих материалов.

### **Варианты заданий лабораторной работы**

<b>№ варианта</b>	<b>Расстояние, см</b>	<b>Материал экрана</b>	<b>Толщина экрана, см</b>	<b>Расстояние датчика до экрана, см</b>
<b>1</b>	50, 30, 15, 10, 8, 6	Железо, алюминий	Всех вариантах: 2, 3, 4, 5 см	6
<b>2</b>	45, 25, 15, 10, 9, 7	Алюминий, свинец		7
<b>3</b>	40, 30, 20, 15, 10, 7	Свинец, стекло		8
<b>4</b>	35, 25, 15, 10, 8, 6	Свинец железо		6
<b>5</b>	40, 25, 20, 15, 10, 8	Железо, стекло		8

### **Вопросы для самоконтроля.**

1. Какие известны группы ионизирующих излучений?  
Какие существуют ионизирующие излучения?  
Их основные характеристики.
2. Воздействие ионизирующих излучений на биологическую ткань.  
Особенности этого воздействия.
3. Признаки лучевой болезни. Степени лучевой болезни.
4. От чего зависит степень воздействия ионизирующих излучений на организм человека?
5. Дозы ионизирующих излучений. Их физический смысл. Единицы измерения доз. Соотношения между единицами доз.
6. Нормирование ионизирующих излучений. От чего зависят предельно допустимые дозы.
7. Что понимается под инженерной защитой от ионизирующих излучений?
8. Какие материалы обеспечивают наилучшую защиту от воздействия  $\alpha$  частиц,  $\beta$  частиц,  $\gamma$  излучения и почему?
9. Какие известны методы регистрации ионизирующих излучений.

## **Работа № 15**

### **ПЕРВАЯ ПОМОЩЬ**

**Цель работы:** обучить студентов основам оказания первой помощи.

#### **1. Теоретическая часть**

##### **1.1.Общие сведения**

**Первая помощь** – совокупность мероприятий, оказываемых гражданам при несчастных случаях, травмах, отравлениях и других состояниях и заболеваниях, угрожающих их жизни и здоровью, лицами, не имеющими, как правило, медицинского образования, с целью предотвращения острой угрозы жизни или здоровья пострадавшего до прибытия специалистов способных оказать медицинскую помощь.

Оказание первой помощи регламентируется следующими нормативными документами:

1. Федеральный закон от 21.11.2011 N 323-ФЗ "Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации".

2. Приказ Минздравсоцразвития России от 04.05.2012 N 477н "Об утверждении перечня состояний, при которых оказывается первая помощь, и перечня мероприятий по оказанию первой помощи"

В приложении Приказа Минздравсоцразвития России от 04.05.2012 N 477н (ред. от 07.11.2012) "Об утверждении перечня состояний, при которых оказывается первая помощь, и перечня мероприятий по оказанию первой помощи" дан перечень состояний, при которых оказывается первая помощь:

- Отсутствие сознания;
- Остановка дыхания и кровообращения;
- Наружные кровотечения;
- Инородные тела верхних дыхательных путей;
- Травмы различных областей тела;
- Ожоги, эффекты воздействия высоких температур, теплового излучения;
- Отморожение и другие эффекты воздействия низких температур;
- Отравления.

##### **1.2.Оценка безопасности места оказания первой помощи**

Любая деятельность должна проводиться в условиях максимально приближенных к безопасным. Оказывая первую помощь, человек - спасатель, так же сам не должен лишний раз подвергаться опасности.

Основные вопросы, на которые спасатель должен получить ответ, прежде чем приступит к оказанию первой помощи:

- Что произошло?
- Что явилось причиной происшедшего?
- Количество пострадавших?
- Сохраняется ли опасность для вас и пострадавшего (пострадавших)?
- Можно ли кого-нибудь привлечь для оказания помощи?
- Следует ли вызывать скорую помощь и как это сделать?

Оценивая ситуацию, особое внимание следует уделить вопросу - сохраняется ли опасность для вас и пострадавшего и насколько эта опасность велика? Важно выяснить - есть ли свободный доступ к пострадавшему (пострадавшим) и что нужно сделать, если этот доступ затруднен? При оценке ситуации необходимо сохранять хладнокровие и здравый смысл, чтобы принятые решения не оказались ошибкой.

В первую очередь необходимо обеспечить безопасность на месте происшествия. Для этого необходимо провести следующие мероприятия:

- устраниТЬ источники опасности;
- если устраниТЬ источники опасности самому не представляется возможным, позвать кого-либо на помощь;
- если устраниТЬ опасность нельзя, необходимо переместить пострадавшего в безопасное место. Делать это нужно крайне осторожно;
- не рискуйте собой - иначе вы не сможете оказать помощь пострадавшему.

Идентификация опасности в незнакомом месте, зависит от специфики того места, где произошел несчастный случай. Однако можно выделить ряд общих признаков говорящих о возможной сохраняющейся угрозе в близлежащей зоне вокруг пострадавшего:

- разбросанные мелкие осколки;
- наличие людей рядом с пострадавшим и при этом не помогающим ему;
- наличие открытого огня и густого дыма;
- наличие движущихся механизмов;
- наличие электрических проводов.

#### Алгоритм оценки угрозы спасателю при оказании первой помощи:

1. Посмотреть широко по сторонам вокруг с целью выискивания движущихся объектов, людей. Возможные потенциальные угрозы.

2. Приблизиться на максимально безопасное расстояние к пострадавшему. Границей в этом случае может служить расстояние разлета мелких осколков. приблизительное расстояние угрозы открытого огня, или предполагаемого взрыва. Если не выявлены очевидные признаки угрозы, следует остановиться перед пострадавшим в нескольких (3-5) шагах и приступить к идентификации действующих угроз, себе и пострадавшему.

3. Если угрозы выявились, то их устраняют (например гасится огонь, или выключается электричество, отбрасываются опасные предметы от пострадавшего), либо вместе с пострадавшим покидается зона опасности.

В случае невозможности предотвратить угрозу пострадавшему, либо вынести его из очага поражения, необходимо переместиться на безопасное для себя расстояние и продолжить наблюдение за происходящим, ожидая прибытие помощи.

### 1.3. Сердечно-легочная реанимация

Сердечно – легочная реанимация (СЛР) - комплекс неотложных мероприятий, направленных на восстановление жизнедеятельности организма и выведение его из состояния клинической смерти.

Перед оказанием реанимации необходимо провести осмотр и оценить общее состояние пострадавшего, также необходимо оценить наличие или отсутствие у пострадавшего сознания, дыхания, кровообращения.

Для проверки сознания необходимо громким голосом обратиться к потерпевшему, например, спросить его имя или нужна ли ему помощь, и если не получаем ответа, то прикасаемся к ближайшему от спасателя плечу пострадавшего и слегка похлопав по нему повторяем вопрос. Если нет реакции, то делается заключение, что нами сознание у пострадавшего не обнаруживается.



Рис.15.1.Определение наличия пульса на сонной артерии.

Проверка наличия дыхания производится по внешним признакам подвижности грудной клетки и наличию движения воздуха через нос и рот. Можно наклонившись над лицом пострадавшего попытаться с расстояния 5-7 сантиметров от органов дыхания пострадавшего услышать его дыхание.

Для установления наличия сердечных сокращений необходимо нашупать пульс на сонной артерии (рис.15.1). Отсутствие пульса на сонных артериях - основной сигнал к началу реанимационных мероприятий.

В СЛР входит восстановление проходимости воздухоносных путей, искусственная вентиляция легких, искусственное поддержание кровообращения

Сначала необходимо обеспечить восстановление и эффективное искусственное поддержание дыхания и кровообращения. Одной из частых причин непроходимости воздухоносных путей является западение корня языка. Чтобы избежать этого, необходимо перевести пострадавшего в положении на спине. Тот, кто оказывает помощь, располагается справа или слева от пострадавшего. Спасатель подкладывает одну ладонь под шею

пострадавшему и несколько приподнимает ее, а другой ладонью, опираясь возвышением большого пальца на лоб, плавно запрокидывает его голову назад. Руку из-под шеи переносят на подбородок пострадавшего, помогая фиксировать запрокинутую голову, и большим пальцем этой руки приоткрывают ему рот (рис.15.2).

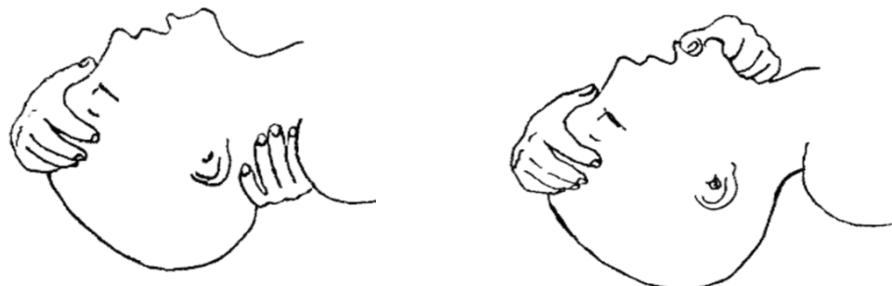


Рис.15.2. Действия человека, оказывающего помощь пострадавшему, при непроходимости воздухоносных путей.

Эти приемы обеспечивают освобождение верхних дыхательных путей от смещающегося вниз и назад корня языка при бессознательном состоянии пострадавшего и расслаблении мышц дна полости его рта.

После открытия рта пострадавшего, необходимо провести осмотр его полости рта. Если в полости рта присутствуют какие-либо посторонние предметы, то они удаляются указательным пальцем спасателя, обернутым марлевой салфеткой или носовым платком, «вычерпывающими» движениями сверху вниз при положении головы «набок» (рис.15.3).

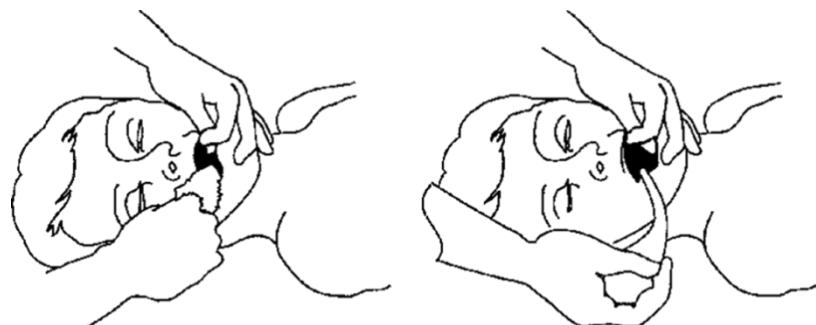


Рис.15.3. Удаление инородных предметов из полости рта пострадавшего.

После этого приступают к проведению искусственной вентиляции легких, то есть - вдувание воздуха в легкие методом "рот ко рту" или "рот к носу". При проведении искусственной вентиляции этим методом реаниматор делает глубокий вдох и после плотного прижатия своих губ вокруг открытого рта пострадавшего производит глубокий выдох, наполняя легкие пострадавшего воздухом. При этом зажимаются крылья носа пострадавшего в виде прищепки большим и указательным пальцами ладони, расположенной на его лбу (рис.15.4).



Рис.15.4. Проведение искусственной вентиляции лёгких.

Объем выдоха спасателя примерно 500-700 миллилитров. Это примерно половина обычного вдоха. Выдох у пострадавшего происходит самостоятельно. Во время пассивного выдоха спасатель выпрямляется и делает глубокий вдох. Целесообразно использование специальных устройств предназначенных для этой процедуры, входящих в аптечку первой помощи.

Об эффективности искусственной вентиляции легких можно судить по: синхронному, с вдуванием, поднятию грудной клетки, ощущению эластического сопротивления при вдувании, ощущению струи воздуха при выдохе пострадавшим.



Рис.15.5. Проведение непрямого массажа сердца

**Одновременно** с этим проводится непрямой (наружный, закрытый) массаж сердца (рис.15.5). При проведении наружного массажа сердца механизм движения крови обеспечивается вследствие прямого сдавливания сердца между грудиной и позвоночником и выталкивания крови из сердечных полостей, как бы сдавливаем сердце как резиновую грушу, а за счет наличия в кровеносной системе клапанов кровь движется в нужном направлении.

#### 1.4. Техника проведения закрытого массажа сердца:

Контакт с грудиной нужно осуществлять **основанием ладони**. Пальцы спасателя при этом не должны касаться грудной клетки. Вторая рука располагается сверху, под прямым углом к нижележащей руке. Первое нажатие на грудину нужно провести плавно, постараться определить ее эластичность. Затем толчкообразно с равномерным давлением на грудину, необходимо ее продавить на 5 -7 см и удержать в этом положении 0,5 секунд, а затем быстро расслабить руки, чтобы дать возможность грудной клетке полностью расправиться (рис.15.6).

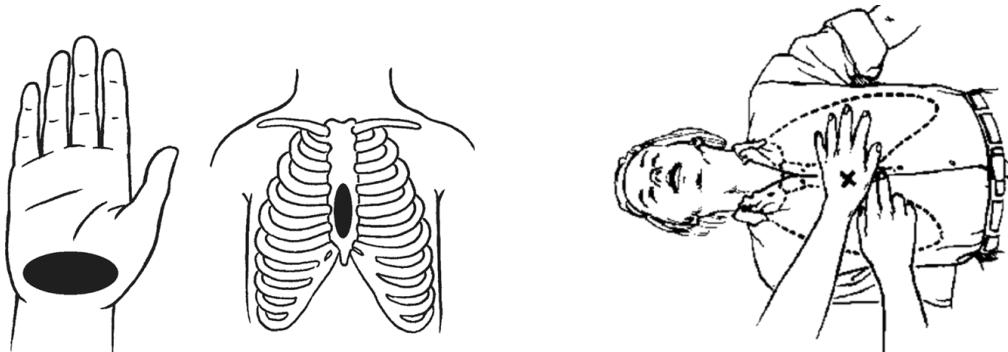


Рис.15.6. Техника проведения закрытого массажа сердца.

Руки, оказывающего помощь, во время надавливания должны быть прямыми, не допускается сгибание их в локтях.

Сдавливать грудную клетку пострадавшего нужно, используя не столько силу рук, сколько тяжесть своего туловища, мышц спины. Это позволит не только проводить массаж сердца эффективно, но и сохранит силы для его проведения в течение длительного времени. В настоящее время большинством специалистов признается частота надавливания 100-110 в минуту. Лучше проводить сердечно-легочную реанимацию в паре с кем-то. Один производит надавливания на грудную клетку, другой делает искусственное дыхание. В настоящее время большинство специалистов придерживаются мнения о том, что соотношение компрессий к вдоху должно быть 30 к двум, то есть - на тридцать надавливаний 2 вдоха. Прерывать закрытый массаж сердца можно не более чем на 5 секунд. Поэтому делать нужно: два вдоха по 2 секунды, между ними интервал 2-3 секунды, а затем 30 компрессий в ритме 100-110 надавливаний в минуту, затем опять два вдоха и так до прибытия помощи или до появления у пострадавшего самостоятельного дыхания и сердцебиения. Об этом может косвенно свидетельствовать порозование кожи на лице. Проверять наличие самостоятельного дыхания и сердцебиения необходимо примерно через 10 циклов сердечно-легочной реанимации. При этом под одним циклом подразумевается два вдоха и 30 надавливаний на грудь. Желательно, чтобы закрытый массаж сердца проводил один человек, а искусственную вентиляцию - другой.

### 1.5.Остановка кровотечений с использованием жгута

**Кровотечением** называется свободное вытекание крови из кровяного русла. Объем вытекшей крови из кровяного русла называется **кровопотерей**. Потеря до 500мл крови может компенсироваться организмом за счет собственных резервов. Жизнеопасной считается быстрая кровопотеря более 1000мл. Смертельной считается потеря более половины объема всей крови.

В зависимости от вида поврежденного сосуда различают следующие кровотечения: - артериальные,

- венозные,
- смешанные,
- капиллярные.

*Артериальные* кровотечения характеризуются большой интенсивностью кровопотери, что может привести к быстрой гибели пострадавшего. При этом поступающая из раны кровь - ярко алая, жидккая, фонтанирует, иногда пениться.

*Венозные* кровотечения менее интенсивны, но при достаточной продолжительности могут привести к обескровливанию организма. Венозная кровь - темно красная, густая, вытекает равномерной струей.

*Капиллярные* кровотечения, возникающие при повреждениях чаще всего кожных покровов при небольших ранениях, ссадинах. Эти кровотечения напоминают выпотевание, появление мелких кровяных капелек по всей поврежденной поверхности.

Для временной остановки наружного кровотечения используют следующие способы, или их комбинацию:

1. Придание конечности, из которой идет кровотечение, возвышенного положения. В основу метода положено отрицательное воздействие силы тяжести на движение крови в приподнятой вверх конечности. Этот способ применим при капиллярном кровотечении, либо как вспомогательный в сочетании с другими способами остановки кровотечения при других видах кровотечений.

2. Наложение давящей повязки на рану. Этим способом возможно остановить кровотечение почти из всех мелких вен и артерий, капилляров. Давящая повязка используется для остановки кровотечения на туловище. Тугая давящая повязка может оказаться эффективной при артериальных кровотечениях из ягодичной области, сосудов кистей, стоп. Применяют стерильную ватно-марлевую подушечку с последующим плотным бинтованием. Для остановки кровотечения на туловище этот способ является единственным.

3. Местное охлаждение раны. Этот метод используется как вспомогательный, но может быть и основным, например, при носовом кровотечении. Для охлаждения используют сухой холод, либо специальный контейнер с охлаждающей жидкостью. Также возможно изготовить самостоятельно холодцовую емкость - так называемый, импровизированный гипотермический пакет. В герметичный водонепроницаемый пакет (полиэтиленовый, или подобный) поместить лед из холодильника, снег, или просто холодную воду. Герметично завязать его и обмотать 1-2 слоями марли.

4. Прижатие кровеносного сосуда в месте повреждения или чуть выше раны может быть осуществлено в порядке самопомощи или взаимопомощи. Прижать сосуд можно пальцами, кулаком или краем ладони. Это надежный способ временной остановки кровотечения, но

требует хорошего знания точек придавливания кровоточащего сосуда. Сосуд прижимается в непосредственной близи от раны, выше ее. Следует заметить, что под «выше» мы понимает место между раной и сердцем. Точки прижатия, как правило, соответствуют местам, где легко можно прощупать пульс. Прижатие артерии на ее протяжении самый простой и доступный способ временной остановки кровотечения. Прижимается артерия не одним пальцем, а сразу несколькими вдоль проекции прохождения артерии, через которую кровь попадает в рану. Следует помнить, что данный способ остановки кровотечения является вспомогательным и кратковременным (до 20 минут) на период подготовки к остановке кровотечения стандартным или импровизированным артериальным жгутом.

5. Форсированное сгибание конечности с фиксацией в согнутом положении. Этот вид временной остановки кровотечения применяется при повреждениях сосудов предплечья и голени. При кровотечении из артерий предплечья и голени, используют положение максимального сгибания в локтевом и коленном суставах соответственно. Для усиления эффекта на внутреннюю поверхность сгибающегося сустава кладут валик из мягкого материала. Такая фиксация может осуществляться только при целости костей конечностей и может быть рассчитана на короткий промежуток времени - пока не будет наложен жгут или давящая повязка.

6. Основным способом временной остановки артериального кровотечения является наложение кровоостанавливающего жгута. Показаниями для наложения жгута являются артериальные кровотечения из сосудов конечностей, а также кровотечения, которые не останавливаются другими способами временной остановки кровотечения. Существует несколько модификаций резиновых жгутов, но несмотря на различную конструкцию жгутов правила пользования ими практически одинаковы. Правила наложения жгута:

1) Перед накладыванием жгута необходимо убедиться в том, что его применение необходимо. Наложение жгута является довольно травматичной процедурой, хотя зачастую не имеющей альтернатив.

2) При наложении жгута на конечности выбирают место выше раны и, по возможности, ближе к ней, чтобы часть конечности, лишенная кровоснабжения, была как можно короче.

3) Чтобы не вызвать ущемление кожи, жгут накладывают на одежду, или предварительно место наложения жгута оберывают несколькими слоями бинта, косынкой или другим материалом.

4) При наложении жгута необходимо конечности придать приподнятое положение. Это необходимо для того, чтобы кровь, находящаяся в травмированной конечности под собственным весом оттекла к туловищу.

5) Сила наложения жгута должна быть достаточной, чтобы

кровотечение прекратилось, но не сильней. О том, что кровоток остановлен, мы можем убедиться, определив отсутствие пульса ниже жгута на конечности, которая перетянута жгутом. При слабом наложении жгута кровотечение из раны может усиливаться. Это происходит за счет того, что артериальная кровь продолжает притекать (жгут ее не задерживает из-за слабости его давления), а венозная кровь жгутом удерживается (т.к. для приостановки движения венозной крови требуются незначительные усилия, гораздо меньшие, чем для остановки артериального кровотока). При чрезмерной силе давления жгута сосуды и нервы могут получить необратимые повреждения, способные повлечь в последующем ампутацию конечности.

6) Наложенный жгут необходимо надежно закрепить. Иногда крепления жгутов не достаточно надежны, например, у жгутов с кнопками турникет. В этом случае концы жгута следует завязать на несколько узлов.

7) Наложенный жгут необходимо промаркировать, т.е. оставить запись, содержащую информацию о времени наложения жгута.

8) Наложенный жгут нельзя прятать под повязку или одежду.

9) Жгут накладывается на ограниченное время: не более двух часов летом и не более одного часа зимой.

10) В зимнее время конечность, перетянутую жгутом, необходимо тепло укутать, но не греть! Для этого можно использовать толстый слой ваты, одеяла, теплую верхнюю одежду.

11) Раненый с наложенным жгутом подлежит к эвакуации в первую очередь.

12) Эвакуация осуществляется в положении лежа. За раненным, у которого наложен жгут, во время транспортировки устанавливается постоянное наблюдение.

13) В случае, если раненый не был доставлен в медицинское учреждение в отведенный срок, жгут необходимо снять (ослабить) на 5-10 минут. На это время переходят на пальцевое прижатие артерии. Это необходимо для того, чтобы в конечность, перетянутую жгутом, по оставшимся целым кровеносным сосудам поступала кровь, которая доставляет кислород и питательные вещества в поврежденную конечность. По истечении 5-10 минут жгут накладывают повторно, но на другое место – либо выше, либо ниже прежнего места наложения (т.к. ткани под жгутом травмированы, и с целью избегания повторного травмирования мы переносим место наложения).

Роль импровизированного жгута могут выполнять подручные средства такие как ремни, платки, шарфы, рукава, рубашки и т.п.

## **1.6.Придание оптимального положения при различных повреждениях**

После оказания помощи и устранения опасности для жизни

пострадавшего до прибытия скорой медицинской помощи ему следует придать оптимальное положение тела, обеспечивающее комфорт, уменьшающее степень страданий и не усугубляющее нарушения жизненно важных функций. Оптимальное положение определяется характером повреждений у пострадавшего и удобством для него.

*Пострадавший с травмой груди*

Пострадавшему с травмой груди предпочтительно расположиться в полусидящем положении с наклоном туловища на пораженную сторону груди. Для этого пострадавшего можно опереть о стену, автомобиль и т.д.

*Пострадавший с подозрением на травму живота и таза.*

Пострадавшему с подозрением на травму живота и таза лучше находиться в положении лежа на спине с полусогнутыми и разведенными ногами. Под колени подкладывается импровизированная опора – сумка, свернутая одежда.

*Пострадавший с травмами конечностей.*

Пострадавшему с травмами конечностей придается удобное положение, при котором он испытывает меньше страданий от имеющихся повреждений.

*Пострадавший без сознания.*

Пострадавшему без сознания необходимо придать устойчивое боковое положение.

*Пострадавший с сильным наружным кровотечением.*

Пострадавший с сильным наружным кровотечением или признаками кровопотери должен находиться в положении лежа на спине с приподнятыми ногами, под которые подкладываются сумки или одежда.

*Пострадавший с подозрением на травму позвоночника.*

Пострадавший с подозрением на травму позвоночника должен располагаться на твердой ровной поверхности.

*Пострадавший с тяжелыми травмами.*

Пострадавших с тяжелыми травмами желательно укутать подручными средствами – одеждой, одеялом и т.д. При наличии спасательного изотермического покрывала (входит в состав аптечки для оказания первой помощи работникам), необходимо укутать им пострадавшего серебристой стороной внутрь, оставив свободным лицо.

## 2. Практическая часть

### 2.1. Описание лабораторной работы № 15 (в ауд.106 ГК1)

Оборудование учебной лабораторной работы включает:

- Медицинская кушетка-стол;
- Набор кровоостанавливающих жгутов и перевязочных материалами (в настенном шкафу, или в переносной сумке);
- Тренажер по оказанию первой помощи «Максим III-01»;
- Лицевая маска для сердечно – легочной реанимации;

- Информационные стенды «Первая помощь», «Первая помощь в ЧС».

## **2.2.Условия проведения лабораторной работы № 15 (ауд.106)**

Лабораторная работа проводится в четыре этапа действий. Последовательность проведения этапов может изменяться решением преподавателя. Для выполнения работы на каждом этапе используется тренажер (манекен), или в группе определяется «пострадавший». При этом определены условия (обстоятельства происшедшего), учитывая особенности которых должна быть оказана соответствующая первая помощь «пострадавшему».

## **2.3.Порядок выполнения лабораторной работы № 15 (ауд.106 ГК1)**

**1. У предполагаемого «пострадавшего» рана на верхней поверхности кисти, есть небольшое кровотечение. Кровь вытекает медленно, без пульсации, красного цвета.**

Определите, к какому виду относится кровотечение (в зависимости от вида поврежденного сосуда). По возможности помойте руки или обработайте их антибактериальным средством. Рану у пострадавшего обеззараживать нельзя. Снимите первичную упаковку с бинта стараясь не касаться руками внутренней поверхности повязки, с которой будет соприкасаться рана. Разместите повязку на поверхности раны таким образом, чтобы повязка закрывала края раны более чем на 1-2см. При необходимости зафиксируйте повязку дополнительными фиксирующими пластырями или повязками для исключения смещения. Расположите пострадавшего в комфортном для него положении (стоя, сидя или лежа).

**2. У предполагаемого «пострадавшего» венозное кровотечение из руки.**

По возможности помойте руки или обработайте их антибактериальным средством. Рану у пострадавшего обеззараживать нельзя. Наложите жгут на одежду или мягкую подкладку чуть выше раны. Затяните жгут и проверьте пульсацию сосудов – кровотечение должно прекратиться, а кожа ниже жгута побледнеть. Наложите повязку на рану. Запишите точное время, когда наложен жгут. Расположите пострадавшего в комфортном для него положении (стоя, сидя или лежа).

**3. «Пострадавший» получил травму в результате наезда автомобиля. Вы заметили у него алую, фонтанирующую кровь из ноги.**

3.2. Определите, к какому виду относится кровотечение (в зависимости от вида поврежденного сосуда). Наложите жгут пострадавшему чуть выше колена (алгоритм наложения описан в предыдущем пункте). Пострадавший с сильным наружным кровотечением должен находиться в положении лежа на спине с приподнятыми ногами, под которые подкладываются сумки или одежда.

**4. В роли «пострадавшего» - манекен на кушетке (на полу или на любой другой поверхности). Пострадавший не реагирует на ваши вопросы, предположительно, он без сознания. Вы также не слышите его дыхания, пульс не прощупывается.**

Перечислите вопросы, которые необходимо произнести в адрес «пострадавшего», чтобы убедиться в том, что он без сознания.

Произведите действия по определению признаков наличия дыхания и пульса у «пострадавшего».

Проведите сердечно – легочную реанимацию (СЛР). Для этого:

- расположите руки в центре грудной клетки;
- проведите 30 компрессий грудной клетки - делайте сильные и быстрые компрессии (глубина 5 см, частота 100/мин);
- прижмите губы ко рту пострадавшего через лицевую маску;
- сделайте искусственный вдох так, чтобы поднялась грудная клетка;
- когда грудная клетка опустится, сделайте второй искусственный вдох;
- продолжить действия по СЛР.

По окончании ЛСР, то есть - при положительной реакции организма «пострадавшего» на действия «оказывающего первую помощь», придайте ему устойчивое боковое положение тела (рис.15.6).

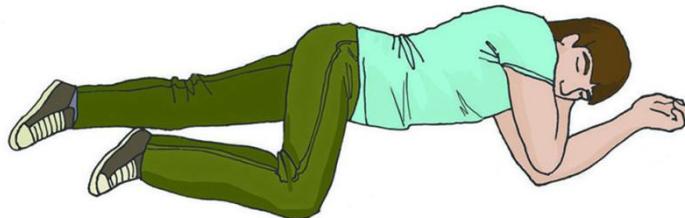


Рис.15.6. Устойчивое боковое положение тела пострадавшего.

Продолжить осуществлять соответственный постоянный контроль состояния «пострадавшего».

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Опишите алгоритм действий для оценки безопасности места проведения первой помощи.
2. Как правильно наложить давящую повязку на предплечье?
3. Какие виды кровотечений существуют и чем они отличаются друг от друга?
4. Какие основные нормативно-правовые акты регламентируют первую помощь?
5. Как правильно накладывать жгут на ногу при артериальном кровотечении?
6. Опишите правила проведения сердечно-легочной реанимации.
7. Какие оптимальные положения тела для пострадавших вы знаете?

**ПРАВИЛА**  
**ПО ОХРАНЕ ТРУДА**  
**ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**  
**В ЛАБОРАТОРИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕНДЕЯТЕЛЬНОСТИ**  
**ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ИНСТИТУТА**

**1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

1.1 Правила по охране труда при проведении лабораторных работ в лаборатории Безопасности жизнедеятельности Инженерно-строительного института (далее – Правила) разработаны на основании требований законодательных и иных нормативных правовых актов в области охраны труда с учетом приказа Министерства труда и социальной защиты РФ от 29 октября 2021 года N 772н "Об утверждении основных требований к порядку разработки и содержанию правил и инструкций по охране труда, разрабатываемых работодателем", приказа Министерства труда и социальной защиты РФ от 27 ноября 2020 года N 834н "Об утверждении Правил по охране труда при использовании отдельных видов химических веществ и материалов, при химической чистке, стирке, обеззараживании и дезактивации", постановления Правительства РФ от 24.12.2021 N 2464 "О порядке обучения по охране труда и проверки знания требований охраны труда".

1.2 Настоящие правила устанавливают нормативные требования охраны труда и регулируют порядок действий работников лаборатории Безопасности жизнедеятельности (далее - работники), преподавателей дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» (далее - преподаватели) и обучающихся ФГАОУ ВО «СПбПУ» (далее - обучающиеся) при работе в лаборатории Безопасности жизнедеятельности (далее - лаборатория БЖД) при проведении лабораторных работ. Правила действуют на территории лаборатории БЖД, размещенной в аудиториях 104, 105, 105а, 106, 118, 119, 120 Гидрокорпуса - 1 и на территории кампуса ФГАОУ ВО «СПбПУ».

1.3 Требования Правил обязательны для исполнения работниками, преподавателями и обучающимися при проведении и выполнении лабораторных работ по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности».

1.4 Требования Правил не распространяются на проведение лабораторных работ в других учебных лабораториях ФГАОУ ВО «СПбПУ» и на проведение иных видов работ в лаборатории.

1.5 При выполнении лабораторных работ работники, преподаватели и обучающиеся могут быть подвержены воздействию следующих основных вредных и опасных производственных факторов:

1.5.1. Факторы, которые имеют место во всех случаях:

- повышенного значения напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;

- повышенного напряжения голосового аппарата;
- повышенного напряжения органов зрения;
- физических перегрузок;
- нервно-психических перегрузок.

1.5.2. Факторы, которые зависят от условий проведения лабораторных работ:

- движущихся машин и механизмов; подвижных частей технологического оборудования (работа № 2, 5 и 5а);

- недостаточной освещенности рабочей зоны (работа № 1);

- отсутствия или недостаточности естественного света (работа № 1);
- повышенного уровня шума на рабочем месте (работа № 3 и 4);
- воздействия вредных химических веществ (работа № 3);
- повышенной пульсации светового потока (работа № 1);
- воздействия лазерного излучения (работа № 13);
- повышенного уровня электромагнитных излучений (работа № 11 и 12);
- работа с растворами химических веществ, которые могут оказать негативное воздействие на организм человека (работа № Э1);
  - работа на открытом пространстве (работа № Э2);

1.6. Вредные и опасные производственные факторы в зависимости от конкретных условий проведения лабораторных работ учтены при оценке рисков на рабочих местах работников и компенсируются ограничением временем воздействия.

## **2. ТРЕБОВАНИЯ ОХРАНЫ ТРУДА РАБОТНИКОВ, ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ, ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ И ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

2.1 Требования охраны труда, предъявляемые к работникам и преподавателям

2.1.1 К проведению лабораторных работ допускаются лица не моложе 18 лет.

2.1.2 Работники и преподаватели должны обладать профессиональными навыками, не иметь медицинских противопоказаний и пройти:

- вводный инструктаж при приеме на работу. Первичный инструктаж по охране труда на рабочем месте;
- теоретическое и практическое обучение безопасным приемам и методам выполнения работ;
- обучение правилам электробезопасности, проверку знаний правил электробезопасности в объеме соответствующей группы по электробезопасности;
- обучение правилам пожарной безопасности, проверку знаний правил пожарной безопасности в объеме должностных обязанностей;
- обучение методам оказания первой помощи пострадавшему при несчастных случаях на производстве, микроповреждениях (микротравмах);
- проверку знаний требований охраны труда по программам:
  - Общие вопросы охраны труда и функционирования системы управления охраной труда (Программа А),
    - Безопасные методы и приемы выполнения работ при воздействии вредных и (или) опасных производственных факторов, источников опасности, идентифицированных в рамках специальной оценки условий труда и оценки профессиональных рисков (Программа Б),
    - Безопасные методы и приемы выполнения работ повышенной опасности (Программа В) для работников
  - допущенные в установленном порядке к самостоятельной работе.

2.3 К работе в лаборатории допускаются обучающиеся, прошедшие ознакомление или ознакомленные под подпись в листе ознакомления с настоящими правилами.

2.4 В лаборатории запрещается курить, принимать пищу и напитки.

2.5 Обучающимся запрещается работать в лаборатории в отсутствие преподавателя или работников, а также выполнять в лаборатории экспериментальные работы, не описанные в методике проведения лабораторных работ.

2.6 Работники, преподаватели и обучающиеся обязаны:

- соблюдать требования охраны труда, пожарной безопасности, производственной санитарии;

- соблюдать правила внутреннего трудового распорядка, требования по выполнению режима рабочего времени и времени отдыха при выполнении лабораторных работ;
- соблюдать правила личной гигиены и эпидемиологические нормы, которые работники, преподаватели и обучающиеся должны знать и соблюдать при выполнении лабораторных работ;
- правильно использовать лабораторное оборудование, приборы, образцы воды, применять принятую методику производства лабораторных работ;
- следить за исправностью используемого лабораторного оборудования, приборов в пределах выполнения своей функций, прописанных в методике проведения лабораторных работ, а для работников и преподавателей в их должностных инструкциях;
- использовать и правильно применять средства индивидуальной и коллективной защиты;
- незамедлительно поставить в известность своего непосредственного руководителя (для обучающихся своего преподавателя) о выявленных неисправностях в используемых лабораторных установках и приборах, нарушениях применяемой методики проведения лабораторных работ, несоответствии используемых образцов воды, приостановить работу до их устранения;
- немедленно извещать своего непосредственного или вышестоящего руководителя (преподавателя) о любой известной ему ситуации, угрожающей жизни и здоровью людей, о нарушении работниками, преподавателями или обучающимися и другими лицами, участвующими в проведении лабораторных работ, требований охраны труда, о каждом известном ему несчастном случае, произошедшем в лаборатории, или об ухудшении состояния своего здоровья, в том числе о проявлении признаков профессионального заболевания, острого отравления.

2.7 По результатам оценки рисков предприняты следующие предупредительные и регулирующие меры:

- все корпуса установок и электроприборов, подключенных к электрической сети, занулены;
- устранена возможность доступа к токопроводящим элементам электроустановок;
- подвижные части лабораторных установок № 5 и 5а закрыты защитными кожухами;
- суммарное время контакта с вредными факторами при проведении лабораторных работ № 1,3,4,11,12,13 ограничено, что позволяет снизить их воздействие до допустимых значений;
- при проведении лабораторной работы по анализу воды обучающиеся обеспечены дежурными средствами защиты рук (перчатки);
- при проведении лабораторной работ по анализу воздушной среды работы на территории ФГАОУ ВО «СПбПУ» проводятся под руководством преподавателя и с соблюдением правил поведения на территории кампуса ФГАОУ ВО «СПбПУ».

2.8 Применяемые мероприятия по предупреждению и регулированию опасностей и рисков, отвечают следующим требованиям:

- соответствуют опасностям и рискам, наблюдающимся при проведении лабораторных работ;

- мероприятия по предупреждению и регулированию опасностей и рисков регулярно анализируются и при необходимости модифицируются под руководством заведующего лабораторией;
- соответствуют требованиям национальных законов и иных нормативных правовых актов и отражают передовой опыт;
- учитывают текущее состояние знаний, включая информацию или отчеты организаций, таких как инспекции труда, Управления охраны труда ФГАОУ ВО «СПбПУ» и других служб, в соответствии с обстоятельствами.

2.9 Директор ВШТБ обязан:

- организовать разработку документации по охране труда; плана мероприятий по эвакуации и спасению работников, преподавателей и обучающихся при возникновении аварийной ситуации и при проведении спасательных работ;
- организовывать хранение, выдачу средств коллективной и индивидуальной защиты в соответствии с указаниями эксплуатационной документации (инструкции) изготовителя, а также обеспечить своевременность их обслуживания, периодическую проверку, браковку;
- организовать обучение работников и преподавателей безопасным методам и приемам выполнения работ, периодической проверки знаний безопасных методов и приемов выполнения работ, стажировки, проведение соответствующих инструктажей по охране труда.
- требования по проведению технико-технологических и организационных мероприятий, в том числе при назначении должностных лиц, ответственных за организацию, выполнение, контроль выполнения соответствующих мероприятий.

### **3. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ПОМЕЩЕНИЯМ И ПЛОЩАДКАМ (ДЛЯ ПРОЦЕССОВ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ ВНЕ УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ), В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОХРАНЫ ТРУДА ОБУЧАЮЩИХСЯ**

3.1 Требования безопасности на территории ФГАОУ ВО «СПбПУ»

3.1.1 Пути движения пешеходов по территории ФГАОУ ВО «СПбПУ» в темное время суток должны быть освещены.

3.1.2 Траншеи, подземные коммуникации на территории ФГАОУ ВО «СПбПУ» закрыты и (или) ограждены.

3.1.3 Колодцы и технологические емкости, расположенные на территории ФГАОУ ВО «СПбПУ», должны быть закрыты. Временно открытые колодцы и технологические емкости должны иметь ограждения высотой не менее 1,1 м.

3.1.4 Переходы, лестницы, площадки и перила к ним содержаться в исправном состоянии.

Настилы площадок и переходов, а также перила к ним укреплены.

На период ремонта вместо снятых перил должно устанавливаться временное ограждение высотой не менее 1,1 м. Перила и настилы, снятые на время ремонта, после его окончания должны быть установлены на место.

Переходы, лестницы и настилы площадок, расположенные на открытом воздухе, в зимнее время должны очищаться от снега и льда и посыпаться противоскользящими средствами.

3.2 Требования безопасности предъявляемые для помещений лаборатории

3.2.1 Для подъема и перемещения светильников в лабораторной работе №1 (ауд. 106) предусмотрена ручная лебедка с тросом (при выборе подъемного механизма учтена его грузоподъемность).

3.2.2 В ауд. 118, где проводится лабораторная работа, где по условиям работы

используются жидкости, полы выполнены из водостойкого материала (линолеум) и предусмотрены средства удаления воды с пола.

3.2.3 Ступени на лестнице входа в Гидрокорпус выполнены на всю ширину прохода. Лестницы оборудованы перилами высотой не менее 1,1 м, ступени выполнены ровными и нескользкими.

3.2.4 В помещениях лаборатории высота от пола до низа выступающих конструкций перекрытия (покрытия) предусмотрена не менее 2,2 м, высота от пола до низа выступающих частей коммуникаций и оборудования в местах регулярного прохода работников, преподавателей и обучающихся на путях эвакуации - не менее 2 м, а в местах нерегулярного прохода работников - не менее 1,8 м.

#### **4. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБОРУДОВАНИЮ, ЕГО РАЗМЕЩЕНИЮ И ОРГАНИЗАЦИИ РАБОЧИХ МЕСТ В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОХРАНЫ ТРУДА РАБОТНИКОВ, ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И ОБУЧАЮЩИХСЯ**

4.1 Оборудование лабораторных установок распределено по помещениям лаборатории таким образом, чтобы выполнить план, установленный рабочей программой дисциплины Безопасность жизнедеятельности.

4.2 Оборудование лабораторной № 3 выполнено таким образом (камера с пылью изолирована от внешней среды и не допускает ее выход в помещение), чтобы исключить распространение пыли по помещению ауд. 104.

4.3 Все лабораторные установки имеют свои установленные места размещения. Для проведения всех видов ремонта предусмотрена возможность их перемещения в служебные помещения лаборатории.

4.4 Стационарных установок в лаборатории нет.

4.5. Расстояния между лабораторными стендами и оборудованием и стенами, колоннами помещений лаборатории должно быть не менее 0,6 м.

4.6 Расстояние между органами управления смежных лабораторных стендов, исключает возможность ошибочного включения органа управления смежным оборудованием.

4.7 Размещение лабораторных стендов и оборудования в лаборатории обеспечивает возможность безопасной эвакуации работников, преподавателей и обучающихся в случае чрезвычайных ситуаций.

4.8 На рабочих местах лаборатории соблюдение требований охраны труда работников, преподавателей и обучающихся обеспечивается:

4.8.1. Защитой работников, преподавателей и обучающихся от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов временем и защитными кожухами.

4.8.2. Рациональным размещением оборудования в помещениях лаборатории: обеспечением безопасного расстояния между оборудованием, оборудованием и стенами, колоннами, безопасной шириной проходов.

4.8.3. Удобным и безопасным обращением с исходными материалами для лабораторных работ.

4.8.4. Регулярным техническим обслуживанием и ремонтом оборудования, лабораторных установок.

4.9 Планировка рабочего места (лабораторной установки) должна обеспечивать свободный проход и доступ работников к пультам и органам управления лабораторных стендов, удобство и безопасность действий при выполнении лабораторной работы, а также возможность быстрой эвакуации работников при возникновении аварийной ситуации.

4.10 Рабочее место инженера лаборатории (ауд. 105а) оборудовано верстаками, стеллажами, столами, шкафами, инструментальными тумбочками для удобного размещения материалов, оснастки, хранения инструмента и приспособлений и безопасного выполнения работ.

Расположение на рабочем месте верстаков, стеллажей, столов, шкафов, инструментальных тумбочек не должно стеснять действия работников и препятствовать перемещению работников в процессе эксплуатации, технического обслуживания и ремонта лабораторного оборудования.

4.11 Минимальная ширина одиночных проходов к рабочим местам и на рабочих местах с учетом выступающих частей лабораторного оборудования предусмотрено не менее 0,6 м.

4.12 Все рабочие места в лаборатории предполагают рабочую позу работника, преподавателя и обучающегося в положении "сидя", так как она является более удобной.

4.13 Удобство рабочей позы работника в положении "сидя" достигается регулированием взаимного положения места для сидения и рабочей поверхности. Регулировки взаимного положения места для сидения и рабочей поверхности предусмотрены для постоянных рабочих мест работников.

4.14 В помещениях лаборатории на рабочих местах работников, преподавателей и обучающихся отсутствуют препятствия, ограничивающие обзор наблюдения с места выполнения работ.

4.15 Освещенность мест размещения визуальных средств отображения информации выполнено по нормам и обеспечивает восприятие отображаемой информации с рабочего места.

4.16 Расстояние между органами управления лабораторными установками исключает возможность произвольного изменения положения не задействованного органа управления при манипуляции с иным смежным органом управления.

4.17 Лабораторные стенды №2,5,5а, оснащены защитными ограждениями и блокировками, исключающими работу оборудования при снятии защитного ограждения в соответствии с требованиями технической (эксплуатационной) документации и с соблюдением государственных требований охраны труда.

4.18 По результатам проведенной оценки профессиональных рисков мест с высокой вероятностью травмирования работников и преподавателей не выявлено.

4.19 Запрещено заставлять, блокировать пути эвакуации и проходы для обеспечения свободного движения. Пути эвакуации обозначены соответствующими указателями и имеют освещенность, обеспечивающую их восприятие.

4.20 Рабочие места (рабочие зоны) и их взаимное расположение должно обеспечивать содержание, техническое обслуживание, уборку и чистку используемых на рабочем месте оборудования, инструментов и мебели с учетом государственных требований охраны труда.

## **5. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ХРАНЕНИЮ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОХРАНЫ ТРУДА РАБОТНИКОВ**

5.1 При перемещении в помещениях лаборатории тарно-штучных грузов применяется пакетирование с применением контейнеров и других пакетирующих средств. В пакетах грузы скрепляются между собой.

5.2 При ручном перемещении грузов необходимо соблюдать следующие требования:

- 1) запрещается ходить по уложенным грузам, обгонять впереди идущих

работников (особенно в узких и тесных местах);

2) если груз перемещается вручную группой работников, каждый должен идти в ногу со всеми.

5.3 При перемещении ящичных грузов необходимо соблюдать следующие требования:

1) во избежание ранения рук каждый ящик необходимо предварительно осмотреть. Торчащие гвозди необходимо забить, концы железной обвязки - убрать заподлицо;

2) при необходимости снятия ящика с верха штабеля необходимо предварительно убедиться, что лежащий рядом груз занимает устойчивое положение и не может упасть;

3) перемещать груз по горизонтальной плоскости, толкая его за края, запрещается.

5.4 Масса лабораторного оборудования, размещаемого на стеллажах, не должна превышать величину предельно допустимой нагрузки на них. Величина предельно допустимой нагрузки на полки стеллажа должна указываться на каждом стеллаже.

5.5 Запрещается размещать лабораторное оборудование на стеллажи, которые:

1) не соответствуют по своим размерам габаритам размещаемых на них грузов;

2) не рассчитаны на массу размещаемых грузов;

1.1. 3) неисправны (имеют механические повреждения и деформации, превышающие допустимые значения) и не закреплены таким образом, чтобы исключалась возможность их падения.

*Малышев Владимир Петрович  
Каверзнова Татьяна Тимофеевна  
Салкуцан Владимир Иванович  
Ульянов Алексей Игоревич  
Полюхович Максим Алексеевич,  
Логвинова Юлия Валерьевна  
Доронин Александр Сергеевич  
Чумаков Николай Александрович  
Идрисова Джамиля Идрисовна  
Житникова Татьяна Сергеевна  
Каченкова Валерия Дмитриевна  
Шавуров Сергей Алексеевич  
Ефремов Сергей Владимирович*

**БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНEDЕЯТЕЛЬНОСТИ  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Учебное пособие

Научный редактор: Малышев В.П.  
Технические редакторы: Вошило В.В., Недвецкая С.В.