

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

# МЕТРОЛОГИЯ. СТАНДАРТИЗАЦИЯ. СЕРТИФИКАЦИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Лабораторный практикум



Владимир 2016

УДК 006.9  
ББК 30.10  
М54

Авторы:

Ю. А. Орлов, М. П. Ромодановская, Д. Ю. Орлов, В. Н. Романов

Рецензенты:

Кандидат технических наук, профессор  
зав. кафедрой тепловых двигателей и энергетических установок  
Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
*В. Ф. Гуськов*

Кандидат технических наук, доцент  
директор ООО «РОСТЕХ»  
*Р. С. Вишняков*

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

**Метрология. Стандартизация. Сертификация. Технические измерения** : лаб. практикум / Ю. А. Орлов [и др.] ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2016. – 103 с.  
ISBN 978-5-9984-0675-1

Предназначен для изучения и закрепления лекционного материала дисциплин «Метрология, стандартизация и сертификация», «Метрология и сертификация», «Метрология, стандартизация и технические измерения», «Метрология, стандартизация, сертификация и технические измерения», «Технические измерения, датчики и приборы», «Прикладная метрология» и отдельных разделов других дисциплин.

Рекомендован студентам высших учебных заведений очной и заочной форм обучения для направлений 27.03.02 «Управление качеством», 27.03.01 «Стандартизация и метрология», 20.03.01 «Техносферная безопасность», 18.03.01 «Химическая технология», 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», 27.03.05 «Инноватика», 12.03.05 «Лазерная техника и лазерные технологии», 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» и других.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Ил. 20. Табл. 18. Библиогр.: 7 назв.

УДК 006.9  
ББК 30.10

ISBN 978-5-9984-0675-1

© ВлГУ, 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение качества и безопасности продукции, работ и услуг является основной целью деятельности по техническому регулированию, стандартизации, подтверждению соответствия и метрологии.

Для повышения конкурентоспособности отечественной продукции, работ и услуг на мировом рынке производитель и продавец заинтересованы в выполнении как обязательных, так и рекомендуемых требований стандартов. Стандартизация – это часть современной стратегии предпринимательства, охватывающая все сферы общественной жизни. Стандарты на процессы и документы содержат те правила, которые должны знать и выполнять специалисты промышленности и торговли для заключения взаимовыгодных сделок.

Федеральный закон «О техническом регулировании» формулирует понятие стандартизации следующим образом.

*Стандартизация* – деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышения конкурентоспособности продукции, работ и услуг.

Стандартизация считается инструментом не только конкурентоспособности, но и эффективного партнерства участников рынка, средством распространения передового опыта.

Вступление России во Всемирную торговую организацию (ВТО) и дальнейшая деятельность страны в рамках этой организации вызвали необходимость гармонизации отечественных правил стандартизации, метрологии и подтверждения соответствия с международными правилами. Принятие Федерального закона «О техническом регулировании» положило начало новой системы стандартизации и подтверждения соответствия, которая необходима для устранения технических барьеров в торговле.

*Подтверждение соответствия* – документальное подтверждение соответствия продукции или иных объектов установленным требованиям.

Обязательное подтверждение соответствия проводится для объектов технического регулирования в форме обязательной сертификации или декларирования соответствия. Работы по сертификации осуществляются аккредитованными органами и лабораториями, подтвердившими свою независимость и компетентность путем аккредитации в установленном порядке. Шире развивается добровольная сертификация как гарант качества и безопасности продукции.

Управление качеством продукции, работ и услуг невозможно без проведения измерений и контроля. Основным нормативно-правовым актом в этой области является Закон РФ «Об обеспечении единства измерений». Специфическим видом контроля качества и безопасности продукции, работ и услуг следует считать испытания, проводимые в целях подтверждения соответствия.

Вопросами измерений и контроля занимается метрология.

*Метрология* – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах обеспечения требуемой точности.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Измерения**

Измерение представляет собой информационный процесс, результат которого – получение измерительной информации, она представляется в числовой форме и в дальнейшем используется оператором или автоматизированной системой.

Объектом измерения является физическая величина (масса, расстояние, давление, сила, перемещение, ускорение и т. п.). Для получения измерительной информации необходимо сравнить измеряемую величину с физически однородной ей величиной известного размера. Для числового представления результата сравнения используется единица измерения.

Измерения классифицируют по нескольким признакам, наиболее важные из которых отражены на рис. 1. По первому классификационному признаку измерения подразделяют на статические, когда измеряемая величина остается постоянной во времени в процессе измерения, и динамические, при которых измеряемая величина изменяется в процессе измерения.

Классификацию по второму признаку можно назвать условной, однако она широко применяется в измерительной технике. Ею определяются сложившиеся совокупности родственных по природе или применению в отдельных областях науки или техники физических величин.

Третий признак классификации – точность измерений.

Измерения максимальной возможной точности, достижимой при современном уровне техники, – это измерения, связанные с созданием и воспроизведением эталонов, а также измерения универсальных физических констант.



**Рис. 1. Классификация измерений**

Контрольно-поверочные измерения, погрешности которых не должны превышать заданного значения, осуществляются в основном государственными и ведомственными метрологическими службами.

*Технические измерения* наиболее широко распространены во всех отраслях хозяйства и науки. В этих измерениях погрешность результата определяется характеристиками рабочих средств измерений.

Четвертым классификационным признаком является число измерений (наблюдений при измерении или просто наблюдений), выполняемых для получения результата.

По пятому признаку измерения делятся по виду функциональной связи между искомой и непосредственно измеряемой величинами и по способу получения результата измерений. Это прямые, косвенные, совокупные и совместные измерения.

Прямым называется измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных (измерение сопротивления – омметром, давления – манометром и т. д.).

При косвенном измерении искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, получаемыми прямыми измерениями. При этом числовое значение искомой величины определяется по формуле

$$z = F(a_1, a_2, \dots, a_m),$$

где  $z$  – значение искомой величины,  $a_1, a_2, \dots, a_m$  – значения непосредственно измеряемых величин.

Примеры косвенных измерений: определение значения активного сопротивления  $R$  резистора на основе прямых измерений силы тока  $I$  через резистор и падения напряжения  $U$  на нем по формуле  $R = U/I$ .

К совокупным относятся производимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

Совместные измерения – это производимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных (имеющих разную размерность) величин для нахождения зависимости между ними.

Числовые значения искомых величин при совокупных и совместных измерениях определяются из системы уравнений, связывающих значения искомых величин со значениями величин, измеренных прямым (или косвенным) способом. Для определения числовых значений искомых величин необходимо по крайней мере столько уравнений, сколько имеется этих величин.

Примером является экспериментальное определение зависимости сопротивления резистора от температуры

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2),$$

где  $R_0$  и  $R_t$  – значения сопротивлений резистора при нулевой температуре и температуре  $t$  соответственно;  $\alpha$  и  $\beta$  – постоянные температурные коэффициенты.

Для определения значений величин  $R_0$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  измеряют прямо или косвенно значения  $R_{t_1}$ ,  $R_{t_2}$  и  $R_{t_3}$  при разных (известных) значениях температуры  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$ . Получают систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} R_{t_1} &= R_0(1 + \alpha t_1 + \beta t_1^2); \\ R_{t_2} &= R_0(1 + \alpha t_2 + \beta t_2^2); \\ R_{t_3} &= R_0(1 + \alpha t_3 + \beta t_3^2). \end{aligned} \right\}$$

Решая эту систему относительно  $R_0$ ,  $\alpha$  и  $\beta$ , получают значения искомых величин. Это пример совместных измерений.

## Методы измерений

Метод измерений представляет собой совокупность приемов сравнения измеряемой величины и ее меры. По наличию меры в измерительном эксперименте различают две группы методов измерений (рис. 2): непосредственной оценки и методы сравнения с мерой.

При методах непосредственной оценки (отсчета) значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия.

В приборе прямого действия сигнал измерительной информации движется в одном направлении, а именно с входа на выход.

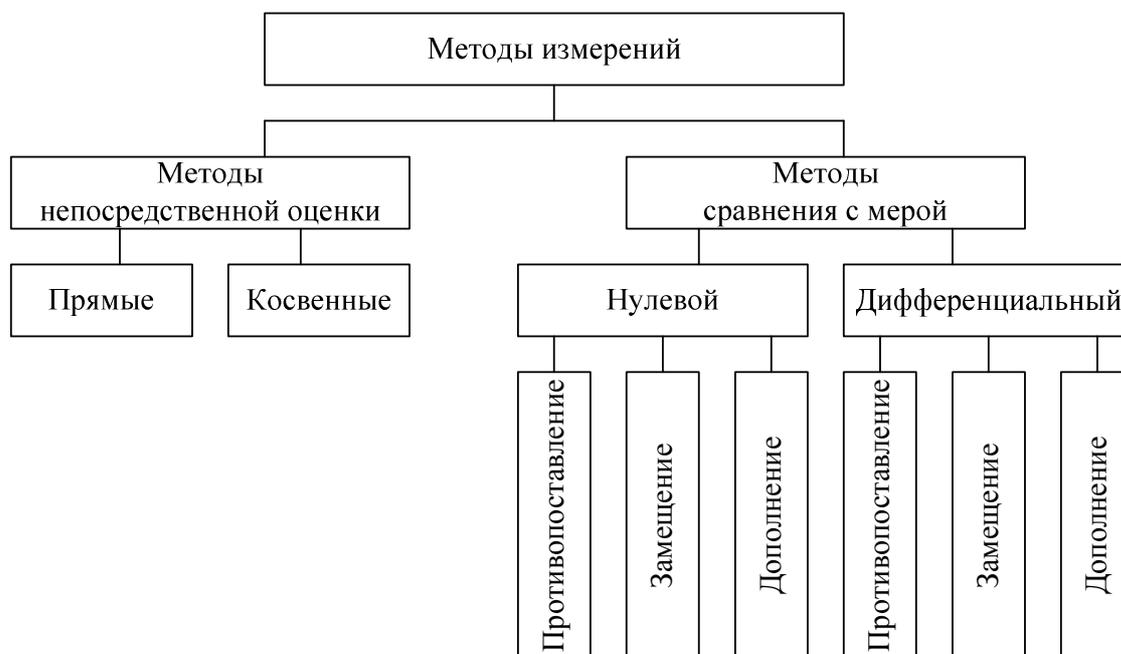


Рис. 2. Классификация методов измерений

*В методах сравнения с мерой* измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Методы сравнения в зависимости от наличия или отсутствия при сравнении разности между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, подразделяют на нулевой и дифференциальный.

*В нулевом методе* результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля (прибор сравнения, или компаратор, – измерительный прибор, предназначенный для сравнения измеряемой величины с величиной, значение которой известно).

*В дифференциальном методе* на измерительный прибор воздействует разность измеряемой величины и известной, воспроизводимой мерой. Этот метод позволяет получать результаты измерений с высокой точностью даже в случае применения относительно неточных измерительных приборов, если с большой точностью воспроизводится известная величина.

*В методе противопоставления* противопоставляется известная величина, связанная с ней известной зависимостью.

*В методе замещения* измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой. Это, например, взвешивание с поочередным помещением массы и гирь на одну и ту же чашку весов. Метод замещения можно рассматривать как разновидность дифференциального или нулевого методов с одновременным сравнением.

По условиям измерения различают контактный и бесконтактный методы измерений.

### **Средства измерений**

Классификация средств измерений представлена на рис. 3. Самыми многочисленными видами средств измерений можно назвать измерительные устройства, применяемые самостоятельно или в составе измерительных установок и измерительных систем.

Описанные выше различия в методах сравнения измеряемой величины с мерой находят свое отражение и в принципах построения измерительных приборов.

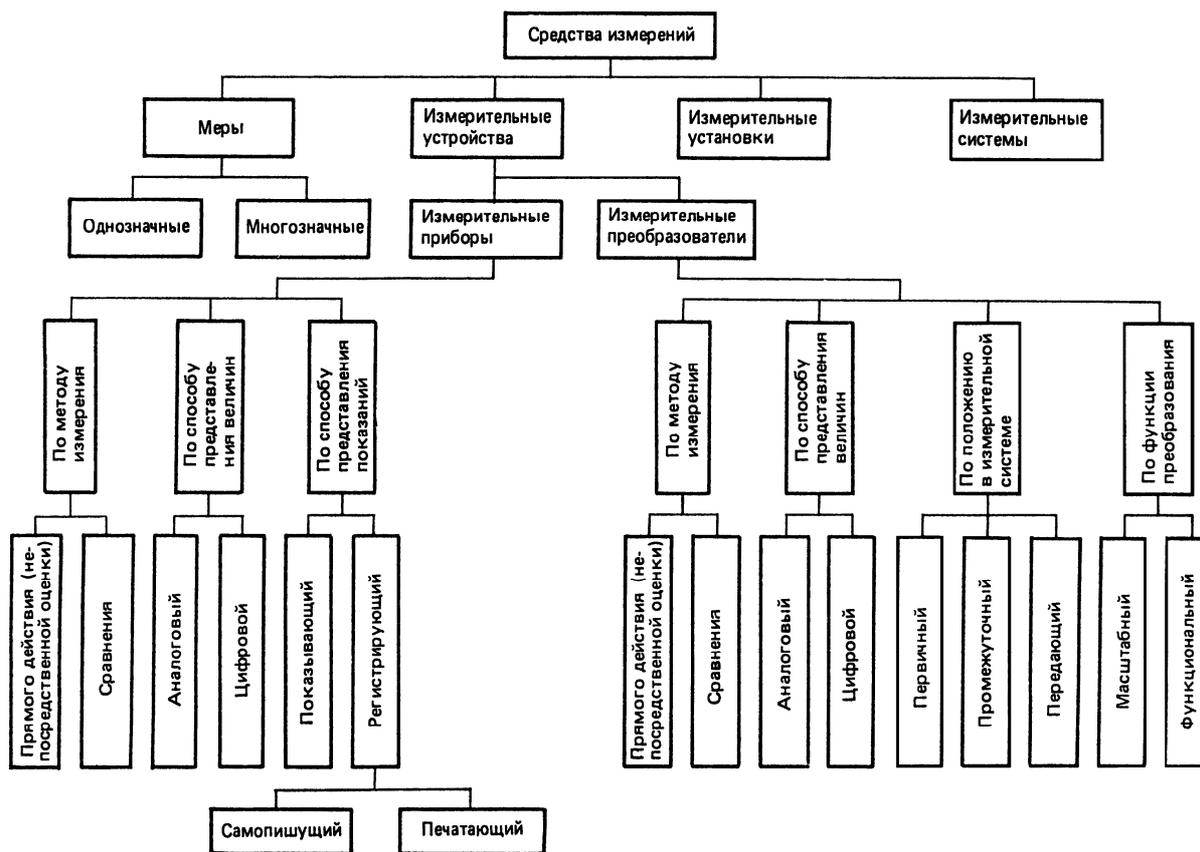


Рис. 3. Классификация средств измерений

В измерительном приборе прямого действия предусмотрено одно или несколько преобразований сигнала измерительной информации в одном направлении, то есть без применения обратной связи. Так, например, на рис. 4, а приведена структура электронного вольтметра переменного и постоянного тока, которая содержит выпрямитель В, усилитель постоянного тока УПТ и измерительный механизм ИМ. В этом приборе преобразование сигнала измерительной информации идет только в одном направлении.

Характерной особенностью приборов прямого действия является потребление энергии от объекта измерения. Однако это не исключает возможности применения приборов прямого действия для измерения, например, электрического сопротивления или емкости, но для этого необходимо использовать вспомогательный источник энергии.

Измерительный прибор сравнения предназначен для непосредственного сравнения измеряемой величины с величиной, значение ко-

торой известно. На рис. 4, б приведена структурная схема автоматического прибора сравнения, содержащая устройство сравнения УС, устройство управления УУ и изменяемую (регулируемую) меру М с отсчетным устройством.

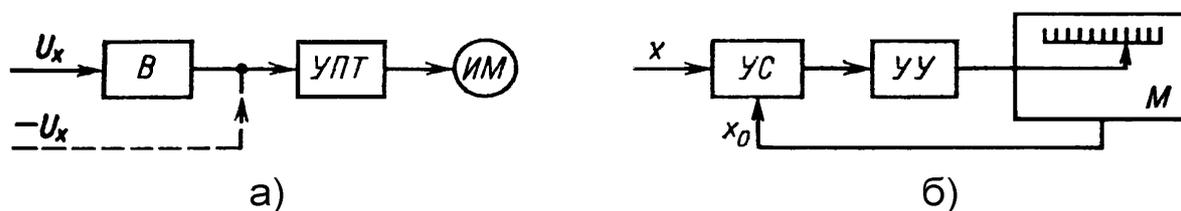


Рис. 4. Структурные схемы прибора

Измеряемая величина  $x$  и однородная с ней величина  $x_0$  подаются на входы устройства сравнения УС. Величина  $x_0$  получается от регулируемой меры М. В зависимости от результата сравнения  $x$  с  $x_0$  устройство управления УУ воздействует на меру М таким образом, чтобы величина  $|x - x_0|$  уменьшалась. Процесс уравнивания заканчивается, когда  $x_0 = x$ . При этом значение измеряемой величины отсчитывается по шкале регулируемой меры. Если в устройстве сравнения происходит вычитание величин  $x$  и  $x_0$ , то в данном приборе реализуется сравнение измеряемой величины с мерой нулевым методом.

Любой измерительный прибор сравнения должен иметь цепь обратной связи и замкнутую структуру. Обратная связь может применяться и в приборах прямого действия, однако в них она всегда охватывает не весь процесс преобразования, а только его часть. Например, в структурной схеме на рис. 4, а усилитель постоянного тока может быть охвачен обратной связью. В измерительных приборах сравнения в цепи обратной связи всегда формируется физическая величина, однородная с измеряемой, которая подается на вход прибора.

Сравнение измеряемой величины с мерой в приборах сравнения может осуществляться либо одновременно (нулевой метод), либо разновременно (метод замещения).

*Аналоговые измерительные приборы* (АИП) характеризуются тем, что их показания являются непрерывными функциями изменений измеряемых величин. Все многообразие АИП можно свести к трем структурным схемам, показанным на рис. 5.

Структурная схема, приведенная на рис. 5, а, соответствует АИП прямого действия. В данных АИП преобразование измерительной информации осуществляется только в одном направлении от входа к выходу. Измеряемая величина  $x$  с помощью измерительного преобразователя ИП преобразуется в напряжение или ток, который воздействует на электромеханический измерительный механизм ИМ, вызывая перемещение его подвижной части и связанного с ней указателя отсчетного устройства ОУ. Отсчетное устройство содержит оцифрованную шкалу, с помощью которой оператор  $Op$  получает количественный результат измерения. Градуировка шкалы прибора производится путем подачи на его вход ряда известных значений измеряемой величины, реализуемых многозначной образцовой мерой  $M$ . Таким образом, измеряемая величина сравнивается с единицей измерения в данном случае косвенно, а мера  $M$  в процессе измерения непосредственного участия не принимает.

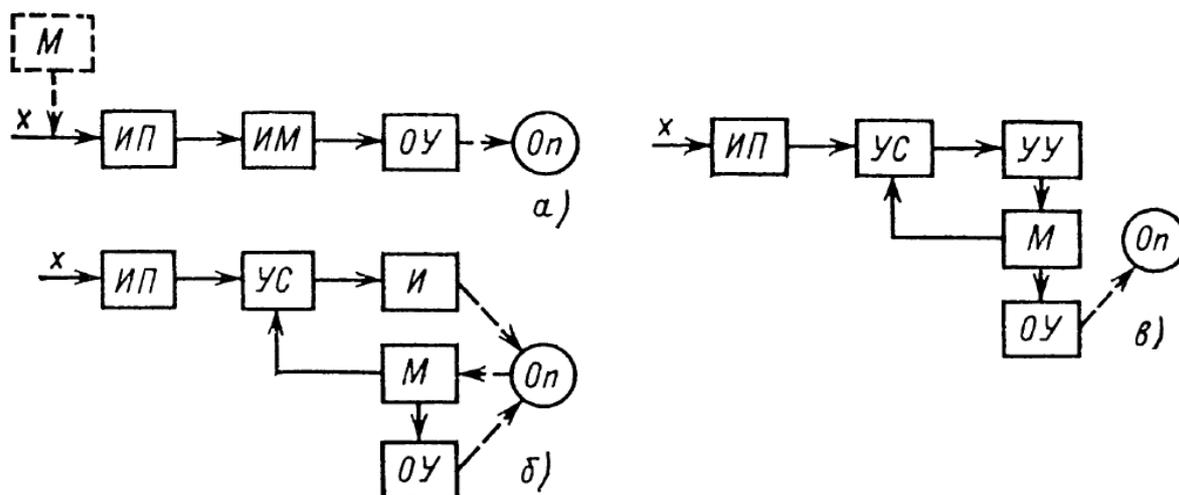


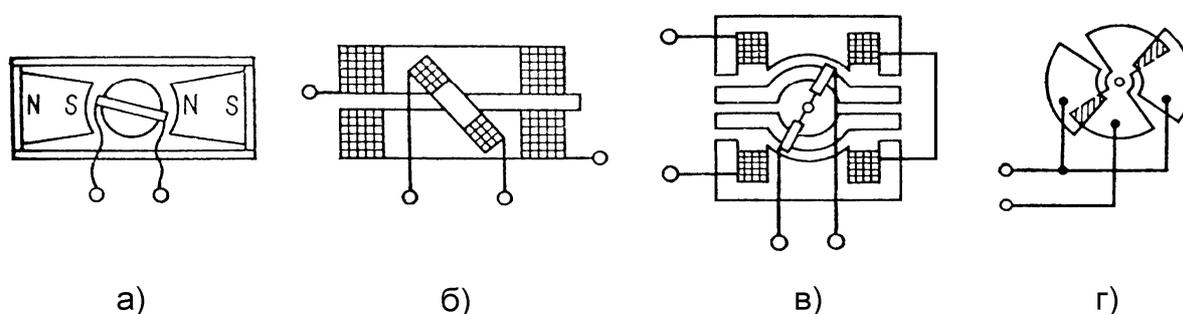
Рис. 5. Структурные схемы АИП

На рис. 5, б изображена структура АИП сравнения. Эти приборы предназначены для непосредственного сравнения измеряемой величины с величиной, значение которой известно. Устройство сравнения УС сравнивает значения преобразованной с помощью ИП измеряемой величины и образцовой величины, реализуемой регулируемой мерой  $M$ . Оператор  $Op$  с помощью индикатора И оценивает результат сравнения и регулирующее значение величины, воспроизводимой мерой  $M$ , до достижения равенства величин на входах УС. Значение величин-

ны, воспроизводимой мерой  $M$ , отображается отсчетным устройством ОУ, которое может быть отградуировано в единицах измеряемой величины.

При отсутствии ИП на входе АИП осуществляется непосредственное сравнение измеряемой величины с физически однородной ей величиной, воспроизводимой мерой. Обобщенная структура автоматического АИП сравнения приведена на рис. 5, в. Принцип действия аналогичен описанному выше, но мера  $M$  регулируется автоматически с помощью устройства управления УУ.

В АИП применяются различные ИМ, предназначенные для преобразования электрической энергии в механическую энергию перемещения подвижной части относительно неподвижной (рис. 6).



*Рис. 6. Схемы магнитоэлектрического (а), электродинамического (б), ферродинамического (в) и электростатического (г) ИМ*

В магнитоэлектрическом ИМ (рис. 6, а) рамка подвижной части перемещается в магнитном поле воздушного зазора. На рамку действует вращающий момент

$$M_{\text{вр}} = B \cdot S \cdot \omega \cdot I,$$

где  $B$  – магнитная индукция в рабочем зазоре,  $S$  – активная площадь рамки,  $\omega$  – число витков обмотки рамки,  $I$  – измеряемый ток.

Кроме вращающего момента, на подвижную часть ИМ действует противодействующий момент, создаваемый обычно пружиной

$$M_{\text{пр}} = \alpha \cdot W,$$

где  $\alpha$  – угол поворота подвижной части,  $W$  – удельный противодействующий момент. Рамка жестко соединена со стрелкой. Движение подвижной части происходит до тех пор, пока  $M_{\text{вр}} = M_{\text{пр}}$ . В этом положении стрелки отсчитывают показания по отсчетному устройству ОУ (обычно шкала).

Магнитоэлектрические ИМ применяются в амперметрах, вольтметрах, гальванометрах, омметрах и обеспечивают высокую точность (класс 0,05), равномерную шкалу, высокую чувствительность, малое собственное потребление мощности, большой диапазон измерений. Однако они имеют сложную конструкцию, показания зависят от температуры и пригодны для измерения только в цепях постоянного тока.

*В электродинамических ИМ* вращающий момент создается при взаимодействии тока, проходящего по рамке подвижной части, с магнитным потоком, создаваемым током, проходящим через неподвижные катушки возбуждения (рис. 6, б). К их достоинствам относятся возможность использования в цепях как постоянного, так и переменного тока, стабильность показаний во времени. Однако шкала неравномерна, чувствительность невысокая, показания зависят от частоты сигнала, температуры, внешних магнитных полей, тряски, вибраций, сложны по конструкции. Применяются в амперметрах, вольтметрах, ваттметрах, частотомерах, фазометрах классов точности 0,5, 0,2, 0,1.

*Ферродинамические ИМ* отличаются от электродинамических тем, что неподвижная катушка расположена на сердечнике из ферромагнитного материала (рис. 6, в), что приводит к значительному увеличению  $M_{вр}$  и уменьшению влияния внешних магнитных полей. Однако при этом снижаются точность за счет наличия потерь на гистерезис и вихревые токи. Поэтому их применение ограничено цепями переменного тока до 1,5 кГц в качестве амперметров, вольтметров, ваттметров. Промышленность выпускает тряско-, вибро- и ударопрочные ферродинамические приборы классов точности 1,5 и 2,5, переносные класса 0,5, щитовые классов 0,2 и 0,5. В цепях постоянного тока практически не используются из-за потерь на гистерезис.

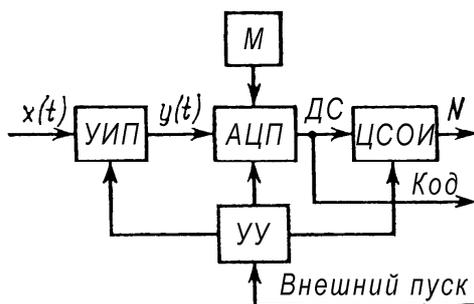
*В электростатических ИМ* (рис. 6, г) для перемещения подвижной части используется взаимодействие двух или нескольких электрически заряженных проводников. Измеряемое напряжение приложено к неподвижным и подвижным электродам из алюминия и создает между ними электростатическое поле и вращающий момент  $M_{вр}$ , поворачивающий подвижный электрод. Используются в цепях постоянного и переменного тока (до 10 МГц), показания не зависят от частоты и формы измеряемого напряжения, от внешних магнитных полей, имеют большой диапазон измеряемых напряжений (сотни киловольт). Однако имеют малую чувствительность, показания зависят от внешних электрических полей, классы точности 0,5, 1,0, 1,5.

В практике измерений широко применяются выпрямительные приборы, представляющие собой сочетание диодного выпрямителя и магнитоэлектрического ИМ. Такая комбинация обеспечивает измерение как постоянных, так и переменных токов в широком диапазоне частот (до 20 кГц). Промышленно выпускается в виде авометров.

Для измерений токов высокой частоты (до сотен МГц) используются *термоэлектрические приборы* – сочетание магнитоэлектрического ИМ и термоэлектрического преобразователя, выполненного в виде термопары и нагревателя (допустимая температура 600 ... 800 °С). Измеряемый ток протекает через нагреватель (проволока из вольфрама, нихрома и константана), температура которого определяется величиной этого тока. Термо-ЭДС термопары, пропорциональная величине тока, измеряется магнитоэлектрическим ИМ. Классы точности 0,5 и 1,0, диапазоны измерения 100 мА ... 10 А, 0,75 ... 50 В. Однако показания приборов зависят от температуры окружающей среды, входное сопротивление низкое (200 ... 300 Ом/В), малая чувствительность. Применяются в качестве амперметров, вольтметров, ваттметров.

*Электронные АИП* представляют собой сочетание электронной части (выпрямитель, усилитель) и магнитоэлектрического ИМ. Отличаются большим диапазоном измеряемых величин и быстродействием. Применяются в качестве вольтметров, частотомеров, измерителей емкости, сопротивления, индуктивности, параметров транзисторов, интегральных схем и др.

*Цифровые измерительные приборы* (ЦИП) автоматически пре-



**Рис. 7. Обобщенная структурная схема ЦИП**

образуют входную измеряемую величину в код. Показания ЦИП представлены в цифровой форме. В отличие от АИП в ЦИП обязательно выполняются операции квантования измеряемой величины по уровню, дискретизации её по времени и кодирование (рис. 7).

Измеряемая аналоговая величина  $x(t)$  поступает на унифицирующий измерительный преобразователь (УИП), содержащий делители, усилители, выпрямители, фильтры, преобразователи линеаризации и т. п. Нормализованный аналоговый сигнал  $y(t)$  поступает на вход аналого-

цифрового преобразователя (АЦП), который выполняет операции квантования по уровню и по времени  $x(t)$ , сравнения  $x(t)$  с мерой  $M$  и кодирование результатов. При этом на выходе формируется дискретный сигнал ДС, который преобразуется в цифровом средстве отображения информации (ЦСОП) в цифровой отсчет  $N$  или в виде кода передается на ЭВМ. Устройство управления (УУ) реализует необходимый алгоритм измерения.

Преимущества ЦИП перед АИП:

- удобство и объективность отсчета;
- высокая точность результатов измерения, практически недостижимая для АИП;
- широкий динамический диапазон при высокой разрешающей способности;
- высокое быстродействие за счет отсутствия подвижных электромеханических элементов;
- возможность автоматизации процесса измерения, включая такие операции, как автоматический выбор полярности и пределов измерения;
- высокая устойчивость к внешним механическим и климатическим воздействиям, помехозащищенность;
- использование новейших достижений микроэлектронной технологии при конструировании и изготовлении;
- возможность сочетания с вычислительными и другими автоматическими устройствами.

Промышленно выпускаются в виде цифровых вольтметров, частотомеров, фазометров, омметров, осциллографов и т. д.

### **Погрешности средств измерений**

При любом измерении имеется погрешность, представляющая собой отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. На рис. 8 приведена классификация погрешностей средств измерений по ряду признаков.

*Систематическая погрешность* – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины. По характеру проявления систематические погрешности разделяются на постоян-

ные и переменные. Переменные, в свою очередь, могут быть прогрессирующими, периодическими и изменяющимися по сложному закону.



**Рис. 8. Классификация погрешностей измерительных устройств**

Для исключения систематической погрешности наибольшее распространение в практике получил метод поправок.

*Случайная составляющая погрешности* при повторных измерениях одной и той же величины изменяется случайным образом. Обычно она является следствием одновременного действия многих независимых причин, каждая из которых в отдельности мало влияет на результат измерения. Случайные погрешности не могут быть исключены из результата измерения, но теория вероятности и математическая статистика позволяют оценить результат измерения при наличии случайных погрешностей. Они характеризуются свойствами, которые формулируются двумя аксиомами:

1. Аксиома случайности – при очень большом числе измерений случайные погрешности, равные по величине и различные по знаку, встречаются одинаково часто. Число отрицательных погрешностей равно числу положительных.

2. Аксиома распределения – малые погрешности встречаются чаще, чем большие. Очень большие погрешности не встречаются.

Случайные погрешности рассматриваются как случайные величины, подчиняющиеся некоторому симметричному закону распределения.

*Основной погрешностью* называют погрешность при использовании средства измерений в нормальных условиях. *Нормальными условиями* применения средств измерений называют условия, при которых влияющие величины имеют номинальные значения или находятся в пределах нормальной области значений. Нормальные условия применения указываются в стандартах или технических условиях на средства измерений. При использовании средств измерений в нормальных условиях считают, что влияющие на них величины практически никак не изменяют их характеристики.

*Дополнительной погрешностью* измерительного преобразователя (или изменением показаний измерительного прибора) называют изменение его погрешности, вызванное отклонением одной из влияющих величин от ее нормативного значения или выходом ее за пределы нормальной области значений. Дополнительная погрешность может быть вызвана изменением сразу нескольких влияющих величин.

Изменение погрешности, как и других характеристик и параметров измерительных устройств под действием влияющих величин, описывается функциями влияния. Иными словами, дополнительная погрешность – это часть погрешности, которая добавляется (имеется в виду алгебраическое сложение) к основной в случаях, когда измерительное устройство применяется в рабочих условиях. Рабочие условия обычно таковы, что изменения значений влияющих величин для них существенно больше, чем для нормальных условий, то есть область рабочих (часть этой области называют расширенной) условий включает в себя область нормальных условий.

В некоторых случаях основная погрешность измерительных устройств определяется для рабочей области изменения значений влияющих величин. В этих случаях понятие дополнительной погрешности теряет смысл.

В зависимости от режима применения различают *статическую и динамическую погрешности* измерительных устройств.

По форме представления принято различать абсолютную, относительную и приведенную погрешности измерительных устройств. У измерительных приборов имеется шкала, отградуированная в единицах входной величины, либо шкала, отградуированная в условных единицах с известным множителем шкалы, поэтому результат изме-

рения представляется в единицах входной величины. Это обуславливает простоту определения погрешности измерительных приборов.

*Абсолютной погрешностью* измерительного прибора  $\Delta$  называют разность показаний прибора  $X_{п}$  и истинного (действительного)  $X_{д}$  значения измеряемой величины

$$\delta = X_{п} - X_{д}.$$

Действительное значение определяется с помощью образцового прибора или воспроизводится мерой.

*Относительной погрешностью* измерительного прибора называют отношение абсолютной погрешности измерительного прибора к действительному значению измеряемой величины. Относительную погрешность выражают в процентах

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{д}} 100 \text{ \%}.$$

Так как  $\Delta \ll X_{д}$  или  $X_{п}$ , то в вышеприведенном выражении вместо значения  $X_{д}$  может быть использовано значение  $X_{п}$ .

*Приведенной погрешностью* измерительного прибора называют отношение абсолютной погрешности измерительного прибора к нормирующему значению  $X_{N}$ . Приведенную погрешность также выражают в процентах

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_{N}} 100 \text{ \%}.$$

В качестве нормирующего значения используется верхний предел измерений, диапазон измерений и другое. Средства измерений могут использоваться в статическом или динамическом режиме работы. В статическом режиме измеряемая величина не изменяется во времени, а отсчет выполняется тогда, когда практически окончены переходные процессы, вызванные подключением измеряемой величины ко входу средства измерений. В динамическом режиме измеряемая величина изменяется во времени. В соответствии с этим различают статическую погрешность средства измерений и погрешность средства измерений в динамическом режиме.

Очевидно, погрешность средства измерений в динамическом режиме включает в себя статическую погрешность и погрешность, обусловленную инерционностью средства измерений. Последняя погрешность носит название динамической погрешности средства изме-

рений и определяется как разность между погрешностью средства измерений в динамическом режиме и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени.

При анализе погрешностей средств измерений и выборе способов их уменьшения весьма важным является разделение погрешностей по их зависимости от значения измеряемой (преобразуемой) величины. По этому признаку погрешности делятся на аддитивные, мультипликативные, линейности и гистерезиса.

Аддитивную погрешность иногда называют погрешностью нуля, а мультипликативную – погрешностью чувствительности. Реально погрешность средства измерений включает в себя обе указанные составляющие. Графически образование перечисленных погрешностей показано на рис. 9.

Аддитивная погрешность постоянна при всех значениях измеряемой величины (рис. 9, а). На рисунке видно, что реальная функция преобразования  $Y = f_p(X)$  несколько смещена относительно номинальной  $Y = f_n(X)$ , то есть выходной сигнал измерительного устройства при всех значениях измеряемой величины  $X$  будет больше (или меньше) на одну и ту же величину, чем он должен быть в соответствии с номинальной функцией преобразования.

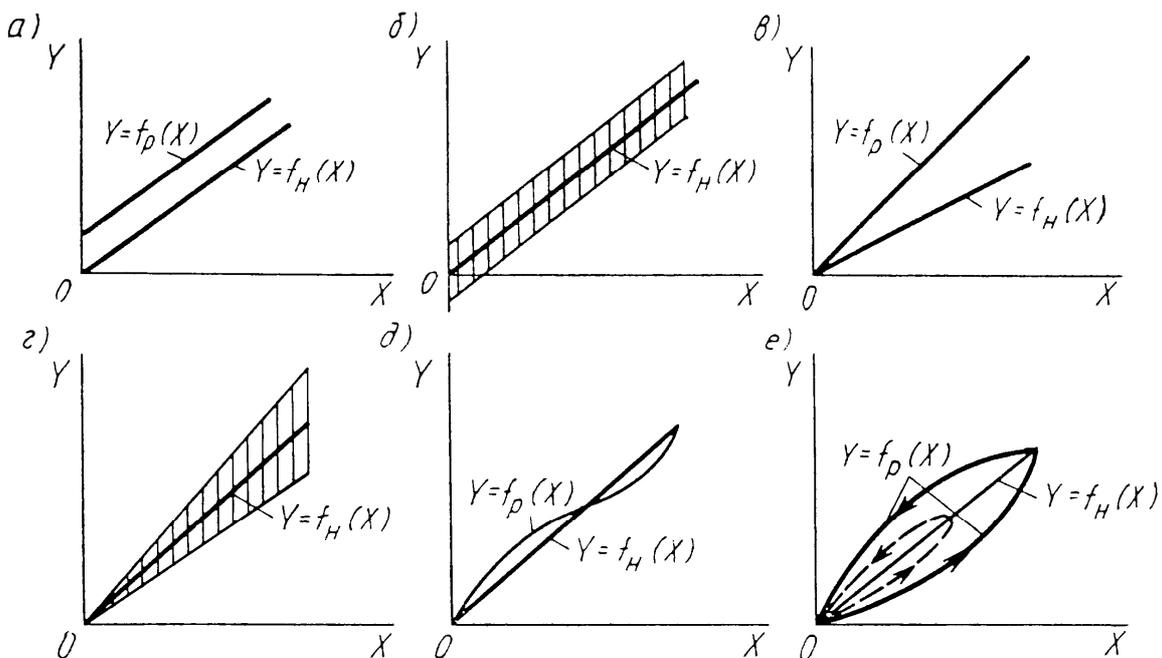


Рис. 9. Реальные функции преобразования измерительных устройств

Если аддитивная погрешность является систематической, то она может быть устранена. Для этого в измерительных устройствах обычно имеется специальный настроечный узел (корректор) нулевого значения выходного сигнала.

Если аддитивная погрешность является случайной, то ее нельзя исключить, а реальная функция преобразования смещается по отношению к номинальной во времени произвольным образом. При этом для реальной функции преобразования можно определить некоторую полосу (рис. 9, б), ширина которой остается постоянной при всех значениях измеряемой величины.

Возникновение случайной аддитивной погрешности обычно вызвано трением в опорах, контактными сопротивлениями, дрейфом нуля, шумом и фоном измерительного устройства.

*Мультипликативной* (получаемой путем умножения), или погрешностью чувствительности измерительных устройств, называют погрешность, которая линейно возрастает (или убывает) с увеличением измеряемой величины.

Графически появление мультипликативной погрешности интерпретируется поворотом реальной функции преобразования относительно номинальной (рис. 9, в). Если мультипликативная погрешность случайная, то реальная функция преобразования представляется полосой, показанной на рис. 9, г. Причина возникновения мультипликативной погрешности – обычно изменение коэффициентов преобразования отдельных элементов и узлов измерительных устройств.

На рис. 9, д показано взаимное расположение номинальной и реальной функций преобразования измерительного устройства в случае, когда отличие этих функций вызвано нелинейными эффектами. Если номинальная функция преобразования линейная, то вызванную таким расположением реальной функции преобразования систематическую погрешность называют погрешностью линейности (рис. 9, е). Причинами данной погрешности могут быть конструкция (схема) измерительного устройства и нелинейные искажения функции преобразования, связанные с несовершенством технологии производства.

## Методы повышения точности измерений

Для технологических измерений повышение точности измерений особенно важно в связи с широким использованием АСУ ТП. Для решения этой задачи применяются различные методы (рис. 10). Уменьшения случайной составляющей погрешности измерений можно добиться *увеличением числа наблюдений*.

Другим методом повышения точности измерений за счет уменьшения случайной составляющей погрешности является *использование параллельных одновременных измерений* одной и той же физической величины. Для этого необходимо применять сразу несколько средств измерений. Результаты наблюдений, полученных при этих измерениях, обрабатывают совместно. Как и в предыдущем методе, таким способом уменьшается среднее квадратическое отклонение.

Основные методы исключения систематической погрешности основаны на *устранении источников систематической погрешности до начала измерений и исключении систематических погрешностей по окончании измерений*. Это не только применение поправок и поправочных множителей, но и учет дополнительных погрешностей средств измерений.

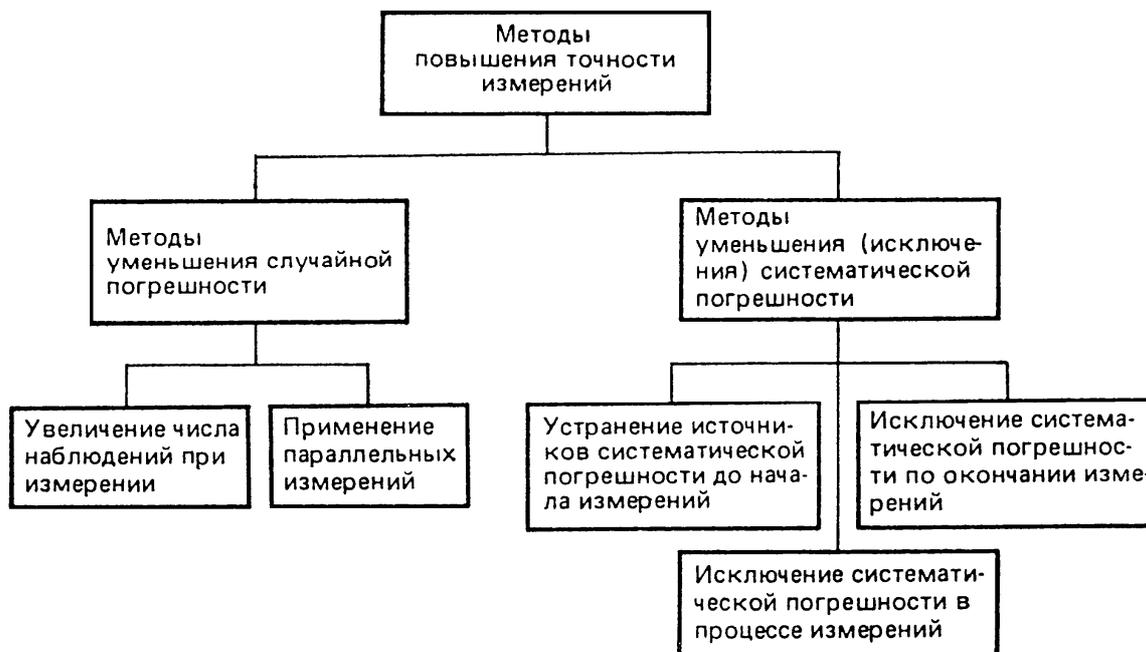


Рис. 10. Классификация методов повышения точности измерений

Применяют также методы, позволяющие определять и исключать систематическую погрешность в процессе измерений. Применение таких методов целесообразно, когда известна природа исключаемой систематической погрешности. Это методы замещения, компенсации погрешности по знаку и методы, базирующиеся на совместных или совокупных измерениях.

При использовании *метода компенсации погрешности по знаку* процесс измерения организуется таким образом, что известная систематическая погрешность входит в результат каждого из двух повторных измерений с противоположным знаком. Это позволяет после определения среднего арифметического значения исключить систематическую погрешность.

Сущность *методов, базирующихся на совместных или совокупных измерениях* применительно к уменьшению систематических погрешностей, состоит в том, что в процессе этих измерений изменяют параметр, отвечающий за возникновение систематической погрешности, или осуществляют измерение физической величины совместно и последовательно с несколькими вспомогательными мерами. В результате получают систему независимых уравнений, из решения которой определяют значения измеряемой физической величины уже с учетом систематической погрешности.

Одним из наиболее радикальных путей повышения точности измерений при прочих равных условиях является *использование более точных средств измерений*.

Применяется также ряд традиционных методов.

*Метод многократных наблюдений* используется для уменьшения случайной составляющей погрешности средства измерений и состоит в том, что за некоторый постоянный интервал времени, отведенный для измерения, выполняют несколько наблюдений, затем с помощью вычислительного устройства, входящего в состав данного средства измерений, вычисляют среднее арифметическое значение измеряемой величины и оценку среднеквадратического отклонения результата измерения.

*Метод многоканальных измерений* аналогичен рассмотренному методу параллельных измерений. Средства измерений в этом методе содержат несколько идентичных по характеристикам параллельных измерительных цепей (каналов) и вычислительное устройство, которое, получая измерительную информацию по этим каналам, вычисляет среднее арифметическое значение измеряемой величины и оценку среднеквадратического отклонения результата измерения. Такой метод позволяет уменьшить случайную составляющую погрешности средства измерений.

*Метод параметрической стабилизации*, называемый еще конструктивно-технологическим, состоит в стабилизации статической характеристики средств измерений. Параметрическая стабилизация реализуется путем изготовления средств измерений из точных и стабильных элементов, параметры которых мало подвержены внешним влияниям, термостабилизации, стабилизации параметров питания средств измерений, экранировки средств измерений от магнитных и электрических полей и т. п. Данный метод уменьшает систематическую и случайную погрешности средств измерений и является классическим в приборостроении.

*Структурные методы* основаны на том, что в состав средств измерений включаются дополнительные узлы, элементы и меры, обеспечивающие повышение точности этих средств измерений за счет информации, полученной с их помощью. Структурные методы повышения точности средств измерений подразделяют на методы, обеспечивающие стабилизацию статической характеристики средства измерений, и методы, основанные на коррекции этой характеристики.

### **Обработка результатов измерений**

*Прямые многократные равноточные измерения* проводятся по одной и той же методике средствами измерений одинаковой точности при постоянных внешних условиях. Для них справедливо равенство

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 = \text{const} \quad \text{для всех членов ряда.}$$

При равноточных измерениях обработку результатов измерений проводят следующим образом.

- Находят среднее арифметическое значение  $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \approx M(x)$

или  $M(x) \approx \bar{x} = x_o + \sum \frac{\varepsilon}{n}$ , где  $\varepsilon = x_i - x_o$ ;  $x_o$  – наименьшее цифровое значение результатов измерений;

- среднее квадратичное отклонение  $\sigma \approx S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$  ;
- среднее квадратичное отклонение  $\sigma_{\bar{x}}$  среднего арифметического  $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \approx S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}}$  ;
- погрешность измерения  $\Delta = t_p \cdot \sigma_{\bar{x}}$ , где  $t_p$  – коэффициент Стьюдента.

*Прямые многократные неравноточные измерения* – это измерения, в которых одну и ту же величину измеряют различными методами и (или) средствами измерений. В этом случае точность и соответственно дисперсии нескольких полученных значений будут различны

$$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \dots \neq \sigma_n^2 \neq \text{const} .$$

Объединение результатов таких измерений заключается в нахождении так называемого среднего взвешенного или весового среднего:

- среднее взвешенное  $\bar{x}_p$  определяют по формуле

$$\bar{x}_p = \frac{p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 + \dots + p_n \cdot x_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} \quad \text{или} \quad \bar{x}_p = \frac{x_o + \varepsilon_1 \cdot p_1 + \varepsilon_2 \cdot p_2 + \dots + \varepsilon_n \cdot p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} \quad (1)$$

где  $\varepsilon = x_i - x_o$ ;  $x_o$  – наименьшее значение из результатов измерения.

В краткой форме

$$\bar{x}_p = \frac{x_o + \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} ,$$

где  $p_i$  определяет «вес»  $i$ -го измерения. «Вес» измерения (или степень доверия) может быть вычислен по формуле

$$p_i = \frac{1}{\sigma_i^2}. \quad (2)$$

Числитель в формуле равен единице или выбирается таким, чтобы результат деления был удобным для последующих расчетов.

Подстановка (2) в (1) дает

$$\bar{x}_p = \frac{x_o + \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}};$$

- среднее квадратическое отклонение находят по формуле

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^n p_i (x_i - \bar{x}_p)^2},$$

где  $m$  – число групп измерений;

- среднее квадратическое отклонение среднего арифметического

$$\sigma_{\bar{x}_p} = \frac{\sigma_p}{\sum_{i=1}^n p_i};$$

- погрешность измерения  $\Delta = t_p \sigma_{\bar{x}_p}$ .

*Измерения с однократными наблюдениями.* При однократном наблюдении его результат принимают за результат измерения  $x$  с введением поправки, если она имеется и использованием предварительно полученных (например, при разработке МВИ) данных об источниках, составляющих погрешность.

# ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## Лабораторная работа № 1

### ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ КОНТАКТНЫМ И БЕСКОНТАКТНЫМ МЕТОДАМИ

#### Цели работы:

- получение практических навыков измерения линейных размеров ультразвуковым дальномером Bosch DUS 20 plus и рулеткой.
- приобретение навыков обработки результатов многократных неравноточных измерений.

#### Устройство и принцип работы ультразвукового дальномера Bosch DUS 20 plus\*

Принцип работы прибора (рис. 1.1) основан на акустическом отражении ультразвуковой волны от плоской преграды.

##### Элементы прибора:

- жидкокристаллический дисплей;
- кнопка «измерительная функция» (длина, площадь, объем);
- кнопка «измерение»;
- кнопка «включение-выключение» (on/of);
- кнопка «вызов из памяти» (MR);
- кнопка «суммирование в памяти» (M+);
- кнопка «сброс» (C/MC);
- отверстие для выхода ультразвукового излучения;
- отверстие для выхода лазерного излучения;
- крышка батарейного отсека.



*Рис. 1.1. Общий вид  
ультразвукового  
дальномера Bosch  
DUS 20 plus*

##### Основные характеристики дальномера

Диапазон измерений 0,6 – 20 м.

Точность измерений (+10 – +40 °С) ± 0,5 %  
(–5 – +50 °С) ± 1 %.

\* Перечень технической документации на средства измерений, используемые в лабораторных работах, приведен в прил. 1.

Рабочий диапазон температур  $-5 - +50$  °С.  
Диапазон температур хранения  $-20 - +85$  °С.

### ***Правила безопасности при работе с дальномером***

Обязательным условием безопасной работы с прибором является изучение в полном объеме руководства по эксплуатации, указаний по технике безопасности и строгое соблюдение содержащихся в них инструкций.

Запрещается смотреть в сторону источника лазерного излучения (лазерное излучение класса 2, 630 – 675 нм,  $< 1,5$  мВт ( $\alpha = 25$  мрад) в соответствии с EN 60825-1: 1997). Нельзя направлять лазерный луч на людей или животных. Очки для наблюдения лазерного излучения (принадлежность) не являются защитными очками, предохраняющими от лазерного луча. В связи с высокой яркостью сфокусированного светового луча необходимо обращать внимание на траекторию его распространения даже на значительном удалении от прибора.

Использование прибора детьми допускается только под контролем взрослых. Ни в коем случае не допускается вскрывать прибор самостоятельно.

### ***Подготовка дальномера к работе***

*Включение и выключение.* Включение и выключение прибора осуществляется нажатием кнопки «on/off». Включение сопровождается индикацией. Если измерения не производятся примерно в течение 5 мин, прибор автоматически отключается. Следует вынимать батарею на время длительных перерывов в эксплуатации прибора.

*Замена батареи.* Появление на дисплее символа батареи говорит о том, что заряд батареи исчерпан. Для замены батареи следует открыть крышку батарейного отсека и заменить батарею, соблюдая полярность. Следует использовать только щелочно-марганцевые батареи.

### ***Условия измерений***

Не перемещать прибор в процессе проведения измерения. Прибор измеряет расстояния, отсчитываемые от его задней кромки, то есть результат измерения включает и длину самого прибора. В случае

интенсивных температурных колебаний необходимо согласовывать температуру прибора с температурой окружающей среды.

Измерения не могут производиться в тех случаях, когда прибор направляется на звукопоглощающие поверхности. В таком случае следует установить на целевой поверхности лист из твердого материала, например, картона или фанеры.

Точки лазерного излучения расположены по окружности вокруг площади нацеливания. Улучшение условий видимости точек при высокой освещенности в месте проведения измерений может быть достигнуто применением очков для наблюдения лазерного излучения (специальная принадлежность).

Необходимые условия проведения измерений – использование ровных и гладких целевых поверхностей, отсутствие стеклянных поверхностей и других препятствий на пути распространения ультразвукового излучения между прибором и целевой поверхностью, отсутствие вблизи целевой поверхности выступов, мебели, ветра и дождя.

### ***Выполнение измерений***

Прибор выполняет несколько функций, которые могут выбираться путем неоднократного нажатия кнопки «измерительная функция». Очередность режимов такова: длина, площадь, объем.

*Измерение длины.* После включения прибор находится в режиме измерения длины, в левом нижнем углу дисплея показывается линия. Для измерения следует приложить прибор задней стороной к поверхности, служащей опорной точкой (например, к стене), и сориентировать прибор под прямым углом к целевой поверхности.

Нажать кнопку «измерение». Об окончании процесса измерения извещает звуковой сигнал, а в правой нижней части дисплея появляется результат измерения. За один прием может быть проведено измерение длины, не превышающей 20 м.

*Измерение площади.* Чтобы перейти в режим измерения площади, нужно нажать кнопку «измерительная функция» и удерживать до тех пор, пока в левом нижнем углу дисплея не появится квадрат.

Выполнить первое измерение нажатием кнопки «измерение», после чего в правом верхнем углу дисплея появится его результат.

При измерении второго значения сразу же производится расчет площади, результат которого появляется в правой нижней части дисплея. В правом верхнем углу дисплея отображается одновременно последний результат измерения длины. Мигающими полосками прибор сигнализирует о том, какого результата измерения длины он ожидает. За один прием может быть проведено измерение площади, не превышающей 400 м<sup>2</sup>.

*Измерение объема.* Чтобы перейти в режим измерения объема, следует нажать кнопку «измерительная функция» и удерживать до тех пор, пока в левом нижнем углу дисплея не появится куб.

Выполнить первое измерение нажатием кнопки «измерение», после чего в правом верхнем углу дисплея появится его результат. При втором измерении сразу же производится расчет площади. Для определения объема необходимо выполнить третье измерение. Результирующий объем появляется в правой нижней части дисплея, а в его правом верхнем углу отображается одновременно последний результат измерения длины. Мигающими полосками прибор сигнализирует о том, какого результата измерения длины он ожидает. За один прием может быть проведено измерение объема, не превышающего 8000 м<sup>3</sup>.

*Запоминание результата измерения, функция суммирования.* Нажатие кнопки «суммирование в памяти» (M+) приводит к записи в память значения, находящегося в данный момент в правом нижнем углу дисплея. В левой нижней части дисплея появляется буква «M». Если в памяти уже содержится ранее записанное значение, то новое значение прибавляется к содержимому памяти, но только в том случае, когда единицы измерения совпадают. Если в памяти находится значение площади, а текущим результатом измерения является значение объема, то суммирование осуществляться не может, в левом верхнем углу дисплея появляется текстовое сообщение «ERROR».

*Вызов из памяти.* Содержимое памяти может быть выведено на дисплей нажатием кнопки «вызов из памяти» (MR). Индикация этого значения продолжается три секунды, при этом на дисплее мигает буква «M» вместе с символом линии, объема или площади в зависимости от результата измерения, находящегося в данный мо-

мент в памяти. После этого дисплей автоматически возвращается к индикации текущего результата измерения. Записанное в память значение сохраняется после отключения прибора.

*Удаление результатов измерений.* Неоднократное нажатие кнопки «сброс» (С/МС) приводит к последовательному удалению последнего результата измерения, всех результатов измерений, значения из памяти, если на дисплее отображается символ «М». Если требуется убрать только значение, находящееся в памяти, следует вывести его на дисплей нажатием кнопки «вызов из памяти» (MR) и затем удалить показываемое значение нажатием кнопки «сброс» (С/МС).

*Отсутствие результата измерения.* Процесс измерения длины включает несколько отдельных измерительных операций. Результат выводится на дисплей только в том случае, если три отдельные измерительные операции показали одно и то же значение. В противном случае процесс измерений прерывается и на дисплее появляется штриховая линия.

### **Краткие теоретические сведения**

*Контактный метод измерений* основан на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерения (измерение температуры тела термометром, измерение линейных размеров).

*Бесконтактный метод измерений* основан на том, что чувствительный элемент прибора не приводится в контакт с объектом измерения (измерение расстояния до объекта радиолокатором, измерение температуры в доменной печи пирометром).

*Погрешности измерений.* По характеру проявления погрешности измерений можно разделить на систематические, случайные и грубые (промахи).

Систематические погрешности постоянны по величине и по знаку или изменяются по определенному закону в зависимости от характера неслучайных факторов, их вызвавших.

Постоянные систематические погрешности являются следствием неточной настройки средств измерений или условий измерения. Во многих случаях систематические погрешности могут быть сведены к нулю за счет тщательной организации и планирования измерений.

Случайные погрешности – это результат влияния случайных факторов, непостоянны по величине и знаку, непредсказуемы. Однако на основании предыдущих данных с помощью теории вероятности и математической статистики можно оценить пределы, в которых изменяется значение случайной суммарной погрешности.

Грубые погрешности считаются следствием недосмотра. Они подлежат выявлению и исключению до обработки результатов измерений. В данной лабораторной работе влияние грубых погрешностей не учитывается.

*Вероятность проявления случайной величины.* Действительный размер, полученный путем измерений, является случайной величиной. Обработку результатов измерений часто проводят с применением методов теории вероятностей и математической статистики. Отношение числа  $n$  случаев проявления события  $A$  к числу  $N$  произведенных испытаний, при котором это событие могло проявиться, называют частотью  $W$  события  $A$ .

Если число измерений  $N$  достаточно большое, то частота проявления события становится устойчивой, и значение  $W(A)$  будет колебаться около некоторого постоянного числа.

Это число является вероятностью  $P$  проявления события  $A$

$$P(A) \approx W(A) = \frac{n}{N}.$$

*Законы распределения случайных величин.* Результаты измерений – есть случайные величины, характеризующиеся законами распределения (функцией плотности распределения вероятности).

Плотность распределения вероятности  $P(X)$  является пределом отношения приращения вероятности попадания случайной величины  $X$  в некоторый интервал к величине этого интервала при его неограниченном уменьшении.

Характеристиками случайных величин следует полагать также математическое ожидание (или центр распределения)  $a$  и дисперсию  $D$ . Величина  $a$  характеризует среднее значение, а  $D$  – разброс случайного значения.

Величину  $\sigma = \sqrt{D}$  называют средним квадратичным отклонением (СКО). Из числа теоретических законов распределения случайной величины наиболее часто встречается закон нормального распределения (закон Гаусса). Известно, что данному закону подчиняются случай-

ные величины, на которые оказывает влияние большое число факторов, причем каждый из них не является доминирующим и играет малую роль в общей совокупности.

Для определения характера распределения случайной величины строят гистограмму ее опытного распределения (рис. 1.2). Сначала определяют размах рассеяния результатов измерений (разность максимального и минимального значений в ряду измерений). Размах делится на равные интервалы. Определяют границы интервалов, их середину ( $\bar{X}_i$ ), количество результатов измерений, попавших в каждый интервал (частота проявления  $n_i$ ), и частоту проявления – отношение частоты проявления к общему числу измерений ( $n_i/N$ ).

По оси абсцисс откладывают интервалы действительных размеров в миллиметрах, а по оси ординат – частоту проявления величины ( $n_i/N$ ). Ломаная линия, соединяющая середины полос гистограммы, называется полигоном распределения.

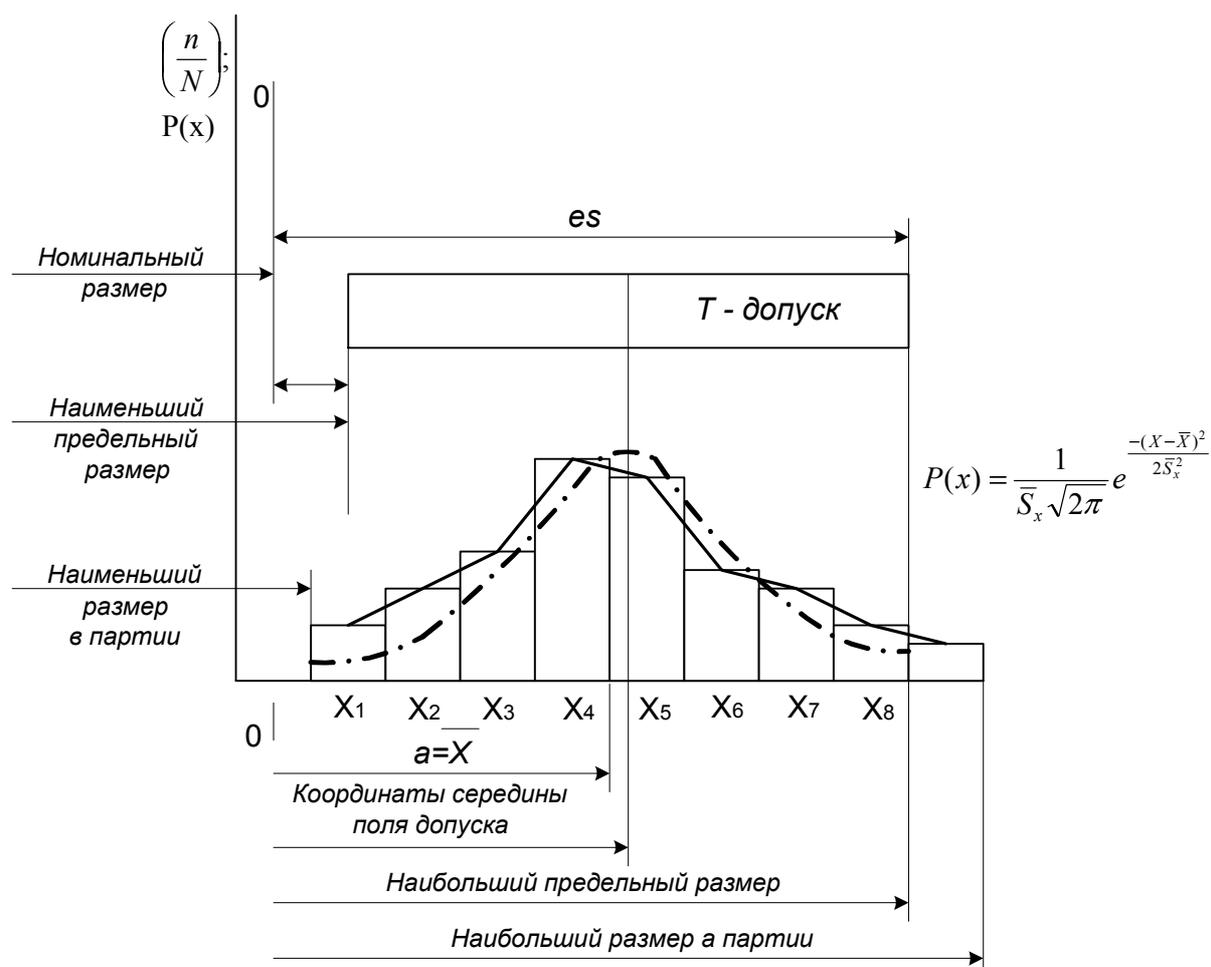


Рис. 1.2. Гистограмма опытного распределения случайной величины

Кривые нормального распределения описываются уравнением

$$P(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $P(X)$  – плотность распределения вероятности случайной величины  $x$ ;  $a$  – центр группирования, определяемый математическим ожиданием;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение (СКО);  $X$  – аргумент функции плотности вероятности.

На практике мы имеем дело с конечным числом измерений в серии, поэтому для математической обработки результатов измерений используются точечные оценки  $a \approx \bar{X}$  и  $\sigma \approx \bar{S}_x$ :

$$\bar{X} = \frac{X_1 \cdot n_1 + X_2 \cdot n_2 + \dots + X_k \cdot n_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} = \sum_{i=1}^k X_i \frac{n_i}{N}; \quad (1.1)$$

$$\bar{S}_x = \sqrt{\sum_{i=1}^k (\bar{X}_i - \bar{X})^2 \frac{n_i}{N}}, \quad (1.2)$$

где  $k$  – число равных интервалов, на которые делится размах ( $X_{\max} - X_{\min}$ ) действительных размеров в ряду (серии) измерений (рекомендуется принимать  $k = 8 - 15$ );  $\bar{X}_i$  – значение, соответствующее середине  $i$ -го интервала;  $N$  – общее число измерений (число измерений в серии).

Полученное на основе экспериментальных данных значение  $\bar{S}_x$  позволяет определить наибольшее рассеяние случайной величины. Для закона нормального распределения граница поля рассеяния 99,73 % объекта измерений лежит в пределах  $\pm 3 \cdot \bar{S}_x$ . Чем меньше расчетное значение  $\bar{S}_x$ , тем выше действительная точность объекта измерений.

### Порядок выполнения работы

*Получение результатов многократных равноточных измерений величины объема помещения (серия 1)*

Проводят многократные измерения ( $n = 30$ ) объема помещения с помощью дальномера (серия 1). Результаты записывают в табл. 1.1 в порядке возрастания.

Таблица 1.1

Результаты многократных измерений объема помещения,  
полученные с помощью дальномера

Серия 1	№ п/п	1	...	30
	Объем $V_i$ , м <sup>3</sup>	140,0	...	141,1

*Получение результатов многократных измерений объема помещения с помощью рулетки (серия 2)*

Проводят многократные ( $n = 5$ ) косвенные измерения линейных размеров помещения (длина  $L_d$ , ширина  $L_{ш}$ , высота  $L_v$ ), и рассчитывают объем помещения по формуле

$$V = L_d \cdot L_{ш} \cdot L_v.$$

Результаты записывают в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Результаты многократных измерений линейных размеров  
и косвенного измерения объема помещения, полученные  
с помощью рулетки

Серия 2	№ п/п	1	...	5
	Длина $L_d$ , м			
	Ширина $L_{ш}$ , м			
	Высота $L_v$ , м			
	Объем $V_i$ , м <sup>3</sup>			

*Построение гистограммы опытного распределения случайной величины объема помещения по результатам измерений серии 1*

О характере рассеяния случайной величины можно судить по гистограмме опытного распределения, построенной на основании результатов измерений (см. рис. 1.2). Для построения гистограммы опытного распределения случайной величины (величины объема помещения) проводят следующие действия.

1. Определяют величину размаха рассеяния результатов измерений (разность между наибольшим и наименьшим измерениями объема помещения) для серии 1 (измерения с помощью дальномера):

$$R_V = V_{\max} - V_{\min}.$$

2. Размах рассеяния результатов делят на 8 равных интервалов. Границы интервалов, их середину ( $\bar{V}_i$ ) и количество результатов измерений объема помещения, попавших в каждый интервал (частота проявления  $n_i$ ), заносят в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Результаты промежуточных расчетов для построения гистограммы опытного распределения величины объема помещения  $V$

Номер интервала рассеяния	Границы интервала		Середина интервала $\bar{V}_i, \text{м}^3$	Частота проявления $n_i$	Частость $n_i/N$	Отклонение от среднего значения $\bar{V}_i - \bar{V}$
	свыше	до (включительно)				
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

3. Рассчитывают частость (отношение частоты проявления  $n_i$  к общему числу измерений  $N$ ) и заносят в табл. 1.3.

4. Строят гистограмму опытного распределения действительных размеров объема помещения (см. рис. 1.2). Для этого по оси ординат откладывают значения частоты  $\frac{n_i}{N}$ , а по оси абсцисс – интервалы, на которые разбита зона рассеяния размеров объема помещения.

5. Строят эмпирическую кривую распределения. При этом за экспериментальные точки принимают середины соответствующих интервалов  $\bar{V}_i$ .

6. Проводят обработку результатов измерений объема помещения. Вычисляют эмпирический средний размер объема помещения  $\bar{V}$  (1.1), эмпирическую дисперсию  $\bar{S}_V^2$  и эмпирическое среднее квадратическое отклонение  $\bar{S}_V$  (1.2).

7. Строят график зависимости

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i-a)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $x_i = \bar{V}_i$  (в качестве случайной величины выступает результат измерения объема помещения, середина интервала опытного распределения).

Делают ряд допущений:  $a \approx \bar{V}$ ;  $\sigma \approx \bar{S}_x$ ;  $\sigma^2 \approx \bar{S}_x^2$ .

8. Формулируют вывод о законе распределения случайной величины.

*Обработка результатов многократных равноточных измерений, полученных в сериях 1 и 2*

Проводят обработку результатов многократных равноточных измерений в серии 1. Результаты серии измерений, полученные одним методом и одним средством измерений, являются равноточными.

Результаты равноточных измерений, содержащих случайные погрешности, обрабатывают методами математической статистики.

1. Вычисляют среднее арифметическое значение измерений объема помещения

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i,$$

где  $n$  – число измерений;  $V_i$  – результат  $i$ -го измерения объема (случайная величина).

2. Находят среднее квадратическое отклонение

$$\sigma \approx S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}.$$

3. Выбирают уровень надежности (доверительная вероятность) результатов измерений:  $P = 0,90$ ;  $P = 0,95$ ;  $P = 0,99$ . По табл. 1.4 находят коэффициент Стьюдента  $t_p(n)$  для выбранной вероятности  $P$  и числа измерений  $n$ .

4. Рассчитывают предельные значения абсолютных погрешностей измерений

$$\Delta V = t_p(n) \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

и определяют границы доверительного интервала

$$V_{1,2} = \bar{V} \pm \Delta V.$$

Таблица 1.4

Значения коэффициента  $t_p(n)$  для выбранной вероятности  $P$   
и числа измерений  $n$

Число измерений $n$	При доверительной вероятности $P$		
	0,90	0,95	0,99
5	2,13	2,77	4,60
6	2,02	2,57	4,03
7	1,94	2,45	3,71
8	1,89	2,36	3,50
9	1,86	2,31	3,36
10	1,83	2,26	3,25
11	1,81	2,23	3,17
12	1,80	2,20	3,11
13	1,78	2,18	3,06
14	1,77	2,16	2,98
15	1,76	2,14	2,95

### *Обработка результатов неравноточных измерений*

Проводят обработку результатов неравноточных измерений объема помещения, полученных разными методами и средствами измерений (серии 1 и 2).

За результат неравноточных многократных измерений принимают среднее взвешенное или весовое среднее. Средневзвешенную величину объема помещения рассчитывают по формуле:

$$\bar{V}_p = \frac{p_1 \cdot V_1 + p_2 \cdot V_2 + \dots + p_n \cdot V_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n}$$

или 
$$\bar{V}_p = \frac{V_o + \varepsilon_1 \cdot p_1 + \varepsilon_2 \cdot p_2 + \dots + \varepsilon_n \cdot x_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n}, \quad (1.3)$$

где  $\bar{V}_p$  – объем помещения как результат неравноточных измерений, м<sup>3</sup>;  $\varepsilon = V_i - V_o$ ;  $V_i$  – текущее значение объема в серии измерений, м<sup>3</sup>;  $V_o$  – наименьшее значение из результатов измерения.

В краткой форме

$$\bar{V}_p = \frac{V_o + \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n p_i},$$

где  $p_i$  определяет «вес»  $i$ -го измерения в ряду измерений данной серии.

«Вес» измерения (или степень доверия) может быть вычислен по формуле

$$p_i = \frac{1}{S_i^2}. \quad (1.4)$$

Числитель в формуле равен единице или выбирается таким, чтобы результат деления был удобным для последующих расчетов.

Подстановка (1.4) в (1.3) дает

$$\bar{V}_p = \frac{V_o + \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i^2}}.$$

Среднее квадратическое отклонение результатов измерений

$$S_p = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^n p_i (V_i - \bar{V}_p)^2},$$

где  $m$  – число серий измерений.

Среднее квадратическое отклонение весового среднего  $\bar{V}_i$

$$S_{\bar{V}_p} = \frac{S_p}{\sum_{i=1}^n p_i}.$$

Погрешность измерения  $\Delta V_p = t_p \cdot S_{\bar{V}_p}$ . Результат измерения объема как средневзвешенного представляется в следующем виде:

$$V_{1,2} = \bar{V}_p \pm \Delta V_p.$$

Делается вывод о точности объекта измерений.

## **Форма отчета**

1. Наименование работы, цель, краткие теоретические сведения.
2. Таблицы результатов измерений и промежуточных расчетов.
3. Гистограмма опытного распределения величины объема помещения и эмпирическая кривая распределения величины объема помещения.
4. Результаты измерений объема помещения по данным серий 1 и 2.
5. Расчетное значение объёма помещения как результат многократных неравноточных измерений.
6. Выводы по работе.

## **Контрольные вопросы**

1. На каком принципе основана работа ультразвукового дальномера Bosch DUS 20 plus?
2. Дайте определение однократных и многократных измерений.
3. Какие измерения называются косвенными?
4. Чем отличаются равноточные измерения от неравноточных?
5. Как определяется результат прямых равноточных измерений?
6. Какая аналитическая зависимость описывает нормальный закон распределения случайных погрешностей?
7. Как строятся гистограмма и полигон опытного распределения случайной величины?
8. Каким образом оцениваются результаты многократных неравноточных измерений?
9. Как находят «веса» каждой серии измерений?

## Лабораторная работа № 2

### ИЗМЕРЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГАЗОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ ИНДИКАТОРНЫМ МЕТОДОМ

#### Цели работы:

- освоение индикаторного метода определения концентраций вредных веществ в воздушной среде;
- получение навыков использования аспиратора НП-3М.

#### Краткие теоретические сведения

ГОСТ 12.1.014-84 «ССБТ. Воздух рабочей зоны. Метод измерения концентраций вредных веществ индикаторными трубками» устанавливает экспресс-метод измерения вредных веществ в воздушной среде. Сущность метода заключается в измерении окраски индикаторного порошка в результате реакции с вредным веществом (газом или паром) в анализируемом воздухе, просасываемом через трубку. Концентрация вредного вещества измеряется по длине изменившего первоначальную окраску слоя индикаторного порошка в трубке (линейно-колористическая индикаторная трубка) или по его интенсивности (колориметрическая индикаторная трубка).

#### *Основные определения*

Основные определения и требования, предъявляемые к аспираторам и индикаторным трубкам, приведены в ГОСТ Р 51712-2001 «Трубки индикаторные. Общие технические условия» и ГОСТ Р 51945-2002 «Аспираторы. Общие технические условия».

*Аспиратор* – устройство для отбора и измерения объема (расхода) проб газа для последующего его анализа.

*Малорасходные аспираторы* – аспираторы с расходом газа от 0,1 до 2,0 дм<sup>3</sup>/мин.

*Разовая проба* – проба, отбираемая в течение промежутка времени, не превышающего 1 ч.

*Среднесуточная проба* – проба, отбираемая в течение 24 ч непрерывно или дискретно с равными интервалами между отборами равной продолжительности.

*Индикаторная трубка* – измерительный преобразователь, представляющий собой трубку из оптически прозрачного материала, заполненную сорбентом (индикаторным порошком), изменяющим оптические свойства под действием проникающих внутрь трубки веществ.

*Колористическая индикаторная трубка* – индикаторная трубка, позволяющая измерять содержание вещества в анализируемой газовой среде, просасываемой через индикаторную трубку, по длине изменившегося первоначальную окраску слоя индикаторного порошка.

*Колориметрическая индикаторная трубка* – индикаторная трубка, позволяющая судить о содержании определяемого вещества в анализируемой газовой среде, просасываемой через индикаторную трубку, путем сравнения изменившейся окраски индикаторного порошка с прилагаемой цветной шкалой (или цветным образцом).

*Экспозиционная индикаторная трубка* – индикаторная трубка, обеспечивающая измерение средневзвешенного за время экспозиции содержания вещества в анализируемой газовой среде по длине изменившегося первоначальную окраску слоя индикаторного порошка без принудительного просасывания анализируемой пробы вследствие естественных процессов переноса.

*Устройство пробоотбора* – техническое средство, обеспечивающее просасывание анализируемой газовой среды через индикаторную трубку в необходимом для контроля количестве.

Объем пробы газовой среды, просасываемой через индикаторную трубку с помощью устройства пробоотбора, выражают в кубических сантиметрах.

### ***Аспиратор (насос-пробоотборник) НП-3М***

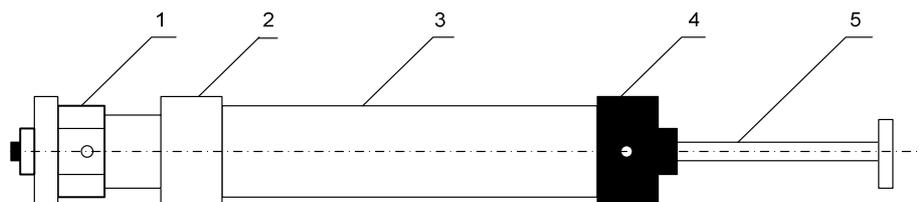
Аспиратор НП-3М предназначен для отбора разовых проб газоздушных смесей с целью последующего определения их химического состава с использованием индикаторных трубок в соответствии с ГОСТ Р 51712-2001, ГОСТ 12.1.014-84, ГОСТ Р 51945-2002 при проведении планового, технологического, оперативного и других видов контроля воздушной среды.

НП-3М представляет собой малорасходный ручной поршневой (механический) переносной аспиратор с прямым измерением объема газовой пробы (ГОСТ Р 51945-2002). Насос снабжен защитным адсорбционным патроном от воздействия агрессивных сред, устройством для вскрытия трубок и сигнальным устройством для контроля окончания отбора пробы.

#### *Технические характеристики*

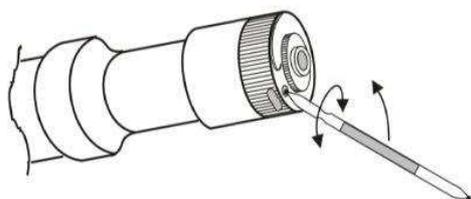
- объем отбираемой пробы – кратный 50 или 100 см<sup>3</sup>;
- относительная погрешность – не более  $\pm 5\%$ ;
- габаритные размеры: длина 285 мм, диаметр 42 мм;
- масса – 0,38 кг.

*Описание и принцип действия аспиратора НП-3М.* Аспиратор состоит (рис. 2.1) из цилиндрического корпуса, в котором перемещается шток, снабженный поршнем.



**Рис. 2.1. Внешний вид насоса-пробоотборника НП-3М: 1 – насадка; 2 – переходная втулка; 3 – цилиндр; 4 – крышка; 5 – шток**

К цилиндру крепится насадка с уплотнительной втулкой, предназначенной для установки индикаторной трубки. Насадка снабжена устройством для вскрытия индикаторной трубки (рис. 2.2) и смотровым окошком для фиксации окончания отбора пробы. В переходной втулке помещен защитный патрон с сорбентом.



**Рис. 2.2. Вскрытие индикаторной трубки с помощью специального устройства в насадке аспиратора НП-3М**

Работа насоса основана на создании разрежения в цилиндре при перемещении поршня и заполнении цилиндра анализируемой газовой смесью, поступающей через индикаторную трубку, установленную в уплотнитель-

ную втулку. Насос НП-3М позволяет прокачивать любой объем газовой смеси, кратный 50 или 100 см<sup>3</sup>. Абтюратор аспиратора НП-3М подходит для индикаторных трубок диаметром от 4,5 до 8 мм.

*Подготовка к измерениям.* Перед проведением измерений необходимо вскрыть индикаторную трубку с обоих концов. Для этого трубку вставляют в специальное отверстие в насадке аспиратора (см. рис. 2.2), надрезают о край отверстия поворотным движением и отламывают. Затем ее крепят в абтюраторе насоса. Стрелка, нанесенная на поверхность трубки, должна совпадать с направлением движения просасываемого воздуха.

### **Требования безопасности при выполнении измерений**

Измерение концентраций вредных веществ индикаторными трубками проводят лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности, обучение и допущенные к работе по контролю вредных веществ в воздухе.

Для стеклянных индикаторных трубок изготовителем должны быть предусмотрены специальные приспособления и (или) средства защиты, необходимые для безопасной работы со стеклом, в частности для безопасного вскрытия трубок, и поставляемые по заказу потребителя.

При использовании в индикаторных трубках вредных веществ в качестве реактивов на упаковке трубок должно содержаться предупреждение об их присутствии, а в паспорте – указанное предупреждение и перечень необходимых мер безопасности.

Индикаторные трубки не должны быть источниками выделений вредных веществ, загрязняющих окружающую среду выше установленных норм.

Сведения об утилизации должны содержаться в паспорте на индикаторные трубки.

Материалы, из которых изготовлен аспиратор, не должны являться источником выделения вредных веществ в воздушную среду.

## Проведение измерений

Измерение концентраций вредных веществ в воздухе проводится при следующих параметрах:

давление от 90,6 до 104 кПа (680 – 780 мм рт. ст.);

температура от 10 до 40 °С;

относительная влажность не более 95 %;

массовая концентрация пыли в газовой среде не более 40 мг/м<sup>3</sup>.

К воздухозаборному устройству присоединить индикаторную трубку, предназначенную для измерения концентрации вредного вещества, и фильтрующие трубки, если они предусмотрены нормативной документацией. Измерения следует проводить не позднее 1 мин после разгерметизации трубок.

Количество воздуха, просасываемого через индикаторную трубку и необходимое для последующего анализа, указывают на поверхности трубки или упаковочной коробке.

Начало и конец отбора пробы определяют соответственно по исчезновению и появлению точки в смотровом окошке, расположенном на насадке аспиратора НП-3М.

Концентрацию вредных веществ измеряют последовательно при производственных условиях по ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

Концентрацию вредного вещества (мг/м<sup>3</sup>) в воздухе измеряют по длине или интенсивности изменившего первоначальную окраску слоя индикаторного порошка с помощью шкалы, нанесенной на индикаторную трубку или упаковочную коробку. За результат измерения принимают среднее арифметическое из трех последовательных наблюдений.

При размытости границы раздела окрасок слоев исходного и прореагировавшего индикаторного порошка отсчет концентрации измеряемого вредного вещества по шкале проводят по нижней и верхней частям границы. За результат измерения принимают среднее значение.

Результат измерения концентрации вредного вещества приводят к нормальным условиям  $C_n$ : температура 293 К, атмосферное давление 101,3 кПа (760 мм рт. ст.), относительная влажность 60 %.

Концентрацию  $C_n$  при нормальных условиях вычисляют по формуле, мг/м<sup>3</sup>,

$$C_n = \bar{C}_{t,j,p} \frac{(273+t)101,3}{293p},$$

где  $\bar{C}_{t,j,p}$  – результат измерения концентрации вредного вещества при температуре окружающего воздуха  $t$ , °С, относительной влажности  $j$ , %, и атмосферном давлении  $p$ , кПа.

Относительная погрешность измерения  $\Delta$  не должна превышать  $\pm 35$  % в диапазоне до 2 ПДК включительно и 25 % при концентрации выше 2 ПДК при соблюдении требований к условиям проведения измерений.

Результат измерений представляют в виде  $(C_n \pm \Delta)$  мг/м<sup>3</sup> при доверительной вероятности 0,95.

Величину абсолютной погрешности  $\Delta$  вычисляют по выражению

$$\Delta = C_n \frac{\delta}{100}.$$

В диапазоне до 1 ПДК включительно допускается увеличение погрешности до 60 %. Это значение относительной погрешности должно быть указано в нормативно-технической документации на средства измерения.

Фактическая максимальная разовая концентрация вредного вещества  $C_n$  не должна превышать допустимое значение концентрации.

Допустимые значения концентраций вредных веществ установлены в гигиенических нормативах ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны». ПДК некоторых растворителей приведены в табл. 2.1, где в числителе даны нормативы для максимальных разовых концентраций, в знаменателе – для среднесменных.

Таблица 2.1

## ПДК растворителей

Наименование растворителя	ПДК, мг/м <sup>3</sup>
Ацетон (пропан-2-он)	800/200
Бутанол	30/10
Бутилацетат	200/50
Ксилол (диметилбензол)	150/50
Толуол (метилбензол)	150/50
Уайт-спирит	900/300
Этанол	2000/1000
Этилацетат	200/50

Фактическую среднесменную концентрацию  $C_{cc}$  рассчитывают с учетом времени воздействия фактической максимальной разовой концентрации. Пример результатов измерений максимальных разовых концентраций растворителей при выполнении различных операций на малярном участке автосервиса приведен в табл. 2.2.

Расчетное значение фактической среднесменной концентрации не должно превышать среднесменный норматив ПДК для данного вещества (табл. 2.1, значение, приведенное в знаменателе).

**Пример расчета среднесменной концентрации  
бутилацетата по данным табл. 2.2**

При выполнении работ на малярном участке две операции сопровождаются выделением бутилацетата – промывка пневматических пистолетов и нанесение краски и лака. Фактическая максимальная разовая концентрация бутилацетата при выполнении первой операции  $C_1$  – 70 мг/м<sup>3</sup>, время ее воздействия  $t_1$  – 20 % рабочей смены. Фактическая максимальная разовая концентрация бутилацетата при выполнении второй операции  $C_2$  – 150 мг/м<sup>3</sup>, время ее воздействия  $t_2$  – 10 % рабочей смены.

Расчет среднесменной фактической концентрации бутилацетата  $C_{cc}$  по фактическим максимальным разовым концентрациям с учетом времени их воздействия выполняем по формуле

$$C_{cc} = \frac{C_1 \cdot t_1 + C_2 \cdot t_2}{100} = \frac{70 \cdot 20 + 150 \cdot 10}{100} = \frac{1400 + 1500}{100} = 29 \text{ мг/м}^3.$$

Сравним фактическую среднесменную концентрацию бутилацетата с ПДК, приведенной в табл. 2.1. ПДК<sub>сс</sub> составляет 50 мг/м<sup>3</sup>. Превышения ПДК нет. Вывод: условия труда допустимые, класс условий труда – 2.

Таблица 2.2

Фактические значения максимальных разовых концентраций растворителей при выполнении различных операций

Наименование операций и выделяющихся вредных веществ	Фактическое значение концентрации, мг/м <sup>3</sup>	Допустимое значение концентрации, мг/м <sup>3</sup>	Продолжительность воздействия, % от 8-часовой смены	Класс условий труда
<b><i>Промывка пневматических пистолетов в зоне подготовки</i></b>			20	
Бутилацетат	70	200/50		2
Этилацетат	80	200/50		2
Толуол (метилбензол)	120	150/50		2
Бутанол	20	30/10		2
<b><i>Обезжиривание поверхностей в окрасочной камере</i></b>			10	
Уайт-спирит	110	900/300		2
<b><i>Нанесение грунта в окрасочной камере</i></b>			10	
Толуол (метилбензол)	140	150/50		2
Ацетон (пропан-2-он)	80	800/200		2
Бутилацетат	100	200/50		2
<b><i>Нанесение краски и лака в окрасочной камере</i></b>			10	
Толуол (метилбензол)	100	150/50		2
Ацетон (пропан-2-он)	90	800/200		2
Бутилацетат	150	200/50		2

**Порядок выполнения работы**

1. Выполнить измерения состава газовой смеси с выбранным компонентом (растворителем).
2. Рассчитать максимальную разовую концентрацию растворителя в воздухе для нормальных условий измерения. Сравнить полу-

ченное значение с ПДК, приведенным в табл. 2.1 (значение, приведенное в числителе).

3. Рассчитать погрешность измерения.

4. Рассчитать среднесменную концентрацию компонента (растворителя) по данным табл. 2.2.

5. Сравнить фактическую среднесменную концентрацию со среднесменным нормативом ПДК (табл. 2.1, значение, приведенное в знаменателе).

6. Результаты измерений и расчетов внести в табл. 2.3.

7. Сделать вывод о допустимости условий труда (допустимые или вредные).

Таблица 2.3

### Результаты измерений и расчетов

Компонент газовой смеси	Фактические значения концентрации компонента, мг/м <sup>3</sup>		Норматив ПДК, мг/м <sup>3</sup>		Заключение о превышении ПДК
	Максимальная разовая	Среднесменная	Максимальная разовая	Среднесменная	

### Форма отчета

1. Наименование работы, цель, формулы для обработки результатов измерений.
2. Таблица результатов измерений и промежуточных расчетов.
3. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Что такое аспиратор?
2. Что представляет собой индикаторная трубка?
3. Как проводят измерения колористической индикаторной трубкой?
4. Что такое ПДК вредного вещества?
5. В чем различие концентраций максимальной разовой и среднесменной?

## Лабораторная работа № 3

# ИСПЫТАНИЯ МОНИТОРА КОМПЬЮТЕРА НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПО ПОКАЗАТЕЛЮ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

### Цели работы:

- выработка навыков измерения электростатических полей с помощью измерителя напряженности электростатического поля «ИЭСП-01»;
- получение сведений о безопасных уровнях электростатических полей мониторов компьютеров.

### Устройство и работа измерителя напряженности электростатического поля ИЭСП-01

Параметры напряженности электростатического поля измеряют с помощью измерителя «ИЭСП-01» (см. рисунок).

*Основные технические характеристики измерителя «ИЭСП-01».* Диапазон измеряемых значений напряженности электростатического поля 1 – 180 кВ/м. Диапазон измеряемых значений электростатического потенциала 0,1 – 18 кВ.

Основная относительная погрешность измерения напряженности электростатического поля в нормальных климатических условиях  $\pm 20 \%$ .

Основная относительная погрешность измерения электростатического потенциала в нормальных климатических условиях  $\pm 10 \%$ .

*Назначение.* Прибор предназначен для измерения и контроля напряженности электростатических полей и электростатического потенциала независимо от природы их возникновения при аттестации рабочих мест по условиям труда, производственном контроле, гигиенической оценке безопасности производственного оборудования и бытовой техники согласно Сан-ПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации



*Внешний вид  
измерителя  
напряженно-  
сти электро-  
статического  
поля ИЭСП-01  
с антенной*

работы»; СанПиН 2.2.2.1332-03 «Гигиенические требования к организации работы на копировально-множительной технике»; СП 1.1.1058-01 «Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-противоэпидемиологических (профилактических) мероприятий»; СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»; СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях»; ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».

*Условия работы прибора.* Прибор может работать в производственных помещениях при следующих климатических условиях:

- температура окружающего воздуха +10 – +35 °С;
- атмосферное давление 84 – 107 кПа;
- относительная влажность воздуха, не более 65 % при +25 °С.

*Устройство и принцип работы прибора.* Принцип работы прибора заключается в преобразовании электростатического поля в напряжение между обкладками накопительного конденсатора, включенного в цепь: источник электростатического поля – антенна – накопительный конденсатор. Напряжение с накопительного конденсатора поступает на операционный усилитель с очень высоким (не менее 100 ГОм) входным сопротивлением, преобразуется в цифровую форму с помощью аналого-цифрового преобразователя и отображается на жидкокристаллическом индикаторе.

Напряженность электростатического поля измеряется либо в выбранной точке свободного пространства, либо в пространстве между поверхностью экрана дисплея и измерительной пластиной (или диском). Измерительная пластина или диск, устанавливаемые параллельно экрану дисплея, выравнивают электростатическое поле в пространстве между ними и поверхностью экрана.

Перед измерением обкладки накопительного конденсатора замыкаются с целью выравнивания их потенциалов кнопкой «Сброс». Установившийся потенциал равен потенциалу (заряду), индуцируемому электростатическим полем в выбранной (измеряемой) точке свободного пространства. Электростатическое поле при открывании шторки диска или повороте ручки съемной антенны индуцирует в приемной части антенны потенциал (заряд), пропорциональный напряженности поля.

*Конструкция.* Прибор состоит из электронного блока, измерительной пластины, диска и съемной антенны, а электронный блок, в свою очередь, – из индикаторного блока и закрепленной на нем стационарной антенны, приемная часть (электрод) которой расположена в чашке и закрывается крышкой.

Измерительная пластина или диск применяются для измерения электростатического потенциала экрана дисплея. Диск крепится к электронному блоку. При использовании измерительной пластины электронный блок вместе с диском закрепляется на ней. Отверстие в центре диска служит для установки в него чашки антенны так, чтобы электрод антенны совпал с плоскостью диска. На диске имеются шторка с поворотным механизмом, которая позволяет закрывать или открывать отверстие перед электродом антенны, и три стойки, задающие нормированное расстояние до экрана, равное 10 см. Съемная антенна используется для измерения напряженности электростатического поля в свободном пространстве и имеет подвижный и неподвижный узлы. Подвижный узел состоит из цилиндра с двумя симметричными измерительными электродами, трубки и ручки, неподвижный – из чашки с устройством, обеспечивающим электрические контакты измерительных электродов съемной антенны с обкладками накопительного конденсатора через чашку и приемную часть стационарной антенны.

*Питание прибора.* Напряжение питания постоянного тока +7,5 ... +10 В. Прибор допускает непрерывную работу не менее 8 ч. Мощность, потребляемая прибором, не более 150 мВт. Электропитание прибора может осуществляться от аккумулятора или батареи (типа «Корунд») напряжением 9 В и от внешнего сетевого источника постоянного тока. Батарея размещается под задней крышкой электронного блока. Внешний источник питания подключается с помощью разъема на боковой стенке электронного блока.

*Органы управления и индикации.* На лицевой панели электронного блока расположены кнопка включения питания «Вкл», цифровой четырехразрядный индикатор, кнопка «Сброс» для установки нуля показаний.

*Общие указания по эксплуатации.* До начала работы с прибором необходимо ознакомиться с руководством по эксплуатации.

Прибор чувствителен к загрязнению электродов антенн, поэтому необходимо не реже раза в неделю при ежедневной эксплуатации протирать активные поверхности антенн тканью, смоченной в спирте (ГОСТ 18300-87), и просушивать в течение 30 мин. Во избежание повреждения электронного блока эту операцию выполнять только при выключенном питании и нажатой кнопке «Сброс». Для съемной антенны эту операцию выполнять до подсоединения к электронному блоку.

Прибор чувствителен к внешним электростатическим полям, поэтому на операторе при проведении измерений должна быть хлопчатобумажная одежда или халат, а одежда из синтетики или шерсти обработана антистатиком. Электризующиеся предметы должны быть удалены на расстояние не менее 2 м.

Прибор чувствителен к повышенной влажности и изменениям температуры окружающего воздуха, поэтому после перемещения прибора к месту измерений рекомендуется выдерживать его не менее 2 ч в новых условиях.

*Правила безопасности при работе с прибором.* Имеющиеся в приборе электрические напряжения не превышают 12 В, он не требует специальных мер по обеспечению требований безопасности по ГОСТ Р 51350-99 и ГОСТ 22261-94. Прибор не является источником высокочастотных радиопомех, так как принцип его действия основан на усилении напряжения постоянного тока.

При измерениях электростатического потенциала экрана дисплея диск или измерительная пластина должны быть заземлены.

*Подготовка прибора к работе.* Включить питание прибора. При этом должны загореться цифры на цифровом индикаторе. Если на индикаторе высвечиваются «запятые», батарея питания разряжена и требует замены.

## **Выполнение измерений**

*Измерение электростатического потенциала экрана дисплея на рабочем месте с ПЭВМ.* Выполните следующее: снимите крышку с антенны электронного блока и установите его так, чтобы чашка ан-

тенны вошла в отверстие диска до упора, а приемная часть (электрод) антенны совпала с плоскостью диска; закрепите диск на электронном блоке прибора; подсоедините провод заземления диска к земляной шине помещения; прикрутите три стойки к диску; установите диск параллельно экрану монитора на расстоянии, определяемом стойками диска так, чтобы центр приемной части антенны совпал с центром экрана дисплея; включите электронный блок прибора, на индикаторе должно появиться произвольное число.

Установите показания электронного блока на нуль, для чего при закрытой шторке диска нажмите и отпустите кнопку «Сброс». Если показания прибора превышают  $\pm 0,2$  кВ/м, то повторите установку нуля.

Сразу после установки нуля откройте шторку и считайте измеренное значение  $E_{инд}$ . Если на индикаторе высвечивается только единица старшего разряда, это означает, что сигнал, наведенный электростатическим полем, превышает 199 кВ/м.

Закройте шторку диска. Значение электростатического потенциала экрана дисплея будет равно

$$U_{э} = E_{инд} \cdot L, \text{ кВ}, \quad (3.1)$$

где  $E_{инд}$  – измеренная напряженность электростатического поля, кВ/м;  $L$  – расстояние от экрана дисплея до диска, равное 0,1 м.

*Измерение электростатического потенциала экранов дисплеев при сертификационных испытаниях по ГОСТ Р.* Для измерения электростатического потенциала экрана дисплея при его сертификации выполните следующее: снимите крышку с антенны электронного блока и установите его так, чтобы чашка антенны вошла в отверстие диска до упора, а приемная часть (электрод) антенны совпала с плоскостью диска; закрепите диск на электронном блоке прибора; прикрутите три стойки к диску; закрепите прибор с диском на измерительной пластине; подсоедините провод заземления измерительной пластины к земляной шине помещения; установите измерительную пластину параллельно экрану дисплея на расстоянии, определяемом стойками диска; включите электронный блок прибора, на индикаторе должно появиться произвольное число.

Установите показания электронного блока на нуль, для чего при закрытой шторке диска нажмите и отпустите кнопку «Сброс». Если показания прибора превышают  $\pm 0,2$  кВ/м, то повторите установку нуля. Сразу после установки нуля откройте шторку и считайте измеренное значение  $E_{\text{инд}}$ . Если на индикаторе высвечивается только единица старшего разряда, это означает, что сигнал, наведенный электростатическим полем, превышает 199 кВ/м. Закройте шторку диска. Значение электростатического потенциала экрана дисплея будет равно

$$U_3 = E_{\text{инд}} \cdot L [1 + (0,12/D)^3], \text{ кВ}, \quad (3.2)$$

где  $E_{\text{инд}}$  – измеренная напряженность электростатического поля, кВ/м;  $L$  – расстояние от экрана дисплея до измерительной пластины, равное 0,1 м;  $D$  – размер экрана дисплея по диагонали, м.

*Измерения напряженности электростатического поля в свободном пространстве.* В выбранной точке пространства измеряют три взаимно перпендикулярные проекции вектора напряженности поля  $E_x$ ,  $E_y$  и  $E_z$ , а затем вычисляют модуль вектора напряженности  $E$  по формуле.

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}, \text{ кВ/м}. \quad (3.3)$$

Для измерения напряженности электростатического поля в свободном пространстве выполните следующее: снимите крышку с антенны электронного блока и присоедините к ней съемную антенну; разместите прибор таким образом, чтобы центр съемной антенны (пересечение продольной и измерительной осей антенны) находился в измеряемой точке пространства; выберите виртуальную систему координат с центром в измеряемой точке и сориентируйте продольную ось антенны по одной из координат; включите электронный блок прибора, на индикаторе должно появиться произвольное число.

Установите показания прибора на нуль, для чего нажмите и отпустите кнопку «Сброс». Если показания прибора превышают  $\pm 0,2$  кВ/м, то повторите установку нуля.

Сразу после установки нуля, не перемещая антенну в пространстве, поверните ручку антенны на  $180^\circ$ .

Считайте измеренное значение  $E_{\text{инд}(X, Y, Z)}$ . Знак при этом не учитывайте. Если на индикаторе высвечивается только единица старшего

разряда, это означает, что сигнал, наведенный электростатическим полем, превышает 199 кВ/м. Повторите для двух других координат.

Значение модуля вектора напряженности электростатического поля определяется по формуле (3.3).

*Завершение работы с прибором.* Выключите электронный блок, отсоедините съемную антенну и внешний источник питания. Закройте приемную часть антенны электронного блока крышкой. Выньте батарею (аккумулятор) из электронного блока, если предполагается длительно не использовать прибор.

*Оформление результатов измерений.* Результаты измерений записать в таблицу, сравнить с нормативным значением напряженности электростатического поля, сделать выводы о допустимости условий труда на рабочем месте оператора ЭВМ.

*Пример оформления результата измерений.* Результаты расчета напряженности электростатического поля составили 0,100 кВ/м.

Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения напряженности электростатического поля измерителем «ИЭСП-01»  $\pm 20\%$ .

Погрешность результата измерения составит  $0,100 \cdot 0,20 = 0,020$  кВ/м.

Форма представления результата измерения  $(0,100 \pm 0,020)$  кВ/м.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с устройством, принципом и правилами безопасной работы измерителя напряженности электростатического поля «ИЭСП-01».

2. Подготовить измеритель «ИЭСП-01» к использованию.

3. Провести измерения напряженности электростатического поля при работе ПЭВМ от сети и при работе от аккумулятора.

4. Записать показания прибора в таблицу.

5. Сравнить результаты измерений с допустимыми уровнями ЭМП по нормам.

6. Сделать вывод о безопасности монитора ПЭВМ по показателю напряженности электростатического поля при работе ПЭВМ от сети и от аккумулятора.

## Результаты измерений напряженности электростатического поля монитора компьютера

Место измерения	Напряженность электростатического поля, кВ/м		
	Фактические значения		Значение по нормам*
На расстоянии 10 см от экрана ПЭВМ	при работе от аккумулятора	при работе от сети	
На высоте 0,5 м			15
На высоте 1,0 м			15
На высоте 1,5 м			15

\*Нормативные документы, устанавливающие метод проведения измерений и оценок и регламентирующие нормативные значения ЭМП: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ», утвержденные Главным государственным санитарным врачом РФ 30 мая 2003 г. (в редакции Изменения от 3 сентября 2010 г.); Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда», утвержденное главным государственным санитарным врачом РФ 29.07.2005 г.

### Форма отчета

1. Наименование работы, цель, нормативное значение электростатических полей для монитора компьютера.
2. Таблица результатов измерений.
3. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Для каких измерений предназначен измеритель «ИЭСП-01»?
2. Каковы рабочие условия эксплуатации измерителя «ИЭСП-01»?
3. Какой уровень электростатических полей считается биологически безопасным в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03?

## Лабораторная работа № 4

### ИСПЫТАНИЯ МОНИТОРА КОМПЬЮТЕРА НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПО ПАРАМЕТРАМ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ПЛОТНОСТИ МАГНИТНОГО ПОТОКА

#### Цели работы:

- освоение практических навыков измерения электрических и магнитных полей с помощью измерителя «ВЕ-метр-АТ-002»;
- получение сведений о безопасных уровнях электрических и магнитных полей мониторов компьютеров.

#### Назначение, устройство и работа измерителя «ВЕ-метр-АТ-002»

Измеритель параметров электрического и магнитного полей «ВЕ-метр-АТ-002» предназначен для контроля норм по электромагнитной безопасности видеодисплейных терминалов (ВДТ). Измеритель применяется при проведении комплексного санитарно-гигиенического обследования помещений и рабочих мест.

#### *Условия эксплуатации*

Климатические условия:

- температура от +5 до +40 °С;
- влажность до 90 % при 25 °С;
- давление от 84 до 107 кПа.

Измерения проводятся на расстоянии от источника электрического (магнитного) поля, окружающих диэлектрических и металлических предметов не менее, чем вдвое превышающем максимальный размер прибора ( $2 \times 0,2 \text{ м} = 0,4 \text{ м}$ ).

#### *Технические характеристики измерителя*

- диапазон частот от 5 Гц до 400 кГц;
- полосы частот, в которых измеряется среднеквадратическое значение напряженности электрического поля, и плотности магнитного потока: в полосе 1 – от 5 до 2000 Гц; в полосе 2 – от 2 до 400 кГц;
- диапазон среднеквадратических значений напряженности электрического поля: в полосе 1 – от 8 до 100 В/м; в полосе 2 – от 0,8 до 10 В/м;

- диапазон среднеквадратических значений плотности магнитного потока: в полосе 1 – от 0,08 до 1 мкТл; в полосе 2 – от 8 до 100 нТл;

- пределы допускаемой основной относительной погрешности измерителя в режиме измерения среднеквадратических значений в полосе 1 или 2 напряженности электрического поля, возбуждаемого ВДТ,  $\pm 20 \%$ ; пределы допускаемой основной относительной погрешности измерителя в режиме измерения среднеквадратических значений в полосе 1 или 2 плотности магнитного потока магнитного поля, возбуждаемого ВДТ,  $\pm 20 \%$ ;

*Принцип действия измерителя.* Принцип действия измерителя состоит в преобразовании колебаний электрического и магнитного полей в колебания электрического напряжения, частотной фильтрации и усиления этих колебаний с последующим их детектированием. Продетектированный сигнал поступает на аналогово-цифровой преобразователь, результирующие числовые значения величин зарегистрированных колебаний электрического и магнитного полей анализируются встроенным в измеритель микропроцессором, результат измерений индицируется на матричном жидкокристаллическом индикаторе.

Электрическое и магнитное поля регистрируются одновременно во всей частотной полосе измерения. Зарегистрированный сигнал после предварительного усиления разделяется активными частотными фильтрами и в дальнейшем усиливается в независимых каналах регистрации. Прибор таким образом объединяет в одной конструкции два отдельных измерителя напряженности электрического поля, два отдельных измерителя плотности магнитного потока и микропроцессорный блок обработки и анализа результатов измерений.

*Питание.* Прибор питается от аккумуляторной батареи, состоящей из четырех аккумуляторов типа GP 85 ААК. Для зарядки аккумуляторной батареи питания следует кнопкой «Питание» выключить прибор. Затем штекер зарядного устройства вставить в соответствующее гнездо прибора, а само зарядное устройство – в розетку сети переменного тока 50 Гц. Время зарядки – 10 ч.

*Конструкция.* Внешний вид измерителя представлен на рисунке.

Измеритель выполнен в виде портативного прибора, объединяющего в одном корпусе датчики-измерители плотности магнитного потока и напряженности электрического поля, блоки полосовых (НЧ и ВЧ) усилителей-детекторов, цифровой обработки результатов регистрации, управления и индикации, питания. Корпус прибора выполнен из синтетического материала с низким уровнем диэлектрических потерь.

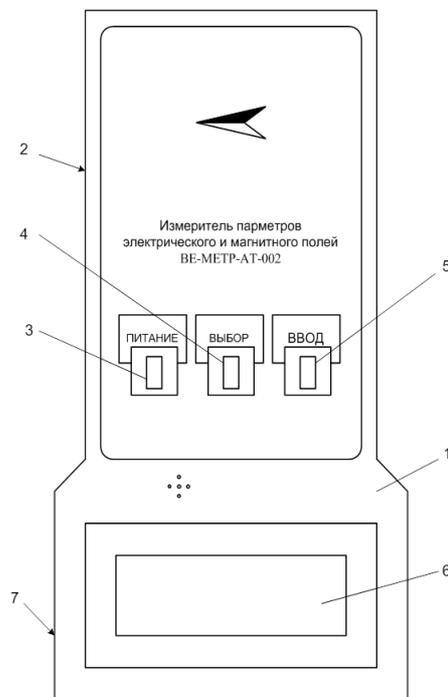
Для удобства пользователя все управляющие органы измерителя (выключатель питания, кнопки выбора режима и запуска измерений) вынесены на переднюю панель прибора и объединены в один блок управления. В боковой части прибора (слева под индикаторной панелью) расположено гнездо подключения зарядного устройства.

*Правила безопасности при работе с измерителем.* Измеритель не содержит источников напряжений, опасных для жизни, а также источников опасных излучений и безопасен в эксплуатации.

Не допускается подвергать измеритель ударным и вибрирующим воздействиям. К обслуживанию измерителя допускаются лица, внимательно изучившие руководство по эксплуатации.

*Подготовка измерителя к работе.* Перед работой необходимо провести внешний осмотр измерителя и убедиться в отсутствии механических повреждений корпуса и индикаторной панели.

Нажатием на кнопку «Питание» включить измеритель, дождаться результатов самотестирования и в случае высвечивания надписи



**Внешний вид измерителя со стороны лицевой панели:**  
1 – корпус прибора; 2 – гнездо включения внешней антенны; 3 – выключатель питания; 4 – кнопка выбора режимов измерения; 5 – кнопка запуска измерений и ввода результатов в память процессора; 6 – жидкокристаллический строчный дисплей; 7 – гнездо подключения зарядного устройства

«Батарея разряжена» прекратить работу и подключить измеритель к зарядному устройству. Для восстановления заряда батареи требуется не менее 10 часов. Чтобы исключить разрядку батареи в процессе проведения измерений, следует, не дожидаясь ее полной разрядки, периодически заряжать батарею после 8 – 12 ч работы измерителя в течение времени, равного половине времени работы измерителя.

### **Проведение измерений**

По выбору пользователя может быть установлен либо режим непрерывного измерения среднеквадратических значений напряженности электрического поля и плотности магнитного потока (режим «НЕПРЕРЫВНО»), либо режим измерения абсолютной величины полного вектора, включающий измерения трех компонент среднеквадратических значений напряженности электрического поля и плотности магнитного потока и последующее вычисление абсолютной величины вектора напряженности электрического поля и плотности магнитного потока (режим «АТТЕСТАТ»).

Первый режим целесообразно использовать для общего обследования рабочих помещений, второй – для аттестации рабочих мест операторов ЭВМ и других электротехнических устройств.

При измерениях напряженности электрического поля и плотности магнитного потока следует закрепить прибор на диэлектрической штанге, входящей в комплект измерителя, и держать (а также перемещать) прибор только с ее помощью. При проведении аттестационных измерений штангу следует крепить на диэлектрическом основании (например, на диэлектрическом штативе, спинке деревянного стула и т. п.).

Результаты измерений параметров электрического поля в диапазонах 1 и 2 выдаются в вольтах на метр, результаты измерений параметров магнитного поля в диапазоне 1 – в микротеслах, в диапазоне 2 – в нанотеслах. При пересчетах следует иметь в виду, что  $1 \text{ мкТл} = 1000 \text{ нТл}$ .

Для выбора первого режима следует при высвечивании на индикаторе надписи «Выберите режим» кнопкой «Выбор» выбрать (добиваясь мигания соответствующей надписи) режим непрерывного измерения. Кнопкой «Ввод» включить выбранный режим измерений.

Далее следует разместить измеритель передней торцевой частью в точке измерения и считать показания индикатора. Перемещая измеритель в различные точки рабочего помещения, можно определить величину среднеквадратических значений напряженности электрического поля и плотности магнитного потока в этих точках. Результат измерения относится к точке, в которой находится геометрический центр передней торцевой панели прибора (см. рисунок).

Для выбора второго режима следует при высвечивании на индикаторе надписи «Выберите режим» кнопкой «Выбор» выбрать (добиваясь мигания соответствующей надписи) режим «Аттестация» (измерение полного поля). Кнопкой «Ввод» включить выбранный режим измерений.

Поместить измеритель так, чтобы геометрический центр передней торцевой панели прибора находился в точке измерения (на расстоянии 0,5 м от экрана ВДТ на перпендикуляре к его центру). Начальная ориентация прибора должна быть такой, чтобы стрелка на лицевой панели была расположена горизонтально, перпендикулярно плоскости экрана ВДТ. Нажатием кнопки «Ввод» включить измерение.

Дождавшись звукового сигнала, свидетельствующего о выполнении измерения, переориентировать измеритель так, чтобы стрелка, оставаясь в горизонтальной плоскости, была ориентирована параллельно плоскости экрана ВДТ. Нажатием кнопки «Ввод» включить измерение.

Дождавшись звукового сигнала, свидетельствующего о выполнении измерения, переориентировать измеритель так, чтобы стрелка на лицевой панели была расположена вертикально. Нажатием кнопки «Ввод» включить измерение.

Дождавшись звукового сигнала, свидетельствующего о выполнении измерения, нажать кнопку «Ввод». Результаты проделанных

измерений будут автоматически обработаны микропроцессором измерителя, и абсолютные величины векторов напряженности электрического поля и плотности магнитного потока в двух частотных диапазонах будут высвечены на индикаторе измерителя.

После окончания измерений следует записать результаты измерений в приведенную таблицу и, нажав на кнопку «Питание», выключить прибор. Индикатор на панели измерителя погаснет.

### Результаты измерений напряженности электрического поля и плотности магнитного потока

Место измерения	Допустимые уровни ЭМП по нормам*							
	Напряженность электрического поля, В/м				Плотность магнитного потока, нТл			
	Диапазон 5 Гц – 2 кГц		Диапазон 2 – 400 кГц		Диапазон 5 Гц – 2 кГц		Диапазон 2 – 400 кГц	
	25		2,5		250		25	
	Фактические значения измеряемых параметров							
На рабочем месте оператора ЭВМ на расстоянии 50 см от экрана ПЭВМ	при работе от сети	от ак- кумулятора	при ра- боте от сети	от ак- кумулятора	при ра- боте от сети	от ак- кумулятора	при ра- боте от сети	от ак- кумулятора
На высоте 0,5 м								
На высоте 1 м								
На высоте 1,5 м								

\*Нормативные документы, устанавливающие метод проведения измерений и оценок и регламентирующие нормативные значения ЭМП: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ», утвержденные главным государственным санитарным врачом РФ 30 мая 2003 г. (в редакции Изменения от 3 сентября 2010 г.); Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда», утвержденное главным государственным санитарным врачом РФ 29.07.2005 г.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством, принципом и правилами безопасной работы измерителя «ВЕ-метр-АТ-002».

2. Подготовить измеритель «ВЕ-метр-АТ-002» к использованию.
3. Провести измерения напряженности электрического поля и плотности магнитного потока у экрана монитора при работе от сети и аккумулятора. Записать показания прибора в таблицу.
4. Сравнить результаты измерений с допустимыми уровнями ЭМП по нормам. Сделать вывод о безопасности монитора ПЭВМ по показателям напряженности электрического поля и плотности магнитного потока.

*Пример оформления результата измерений.* Результаты расчета напряженности электрического поля составили 1,0 В/м.

Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения напряженности электрического поля измерителем «ВЕ-метр-АТ-002»  $\pm 20\%$ .

Погрешность результата измерения составит  $1,0 \cdot 0,20 = 0,20$  В/м.

Форма представления результата измерения  $(1,0 \pm 0,20)$  кВ/м.

### **Форма отчета**

1. Наименование работы, цель, нормативные значения электромагнитных полей.
2. Таблица результатов измерений.
3. Выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Для каких измерений предназначен измеритель «ВЕ-метр-АТ-002»? Каковы рабочие условия эксплуатации измерителя?
2. В каких единицах измеряются напряженность электрического поля и плотность магнитного потока?
3. Какой уровень напряженности электрического поля и плотности магнитного потока считается биологически безопасным в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03?

## Лабораторная работа № 5

# ОФОРМЛЕНИЕ ПРОТОКОЛА ИСПЫТАНИЙ ПРОДУКЦИИ НА БЕЗОПАСНОСТЬ

**Цель работы:** оформление протокола испытаний на безопасность вычислительной техники на примере монитора компьютера.

### Краткие теоретические сведения

Для подтверждения соответствия продукции требованиям безопасности, надежности, качества необходимо проведение сертификационных испытаний. Документом, в котором отражается ход проведенных исследований и их результаты, является протокол испытаний. Иначе он называется заключением о соответствии продукции существующим нормативам или техническим условиям изготовления. Протокол испытаний – это заключительный этап сертификационных исследований.

Для проведения лабораторных испытаний в качестве заявителя могут выступать:

- производитель продукции (часто как зарубежный, так и российский);
- продавец или импортер;
- третья сторона, участвующая в процедуре сертификации, а именно центр, орган сертификации, эксперт-аудитор.

Сертификационные испытания проводятся только специализированными лабораториями. К ним предъявляются определенные требования:

- лаборатория должна иметь современное техническое оснащение, измерительные средства по избранному профилю. Этот факт должен иметь подтверждение, соответствующее государственным требованиям. Компетентность оценки приборной и измерительной базы доказывает аттестат по метрологии и техническому регулированию;
- лаборатория должна иметь аккредитацию в одном из федеральных органов, которые имеют право выдачи аттестата или свидетельства аккредитации в избранной области применения.

## Оценка соответствия и протокол испытаний

Сертификационные испытания – это этап, включающийся в процедуру подтверждения соответствия. Доказательство о соответствии включает лабораторное исследование объекта с помощью разных воздействий на него: анализов, измерений, оценки. По завершению процедуры испытаний составляют протокол, содержащий заключение о соответствии, и акт испытаний. Задача оценки соответствия – получение количественных или качественных характеристик продукции и оценивание соответствия требованиям нормативов (о включении или не включении их в допускаемые законом диапазоны значений).

Чаще всего испытания необходимы для подтверждения функциональности продукции в заявленных документально условиях эксплуатации. При обязательной сертификации первоочередной задачей испытаний является подтверждение безопасности товара или продукции для человека и окружающей среды. Если сертификационное испытание проводится в рамках добровольной оценки соответствия, то, как правило, заявитель обращает особое внимание на показатели надежности своего товара, и оценка соответствия направлена именно на такие показатели.

В зависимости от вида товара заявитель обращается в ту или иную систему сертификации и соответственно в испытательную лабораторию. Для проведения сертификационных испытаний предоставляются образцы продукции. В зависимости от методов испытаний образцы могут подвергаться или не подвергаться разрушающим воздействиям. Процедуры и методы сертификационных испытаний документально оформлены и согласованы с уполномоченными на то структурами процесса сертификации.

Если сертификационным испытаниям подвергается продукция, только выходящая на рынок, и на нее не существует аналогов, то лаборатория может формировать индивидуальную программу испытаний, затем согласовывать ее с заявителем, органом сертификации. Такие новые программы требуют утверждения в соответствии с российскими нормативами, которые регулируют функционирование испытательных лабораторий и содержат требования к ним.

Проводятся испытания главным специалистом сертификационной лаборатории, а протокол испытаний подписывается также руководителем лаборатории. Протокол испытаний содержит обязательные сведения об особенностях отбора проб для исследований, описание представленных образцов продукции и используемые для испытаний методики. Протокол испытаний может содержать или не содержать утверждения о соответствии технической документации или существующим стандартам. Если он не имеет такого рода выводов в тексте, то в этом случае используются дополнительные разрешительные документы. Окончательный вывод о соответствии продукции производит орган сертификации.

Если протокол испытаний содержит сведения отрицательного характера, которые опровергают соответствие продукции нормативам, то заявитель после исправления выявленных несоответствий имеет право обратиться в лабораторию для проведения повторных сертификационных испытаний.

Протокол испытаний считается совместной собственностью заявителя и самой лаборатории. Копии документов хранятся в лаборатории. Если возникает необходимость в опубликовании протокола исследований, то для этого нужны разрешения обоих собственников.

Срок действия протокола зависит от того, были ли испытания проведены впервые для данной продукции или они повторные. Если продукция сертифицируется не первый раз, то протокол, полученный при лабораторных испытаниях, действует в течение 6 лет. Если это первое обращение в органы сертификации, то действие протокола испытаний ограничивается одним годом. Данные нормативы установлены для обязательной государственной оценки соответствия. Если сертификация проводится на добровольной основе, то срок действия протокола сертификации оговаривается с органом сертификации, куда обратился заявитель.

Испытательная лаборатория должна пройти аккредитацию на право осуществлять данный вид деятельности. Единый орган аккредитации в России – Федеральная служба по аккредитации функционирует с 1 января 2011 года.

Протокол испытаний необходим при сертификации продукции, товаров либо других объектов технического регулирования. Протокол лабораторных исследований – основной документ, позволяющий вы-

дать сертификат соответствия (на обязательной или добровольной основе) или зарегистрировать декларацию о соответствии в системе ГОСТ Р.

Основные средства вычислительной техники (ВТ), такие как персональные электронно-вычислительные машины (ПЭВМ), серверы, принтеры, мониторы (видеодисплейные терминалы) и устройства расширения, подключаемые к ним, подлежат обязательной сертификации в системе ГОСТ Р и гигиенической оценке по воздействующим физическим факторам.

В группу «Вычислительная техника» согласно Общероссийскому классификатору продукции (ОКП) входит 21 позиция средств ВТ, подлежащих обязательной сертификации. В процессе сертификации подтверждается соответствие продукции следующим нормативным документам:

- ГОСТ Р МЭК 60950-2002 «Безопасность оборудования информационной технологии, включая электрическое конторское оборудование»;

- ГОСТ Р 26329-84 «Машины вычислительные и системы обработки данных. Допустимые уровни шума технических средств и методы их определения»;

- ГОСТ Р 50948-2001 «Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности»;

- ГОСТ Р 51318.22-2006 «Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от оборудования информационной техники. Нормы и методы испытаний»;

- ГОСТ Р 50628-2000 «Совместимость машин электронных вычислительных персональных электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам. Технические требования и методы испытаний»;

- ГОСТ Р 50839-2000 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость средств вычислительной техники и информатики к электромагнитным помехам. Требования и методы испытаний».

Из списка приведенных государственных стандартов видно, что в Системе сертификации ГОСТ Р основное внимание уделяется безопасности продукции и электромагнитной совместимости, то есть

способности приборов, устройств, технических систем и других объектов нормально функционировать в условиях воздействия на них электрических, магнитных и электромагнитных полей, существующих в окружающей обстановке, и не создавать недопустимые помехи другим объектам.

### **Гигиеническая оценка продукции**

В рамках системы гигиенической оценки продукции Государственной санитарно-эпидемиологической службы России в соответствии с Федеральным законом № 52 от 30.03.99 г. «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» и Приказом Минздравсоцразвития РФ от 26.04.2011 г. № 342н «Об утверждении порядка проведения аттестации рабочих мест по условиям труда» вся вычислительная техника подлежит обязательной гигиенической оценке. Испытания проводятся по воздействующим физическим факторам, таким как уровни шума (включая ультразвук и инфразвук), вибрации, напряженности электростатического поля, электромагнитного поля, инфракрасного, видимого и ультрафиолетового излучений, уровни лазерного излучения для принтеров и устройств чтения-записи, рентгеновского излучения и визуальные эргономические параметры видеодисплейных терминалов.

Сертификат соответствия системы ГОСТ Р на продукцию (работу, услугу), для которой в соответствии с требованиями законодательных актов России необходимо проведение проверок (контроля, сертификации) другими федеральными органами исполнительной власти, может быть выдан только при наличии необходимых для данной продукции (работ, услуг) документов федеральных органов исполнительной власти (гигиеническое заключение, ветеринарное свидетельство, сертификат пожарной безопасности и др.). В сертификате соответствия системы ГОСТ Р должны быть ссылки на указанные документы.

В целях обеспечения безопасности здоровья пользователя в России действуют Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ» (в

редакции Изменения № 1, утвержденного Постановлением главного государственного санитарного врача РФ от 25.04.2007 г. № 22).

Цель Санитарно-эпидемиологических правил – определить такие нормированные величины факторов воздействия, чтобы их вред был минимальным, а условия труда комфортными. Предельно допустимые уровни (ПДУ) генерируемого монитором электромагнитного и электростатического полей, установленные в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, приведены в таблице.

#### Допустимые уровни ЭМП ПЭВМ и ВДТ по нормам

Вид измеряемого параметра	Диапазон частот	Единица измерения	ПДУ
Напряженность электростатического поля	–	кВ/м	15
Напряженность электрического поля	5 Гц – 2 кГц	В/м	25
	2 – 400 кГц	В/м	2,5
Плотность магнитного потока	5 Гц – 2 кГц	нТл	250
	2 – 400 кГц	нТл	25

В качестве технических стандартов безопасности мониторов ПЭВМ широко известны шведские, ставшие международными, MPRII, TCO'92, TCO'95, TCO'99, TCO'03, TCO'06. Эти документы определяют требования к монитору персонального компьютера по параметрам, способным оказывать влияние на здоровье пользователя.

В части электромагнитных полей стандарту MPRII соответствуют санитарные нормы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ».

Проводить испытания в целях гигиенической оценки могут только испытательные (измерительные) лаборатории, аккредитованные в установленном порядке. Право испытательной лаборатории на этот вид деятельности удостоверяется аттестатом аккредитации.

Средства измерения, применяемые для испытаний, должны быть сертифицированы и внесены в Государственный реестр средств измерений и иметь свидетельство о поверке, действительное на момент проведения испытаний.

Испытания проводятся согласно аттестованной и утвержденной методике проведения испытаний. По результатам проведения испытаний составляется протокол, которым дается гигиеническая оценка

изделия по фактору воздействия электромагнитных полей. Если фактические уровни электромагнитных полей не превышают предельных допустимых уровней воздействия, то изделие признается безопасным. Если фактические уровни ЭМП выше нормативных, испытываемое изделие не признается безопасным.

Порядок проведения гигиенической оценки и оформления протокола испытаний безопасности видеотерминалов по факторам электростатического и электромагнитного полей рассматривается в Руководстве Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда», утвержденном главным государственным санитарным врачом РФ 29.07.2005 г.

### **Содержание протокола испытаний**

Протокол испытаний должен включать следующую информацию.

- Номер протокола и наименование фактора безопасности, по которому проводятся испытания.
- Наименование продукции и ее описание (тип, марка и т.д.), позволяющие идентифицировать продукцию.
- Наименование, торговая марка и адрес производителя продукции.
- Дату проведения испытаний.
- Наименование организации, проводившей испытания, с указанием номера аттестата аккредитации и даты окончания его действия.
- Сведения о средствах измерения, применяемых при испытаниях: наименование, номер государственной регистрации, номер свидетельства о поверке и дата окончания его действия.
- Нормативные документы, устанавливающие метод проведения измерений и регламентирующие нормативы (предельно допустимые уровни воздействия фактора).
- Фактические значения измеряемых параметров и их нормативные значения.
- Заключение о безопасности продукции.
- ФИО, должность и подпись лица, проводившего испытания.
- ФИО, должность руководителя и печать испытательного центра (лаборатории).

## **Порядок выполнения работы**

1. Изучить порядок составления протокола испытаний безопасности.
2. Получить у преподавателя сведения о поверке приборов для измерения электрических и магнитных полей и сведения об аккредитованной лаборатории.
3. Используя данные лабораторных работ № 7 – 8 и полученные у преподавателя сведения о поверке приборов и аккредитованной лаборатории, оформить протокол испытаний безопасности монитора ПЭВМ по уровням низкочастотных электрических и магнитных полей (прил. 2).

## **Форма отчета**

1. Наименование работы, цель, краткие теоретические сведения.
2. Протокол испытаний на безопасность монитора компьютера.
3. Выводы.

## **Контрольные вопросы**

1. В каком документе установлены допустимые уровни низкочастотных электрических и магнитных полей?
2. Какой документ регламентирует порядок проведения испытаний и оформления протокола испытаний безопасности монитора ПЭВМ по факторам ЭМП?
3. Какие лаборатории могут проводить испытания безопасности?
4. Какой документ удостоверяет право лаборатории на проведение испытательных работ?
5. Какие требования предъявляются к средствам измерения для проведения испытаний?
6. В каком случае монитор ПЭВМ признается безопасным по уровням низкочастотных электрических и магнитных полей?

## Лабораторная работа № 6

### ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

#### Цели работы:

- изучение устройства и принципа работы люксметра-пульсметра «Аргус-07»;
- знакомство с основными понятиями об искусственном освещении, его источниках и параметрах;
- приобретение практических навыков по определению параметров освещения.

#### Назначение и принцип работы люксметра-пульсметра «Аргус-07»

Люксметр-пульсметр «Аргус-07» (см. рисунок) применяется для измерения освещенности, создаваемой различными источниками света. Принцип работы люксметра основан на эффекте фотоэлектричества (превращения световой энергии в электрическую), которое имеет место при попадании света на поверхность фотоэлемента, включенного в замкнутую цепь с данным электроизмерительным прибором.



*Рис. 6.1. Внешний вид люксметра-пульсметра «Аргус-07»*

#### *Основные технические характеристики*

Диапазон измерения:

- освещенности от 1,0 до  $2 \times 10^{-4}$  лк ;
- коэффициент пульсаций от 1 до 100 %.

Спектральный диапазон от 0,38 до 0,80 мкм.

Предел допускаемой основной относительной погрешности 8 %.

Размеры индикаторного блока  $125 \times 68 \times 30$  мм; датчика  $65 \times 90$  мм. Масса 350 г.

Принцип работы люксметра-пульсметра «Аргус-07» основан на преобразовании светового потока, создаваемого протяженными объектами, в непрерывный электрический сигнал, пропорциональный освещенности, который затем преобразуется аналого-цифровым преобра-

зователем в цифровой код, индицируемый на цифровом табло индикаторного блока.

В измерительной головке установлен первичный преобразователь излучения – полупроводниковый кремниевый фотодиод с системой светофильтров, формирующих спектральную чувствительность, соответствующую кривой видимости. В задней части прибора размещены элементы питания (батарея типа LR-03).

Показания освещенности индицируются в единицах люкс. Показания коэффициента пульсации индицируются в процентах, при этом прибор определяет максимальное, минимальное и среднее значение освещенности пульсирующего излучения и рассчитывает значение коэффициента пульсации по формуле  $K = E_{\max} - E_{\min} / 2E_{\text{ср}} \times 100 \%$  в соответствии со СНиП 23.05-96.

*Правила безопасности при работе с люксметром.* При работе с люксметром следует строго придерживаться правил его эксплуатации. Основная опасность в данной работе – поражение электрическим током, которое возможно при наличии оголенных проводов, неисправных розеток, вилок. Поэтому электрическая сеть и все ее элементы должны быть в исправном состоянии, а работающим необходимо соблюдать меры электробезопасности.

### **Краткие теоретические сведения**

*Освещение* – важный фактор создания нормальных условий труда. При правильно организованном освещении рабочего места обеспечиваются сохранность зрения человека и нормальное состояние его нервной системы, а также безопасность производственного процесса.

*Свет* – это узкая часть электромагнитного спектра с длинами волн от 10 до 340000 нм. Этот участок еще называют оптической областью спектра.

С физиологической точки зрения свет является возбудителем органа зрения человека (зрительного анализатора). Около 90 % информации, которую человек получает от внешнего мира, поступает через зрительный канал. Поэтому качество информации, получаемой посредством зрения, во многом зависит от освещения.

Освещение, удовлетворяющее гигиеническим и экономическим требованиям, называется рациональным. Рациональность производственного освещения определяется тремя составляющими – видимое

излучение (источник излучения), зрительный анализатор (глаз как оптический прибор) и зрительная работа (объект восприятия). Производительность труда находится в прямой зависимости от рациональности освещения.

Ежедневно возникает необходимость освещения рабочего места как *естественным*, так и *искусственным* светом. В первом случае используется свет, испускаемый солнцем, во втором применяются соответствующие осветительные установки искусственного света.

Естественное освещение по своему спектральному составу является наиболее приемлемым. Искусственное, наоборот, отличается относительной сложностью восприятия его зрительным органом человека. Это связано с тем, что суточные переходные режимы естественной освещенности имеют малую частоту при достаточно высокой (днем) или очень низкой (ночью) интенсивности потока, а искусственные – довольно большую частоту при недостаточной в целом освещенности. Поэтому при искусственном освещении начинают возникать неустойчивые зрительные процессы, которые из-за большой сменяемости световых условий накладываются друг на друга, не давая глазу адаптироваться к новым условиям. От усиленной деятельности приспособительных механизмов глаза быстро утомляются, что вызывает физическую усталость организма.

Несмотря на это искусственное освещение необходимо как важнейший фактор для приближения ночных условий труда к дневным. Основное отличие ночных условий труда от дневных состоит в том, что при ночных условиях труда отсутствует достаточная освещенность поля зрения работающих равномерно распределенным световым потоком. Стимулирующее действие света на организм при недостаточной освещенности снижается, поэтому ночные условия труда более тяжелые с физиологической точки зрения. Однако основа естественного и искусственного света общая – энергетическая, поэтому их разделение вызвано разницей в спектре интенсивности. Так, в спектре естественного (солнечного) света в отличие от искусственного гораздо больше необходимых для человека ультрафиолетовых лучей.

Кроме естественного и искусственного освещения, применяют *совмещенное* освещение, при котором в светлое время суток недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным.

### *Естественное освещение*

Источник естественного (солнечного) освещения – солнечная радиация, то есть поток лучистой энергии солнца, доходящей до земной поверхности в виде прямого и рассеянного света. Оптическая область спектра делится на инфракрасный свет с длинами волн 340000 – 770 нм, видимый свет – 770 – 380 нм, ультрафиолетовый свет 380 – 10 нм. Естественное освещение по своему спектральному составу считается наиболее приемлемым.

### *Искусственное освещение*

Как уже указывалось выше, основная задача освещения на производстве – создание наилучших условий для видения. При ночных условиях труда эту задачу можно решить, используя искусственную осветительную систему.

Источники света, применяемые для искусственного освещения, – газоразрядные, светодиодные лампы и лампы накаливания.

*Лампы накаливания* относятся к источникам света теплового излучения. Обладают следующими преимуществами: удобны в эксплуатации, не требуют дополнительных устройств для включения в сеть, просты в изготовлении.

Лампы накаливания имеют существенные недостатки: низкая световая отдача (7 – 20 лм/Вт), сравнительно малый срок службы (до 2,5 тыс. ч), в спектре преобладают желтые и красные лучи, что сильно отличает их спектральный состав от солнечного света. Они искажают цветопередачу, поэтому их не применяют при работах, требующих различения цветов.

В осветительных установках используют лампы накаливания многих типов: вакуумные (НВ), газонаполненные биспиральные (НБ), биспиральные с криптоно-ксеноновым наполнением и др.

В настоящее время широкое распространение получили лампы накаливания с йодидным циклом – галогенные лампы. Наличие в колбе паров йода дает возможность повысить температуру накала спирали; образующиеся при этом пары вольфрама соединяются с йодом и вновь оседают на вольфрамовую спираль, препятствуя распылению вольфрамовой нити. Срок службы ламп до 3 тыс. ч., световая отдача доходит до 40 лм/Вт, спектр излучения близок к естественному.

*Газоразрядные лампы* – это приборы, в которых излучение оптического диапазона спектра возникает в результате электрического разряда в атмосфере инертных газов и паров металлов, а также за счет явления люминесценции. Основным преимуществом газоразрядных ламп перед лампами накаливания можно назвать большую световую отдачу – 40 – 110 лм/Вт (натриевые до 110 лм/Вт, люминесцентные до 75 лм/Вт, ртутные до 60 лм/Вт, ксеноновые до 40 лм/Вт). Они имеют значительно больший срок службы, который у некоторых типов ламп достигает 8 – 12 тыс. ч. От газоразрядных ламп можно получить световой поток практически в любой части спектра, подбирая соответствующим образом инертные газы и пары металлов, в атмосфере которых происходит разряд.

Самыми распространенными газоразрядными лампами являются люминесцентные, имеющие форму цилиндрической трубки. Внутренняя поверхность трубки покрыта тонким слоем люминофора, который служит для преобразования ультрафиолетового излучения, возникающего при электрическом разряде в парах ртути, в видимый свет.

В зависимости от распределения светового потока по спектру путем применения разных люминофоров различают несколько типов ламп: дневного света (ЛД), дневного света с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ), холодного белого (ЛХБ), теплого белого (ЛТБ) и белого цвета (ЛБ). Все перечисленные лампы относятся к газоразрядным люминесцентным лампам низкого давления. Кроме них в производственном освещении применяют газоразрядные лампы высокого давления, например, лампы ДРЛ (дуговые ртутные люминесцентные) и другие, которые необходимо использовать для освещения более высоких помещений (6 – 10 м).

*Светодиодные лампы* основаны на излучении света от одиночных светодиодов или групп светодиодов, связанных специальной микросхемой, вмещающей в себе преобразователь сетевого тока в рабочий ток, на котором работают данные элементы.

Светодиодная лампа – один из самых экологически чистых источников света. Принцип свечения светодиодов позволяет применять в производстве и работе самой лампы безопасные компоненты. Светодиодные лампы не содержат ртути, поэтому они не представляют опасности в случае выхода из строя или разрушения.

## *Параметры искусственного освещения*

Условия работы зрительного анализатора (глаза) можно охарактеризовать количественными и качественными показателями. К основным количественным показателям относятся сила света, освещенность и световой поток, к качественному показателю – фон.

*Световой поток  $F$*  – мощность лучистой энергии источника, оцениваемая по световому ощущению, которое испытывает глаз. Единица светового потока – люмен (лм). Люмен – световой поток, испускаемый точечным источником света силой в одну международную свечу внутри телесного угла, равного одному стерadianу.

Телесный (пространственный) угол – часть пространства (конусовидная часть сферы) с вершиной в центре сферы, опирающаяся на ее поверхность. Единица телесного угла – стерadian – пространственный угол, вырезающий на поверхности сферы радиусом в 1 м поверхность сферы в 1 м<sup>2</sup>.

*Сила света  $I$*  – пространственная плотность светового потока, то есть световой поток, отнесенный к телесному углу, в котором он излучается

$$I = \frac{\Phi}{\omega},$$

где  $\omega$  – телесный угол (в стерadianах) или часть пространства, заключенного внутри конической поверхности.

В системе СИ единица силы света – кандела (кд) равна силе света, испускаемого с поверхности площадью 1/600000 м<sup>2</sup> полного излучателя в перпендикулярном направлении при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины, при давлении 101325 Па.

*Освещенность  $E$*  – отношение светового потока к площади освещаемой им поверхности

$$E = \frac{F}{S}, \text{ лм/м}^2 = \text{люкс}.$$

Единица освещенности – люкс (лк). Люкс равен освещенности, создаваемой световым потоком  $F$  в 1 лм, равномерно распределенный по площади в 1 м<sup>2</sup>.

*Фон* – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Фон считается светлым, если коэффициент отражения  $\rho > 0,4$ . Коэффициент отражения есть

отношение отраженного от поверхности светового потока к падающему на нее световому потоку  $\Phi_{\text{пад}}$ , то есть  $\rho = \frac{\Phi_{\text{отр.}}}{\Phi_{\text{пад}}}$ .

При  $\rho = 0,2 - 0,4$  фон считается средним, а при  $\rho < 0,2$  – темным.

*Коэффициент пульсации освещенности* ( $K_{\text{п}}$ , %) – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока газоразрядных ламп при питании их переменным током, выражающийся формулой

$$K_{\text{п}} = 100 \frac{E_{\text{макс}} - E_{\text{мин}}}{2E_{\text{ср}}},$$

где  $E_{\text{макс}}$  и  $E_{\text{мин}}$  – максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк;  $E_{\text{ср}}$  – среднее значение освещенности за этот же период, лк.

### Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство, принцип работы люксметра-пульсметра «Аргус-07» и правила безопасной работы с прибором.

2. Ознакомиться с основными параметрами искусственного освещения.

3. Выполнить измерение искусственной освещенности рабочей поверхности с тремя источниками искусственного освещения (лампа накаливания, газоразрядная и светодиодная лампы).

Для измерений искусственной освещенности окна помещения должны быть затемнены шторами. Результаты измерений занести в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Результаты измерений искусственной освещенности различными источниками

Номер источника	1	2	3
Вид источника			
Освещенность, лк			

Сделать вывод о максимальной и минимальной освещенности по результатам измерений.

4. Выполнить измерения коэффициента пульсации освещения при разных источниках. Результаты измерений занести в табл. 6.2.

Сделать вывод по результатам измерений.

Таблица 6.2

Результаты измерений пульсации освещенности при различных источниках

Номер источника	1	2	3
Вид источника			
Коэффициент пульсации, %			
Норма	Не более 15 %		

5. Исследовать влияние высоты подвеса источника на искусственную освещенность рабочей поверхности. Освещенность рабочей поверхности измерить тремя источниками искусственного освещения с разной высотой расположения источника над рабочей поверхностью. Результаты измерений занести в табл. 6.3.

Сделать вывод о влиянии высоты подвеса на освещенность для разных источников искусственного освещения по результатам измерений.

Таблица 6.3

Результаты измерений искусственной освещенности различными источниками при различной высоте подвеса

Освещенность, лк	Высота подвеса, м		
Лампа накаливания			
Люминесцентная лампа			
Светодиодная лампа			

6. Исследовать влияние цветовой окраски фона на освещенность рабочей поверхности. Измерения проводят при одном источнике искусственного освещения (лампа накаливания). Меняя фон, измеряют освещенность.

Результаты измерений занести в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Результаты измерений освещенности в зависимости от окраски стен

Фон	Черный	Синий	Зеленый	Розовый	Белый
Освещенность, лк					

Сделать вывод о зависимости освещенности от фона.

### Форма отчета

1. Наименование работы, цель, показатели искусственной освещенности.
2. Таблицы результатов измерений.
3. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Какие основные световые величины вы знаете?
2. Назовите виды освещения.
3. Какие источники искусственного освещения вам известны?
4. По какой формуле определяется световой поток?
5. В каких единицах измеряется световой поток?
6. Что такое сила света? В каких единицах она измеряется?
7. Дайте определение и формулу расчета освещенности.
8. Назовите единицы измерения освещенности.
9. Каков принцип действия люксметра?

## Лабораторная работа № 7

### ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

#### Цели работы:

- получение сведений о параметрах воздушной среды;
- изучение устройства и принципа работы метеометра «МЭС-200А»;
- приобретение практических навыков по определению параметров воздушной среды с помощью метеометра «МЭС-200А».

#### Краткие теоретические сведения

Основными параметрами воздушной среды, влияющими на состояние и работоспособность человека, являются температура окружающей среды, относительная влажность воздуха, атмосферное давление и скорость воздушного потока.

Комфортные условия воздушной среды зависят не только от климатических параметров, но и от интенсивности совершаемого человеком труда и от его одежды. В зависимости от состояния организма (сон, отдых, умственная или физическая работа) и параметров окружающей среды человек в течение часа выделяет 330 – 1050 кДж теплоты, 40 – 420 г влаги и 18 – 36 л углекислого газа.

Считается, что при небольшой физической нагрузке (ходьба в помещении, легкий труд) комфортная температура в помещении в зимнее время составляет примерно 21 °С ( $\pm 2$  °С), а в летнее время – 24 °С ( $\pm 2$  °С).

Оптимальным диапазоном относительной влажности воздуха считается 30 – 60 %. Избыточная влажность, особенно в сочетании с высокой температурой, ухудшает теплообмен человека с окружающей средой, что приводит к перегреву организма. При низком влагосодержании возрастает отдача тепла за счет интенсивного испарения влаги с поверхности тела, высыхают слизистые оболочки дыхательных путей, что способствует проникновению болезнетворных микроорганизмов в органы дыхания, восприимчивости организма человека к простуде и другим заболеваниям.

Подвижность воздуха в помещении также влияет на ощущение комфорта. Плохое самочувствие в плохо вентилируемом помещении объясняется тем, что при отсутствии движения воздуха вокруг чело-

века образуется тонкая неподвижная воздушная оболочка, которая быстро насыщается парами воды, принимает температуру тела человека и уменьшает теплоотдачу. Если температура окружающей среды ниже температуры тела человека, то с повышением подвижности воздуха потеря тепла человеком возрастает. Для сохранения комфортных условий необходимо либо увеличивать относительную влажность воздуха, уменьшив тем самым испарение, либо увеличить его температуру. При температуре воздуха 23 – 24 °С оптимальной является скорость движения воздуха до 0,15 м/с.

Кроме того, установлено, что человек более чувствителен не к скорости воздушного потока, а к ее изменениям. Иными словами, имеет значение спектр турбулентных пульсаций скорости потока, который для достижения условий комфорта должен быть максимально приближен к естественному спектру атмосферного ветерка. В сухом атмосферном воздухе содержится 20,95 % (по объему) кислорода, который необходим для дыхания, и небольшое количество углекислого газа, который участвует в регуляции дыхания, кровообращения и газообмена человека. В обычных условиях в состоянии покоя человек поглощает в час около 19 л кислорода и выделяет 16 л углекислого газа. Избыток и недостаток углекислого газа во вдыхаемом воздухе одинаково вредно отражаются на состоянии организма. Комфортному



*Рис. 7.1. Внешний вид метеометра «МЭС-200А» со сменными щупами*

состоянию соответствует концентрация углекислого газа в пределах 0,04 – 0,5 % (по объему). Духота и нехватка кислорода могут ощущаться из-за неверно организованной подачи наружного воздуха.

Оптимальным атмосферным давлением, не оказывающим отрицательного влияния на человека, считается давление 750 мм рт. ст.

### **Назначение и принцип работы метеометра «МЭС-200А»**

Прибор контроля параметров воздушной среды – метеометр «МЭС-200А» (рис. 7.1.) – предназначен для измерения атмосферного давления, относительной влажности, температуры воздуха, скорости воздушного потока,

которую можно измерять как на открытых пространствах, так и в вентиляционных трубопроводах.

#### *Основные технические характеристики*

##### Диапазон измерения:

давления 80 – 110 кПа; температуры –40 – +85 °С;  
влажности 0 – 98 %; скорости 0,1 – 20 м/с.

##### Абсолютная погрешность:

давления  $\pm 0,3$  кПа (2,3 мм рт.ст.) при  $t$  – от 0 до 60 °С;  
влажности  $\pm 3$  % при  $t = (20 \pm 5)$  °С;  
температуры  $\pm 0,2$  °С (в диапазоне от – 10 до 50 °С);  $\pm 0,5$  °С (в диапазоне от –40 до –10 °С, от +50 до +85 °С);  
скорости  $\Delta V_1 = \pm (0,05 + 0,05VX)$  (в диапазоне от 0,1 до 0,5 м/с),  
 $\Delta V_2 = \pm (0,1 + 0,05VX)$  (в диапазоне от 0,5 до 2 м/с),  
 $\Delta V_3 = \pm (0,5 + 0,05VX)$  (в диапазоне от 2 до 20 м/с).

Прибор «МЭС-200А» состоит из блока электроники и сменного измерительного щупа. Составные части МЭС-200А предназначены для эксплуатации в следующих условиях:

- блок электроники при температуре от –20 до 60 °С и относительной влажности окружающего воздуха до 95 % при температуре 35 °С;
- щуп измерительный Щ-1 для измерения давления, относительной влажности, температуры и скорости воздушного потока при температуре от –40 до 85 °С и относительной влажности окружающего воздуха до 98 % при температуре 35 °С.

В качестве датчика температуры используется миниатюрный платиновый терморезистор (Honey Well, США) сопротивлением 1 кОм (при температуре 0 °С) с нормирующим усилителем, собранным на операционном усилителе типа ОР 496.

В качестве датчика влажности используется функционально законченный сенсор влажности (Honey Well, США) с нормированным выходным напряжением от 0,8 до 4,2 В с высокой степенью линейности выходного напряжения от относительной влажности.

В качестве датчика скорости воздушного потока используется миниатюрный платиновый терморезистор (Honey Well, США), подогреваемый стабилизированным током до температуры (200 – 250) °С. В зависимости от скорости воздушного потока меняется степень охлаждения нагретого терморезистора и падение напряжения на нем, которое и является мерой скорости воздушного потока.

Питание МЭС-200А осуществляется от блока аккумуляторов типа VH AA 1700 напряжением 4,8 В или от источника электропитания ИЭС7-1203 ШУВК.436230.003 ТУ напряжением 12 В и током 0,25 А.

Щуп соединяется с блоком электроники гибким кабелем длиной 0,5 м, оканчивающимся 15-контактным разъемом DHS-15M.

Блок электроники служит для преобразования аналоговой информации в цифровую форму, математической обработки результатов измерений и их отображения на двухстрочном матричном жидкокристаллическом индикаторе.

*Условия эксплуатации метеометра.* В период эксплуатации МЭС-200А при резкой смене температур (перемещение МЭС-200А из рабочих условий с отрицательными температурами в рабочие условия с положительными температурами) необходимо выдержать метеометр при положительной температуре в течение 20 мин, после чего МЭС-200А готов к измерениям.

Следует предохранять сенсоры, расположенные в щупах, от касания с различными предметами. При транспортировке щупов сенсоры должны быть обязательно закрыты защитным кожухом.

*Безопасность метеометра.* Безопасность конструкции МЭС-200А соответствует требованиям ГОСТ 12.2.007.0. По способу защиты человека от поражения электрическим током метеометр «МЭС-200А» относится к классу защиты III.

*Подготовка метеометра к работе.* Перед эксплуатацией метеометр проверяют визуально. Обращают внимание на отсутствие видимых повреждений щупа и блока электроники, наличие пломб, состояние разъемных соединений.

Заряжают аккумуляторную батарею от источника электропитания ИЭС7-1203, подключаемого к гнезду «+12 В». Время заряда должно быть не менее 16 ч. Во время заряда МЭС-200А должен быть выключен. О подключении источника электропитания к блоку электроники сигнализирует светодиод на задней торцевой стороне прибора «МЭС-200А».

Подключают соединительный кабель используемого щупа к разъему THV и снимают защитный кожух со щупа.

## Выполнение работы

Работу выполняют с измерительным щупом Щ-1. При нажатии кнопки «^» включается подсветка матричного индикатора на время (18 – 20) с. На индикаторе появляются надписи со значениями температуры и влажности:

ЩУП THV  
Т.....°С,  
Н.....%.

Если аккумуляторная батарея разряжена, надпись в верхней строке будет мигать с частотой (1 – 2) Гц. В этом случае необходимо выключить МЭС-200А, подключить источник электропитания ИЭС7-1203 к блоку электроники и подзарядить аккумуляторы в течение 16 ч.

Режимы работы метеометра устанавливают кнопками «П», «+», «-» в соответствии с циклограммой, представленной на рис. 7.2.

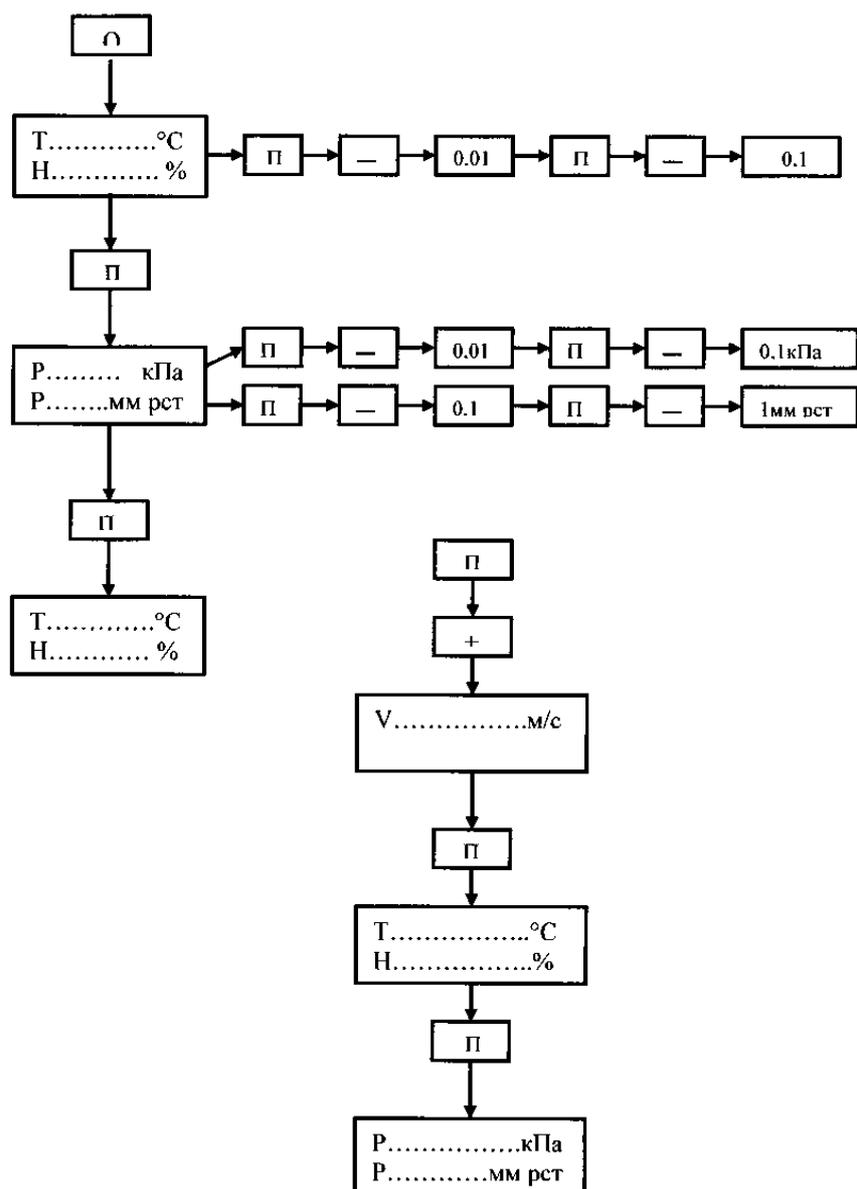
При нажатии кнопки «^» метеометр переходит в режим измерения температуры и влажности. Для установки метеометра в режим измерения давления необходимо нажать кнопку «П». При следующем нажатии кнопки «П» метеометр снова возвращается в режим измерения температуры и влажности и т. д.

Для установки метеометра в режим измерения скорости воздушного потока необходимо после нажатия кнопки «П» нажать кнопку «+» и выждать 2 – 3 мин (интервал времени, необходимый для прогрева сенсора скорости воздушного потока), после чего можно проводить измерения скорости.

При следующем нажатии кнопки «П» метеометр возвращается в режим измерения температуры и влажности. В режиме измерения температуры и влажности (Т, Н) при нажатии кнопки «П» и сразу затем кнопки «-» младшему разряду единицы измерения температуры соответствует 0,01 °С, влажности 0,1 %.

В режиме измерения давления при нажатии кнопки «П» и затем кнопки «-» младшему разряду единицы измерения давления соответствуют 0,01 кПа и 0,1 мм рт. ст.

Подсветка матричного индикатора возникает каждый раз при нажатии кнопки «^» и любой другой кнопки и продолжается в течение 10 с, а затем выключается. Для повторной подсветки следует нажать кнопку «+» или «-».



*Рис. 7.2. Циклограмма установки режимов измерений*

Если в процессе работы с метеометром после нажатия кнопки «Ω» ни одна из кнопок не нажимается в течение ~5 мин, метеометр автоматически выключается.

При измерении скорости воздушного потока в диапазоне от 0 до 5 м/с температура внутри измерительного щупа Щ-1 может возрастать на 2 °С относительно температуры окружающей среды. Измерять температуру с нормированной погрешностью после измерения скорости воздушного потока можно через 10 мин. При измерении скорости воздушного потока измерительный щуп Щ-1 должен быть ориентирован относительно направления воздушного потока таким образом,

чтобы плоскость приемного окна сенсора скорости измерительного щупа была перпендикулярна направлению воздушного потока, при этом головка крепежного винта на щупе должна быть направлена в сторону потока.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы метеометра МЭС-200А.

2. Настроить прибор и выполнить измерения параметров воздушной среды: температуры, влажности, давления и скорости воздушного потока. Результаты записать в таблицу.

3. Оценить погрешности результатов измерений.

#### Результаты измерений параметров воздушной среды

Параметры воздушной среды	Температура воздуха	Относительная влажность воздуха	Относительное атмосферное давление	Скорость воздушного потока
Фактические значения параметров				

4. Сделать выводы по работе.

### Форма отчета

1. Наименование работы, цели.
2. Таблица результатов измерений.
3. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Перечислите основные параметры воздушной среды.
2. Какие значения параметров воздушной среды создают комфортные ощущения?
3. Как влияет относительная влажность воздуха на состояние человека?
4. Какое атмосферное давление комфортно для человека?
5. Какие внешние условия нужно соблюдать при использовании метеометра «МЭС-200А»?

## Лабораторная работа № 8

### ИЗМЕРЕНИЕ ШУМОВЫХ И ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РУЧНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА

#### Цели работы:

- знакомство с основными понятиями о шуме и вибрации, их источниках и параметрах;
- изучение принципа работы шумомера «SVAN-959»;
- приобретение практических навыков измерения шумовых и вибрационных характеристик.

#### Краткие теоретические сведения

*Шум* – беспорядочные непериодические колебания различной физической природы.

Шумы содержат почти все частоты слышимого диапазона от 16 до 20 000 Гц, но отличаются разным распределением их интенсивностей, а также неодинаковым характером изменения во времени общей интенсивности.

Интенсивность шума оценивают отношением создаваемого звукового давления к давлению, принятому за единицу сравнения ( $2 \times 10^{-5}$  Н/м<sup>2</sup>), что соответствует примерно порогу восприятия ухом человека тона с частотой 1000 Гц. Поскольку отношение звуковых давлений от порога восприятия до порога болевого ощущения (20 Н/м<sup>2</sup>) изменяется в миллионы раз, принято измерять интенсивность шума в логарифмических единицах – децибелах, что значительно сокращает шкалу измерений. В гигиенической практике шкала измерений ограничивается диапазоном от 20 до 140 дБ. Совокупность частот, составляющих шум, называется спектром шума.

Различают стабильный шум с изменением интенсивности во времени не более 5 дБ и импульсный (ударный) с резким возрастанием и последующим спадом интенсивности.

По ширине спектра различают шум узкополосный, состоящий из ограниченного числа смежных частот, и широкополосный, включающий почти все частоты слышимого диапазона. По преобладанию интенсивностей в спектре в области частот до 300 Гц шум считают низкочастотным, свыше 1000 Гц – высокочастотным, от 300 до 1000 Гц – среднечастотным.

*Вибрация* – это механические колебания твердых тел. Ощутимое влияние на человека оказывает вибрация в частотном диапазоне 1,6 – 1000 Гц.

По способу передачи различают *общую вибрацию*, передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека, и *локальную вибрацию*, передающуюся через руки или ноги человека, а также через предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями.

### Гигиенические требования к ручным инструментам

Для предотвращения неблагоприятного воздействия шума и вибрации, сопровождающих работы с ручными инструментами, в санитарных правилах и нормах СанПиН 2.2.2.540-96 «Гигиенические требования к ручным инструментам и организации работ» установлены гигиенические нормативы предельно допустимых уровней воздействия этих факторов.

Характеристикой вибрационного воздействия ручного электрического инструмента на оператора является эквивалентный скорректированный уровень локальной вибрации в величинах виброускорения и виброскорости. Предельно допустимые значения локальной вибрации ручных инструментов представлены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

#### Предельно допустимые значения локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Допустимые значения			
	в величинах виброускорения		в величинах виброскорости	
	м/с	дБ	-2 м/с × 10	дБ
8	1,4	73	2,8	115
16	1,4	73	1,4	109
31,5	2,7	79	1,4	109
63	5,4	85	1,4	109
125	10,7	91	1,4	109
250	21,3	97	1,4	109
500	42,5	103	1,4	109
1000	85,0	109	1,4	109
Корректированные и эквивалентные скорректированные значения и их уровни	2,0	76	2,0	112

Нормированными шумовыми параметрами воздействия ручного электрического инструмента на оператора являются уровень звукового давления (звука) и эквивалентный скорректированный уровень звука, дБА.

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука при использовании ручных инструментов (табл. 8.2) принимаются с учетом тяжести труда. В данной лабораторной работе условия труда с ручным инструментом относятся к легкой и средней степени тяжести.

Максимальный уровень звука при использовании ручных инструментов на производстве не должен превышать 110 дБА (для импульсного шума – 125 дБА), а при использовании в быту – 90 дБА.

Таблица 8.2

Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука при использовании ручных инструментов

Вид трудовой деятельности	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Выполнение работ легкой и средней степени тяжести на производстве и всех видов работ в быту	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Выполнение на производстве тяжелых работ, относящихся к 1, 2 и 3 степени	102	90	82	77	73	70	68	66	64	75

## Назначение, устройство и принцип работы шумомера SVAN-959

Шумомер, анализатор спектра, виброметр SVAN-959 (см. рисунок) предназначен для измерений уровней звука, общих и скорректированных значений виброускорения, определения виброскорости и виброперемещения, а также анализа спектра.

Прибор может применяться органами гигиены и эпидемиологии, охраны труда, испытательными лабораториями и научными учреждениями для определения условий труда и аттестации рабочих мест, сертификации продукции, научных исследований, а также для диагностики технического состояния машин и оборудования на производстве.

Шумомер SVAN-959 представляет собой переносной измерительный прибор, состоящий из измерительного блока, конденсаторного микрофона, предусилителя и датчика вибрации.

Принцип работы основан на аналого-цифровом преобразовании и цифровой фильтрации электрического сигнала, поступающего с микрофона или датчика вибрации, с одновременной обработкой специализированным встроенным сигнальным микропроцессором.

### *Основные технические характеристики*

Диапазон измерений уровней звука для характеристики «Z» 30 – 137 дБ.

Диапазон измерений уровней звука для характеристики «A» 24 – 137 дБ.

Диапазон измерений уровней звука для характеристики «C» 24 – 137 дБ.

Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровней звука  $\pm 0,7$  дБ.

Диапазон измерений скорректированного виброускорения с частотными коррекциями W-B<sub>xy</sub>, W-B<sub>z</sub>, W-B<sub>c</sub>, H-A, W<sub>k</sub>, W<sub>d</sub>, W<sub>c</sub>, W<sub>j</sub> 0,001 – 354 м/с<sup>2</sup>.



**Внешний вид шумомера SVAN-959**

Диапазон измерений общего виброускорения 0,003 – 354 м/с<sup>2</sup>.

Пределы допускаемой относительной погрешности измерений виброускорения ±10 %.

Диапазон рабочих температур –10 °С – + 50 °С.

Относительная влажность до 90 % при 30 °С.

Информацию о режиме работы и представление измеренных величин можно наблюдать на жидкокристаллическом дисплее. В качестве анализатора спектра в реальном масштабе времени SVAN-959 обеспечивает 1/1- и 1/3-октавный анализ.

В режиме автоматического запоминания SVAN-959 накапливает в энергонезависимой памяти спектры измеряемого сигнала, а затем представляет на дисплее данные в удобной для пользователя форме.

Питание шумомера осуществляется от четырех заменяемых батареек или от внешнего источника питания постоянного тока 6 – 15 В.

*Управление прибором.* В процессе эксплуатации прибор настраивают с помощью функциональных и курсорных клавиш, расположенных на передней панели прибора, и интерактивного меню, отображенного на дисплее.

Управление прибором осуществляется двумя клавишами переключения верхнего (с красной стрелкой, направленной вверх) и нижнего регистров (с черной стрелкой, направленной вниз), двумя функциональными клавишами:

МЕНЮ
ВВОД
ЗАПИСЬ

КАЛИБР
ОТМЕНА
ПАУЗА

четырьмя курсорными клавишами и одной клавишей начала и остановки измерений «старт/стоп».

Клавиша «верхний регистр» включает функции, обозначенные на функциональных клавишах красным цветом. Доступны два режима работы этой клавиши:

режим «Одн.» – одновременное нажатие клавиши «верхний регистр» и дополнительной функциональной клавиши;

режим «Посл.» – последовательное нажатие клавиши «верхний регистр» и дополнительной функциональной клавиши.

Одновременное нажатие клавиш «верхний регистр» и «нижний регистр» включает режим «Маркеры».

Клавиша «ввод» подтверждает выбранный режим работы и внесенные изменения в меню настройки прибора. Клавиша «ввод», нажатая одновременно с клавишей «верхний регистр», открывает главное меню настройки прибора, то есть данная комбинация эквивалентна нажатию клавиши «меню».

Двойное нажатие клавиши «меню» приводит к открытию списка последних четырех открытых в процессе работы окон меню. Это часто помогает ускорить работу с прибором.

Клавиша «ввод», нажатая одновременно с клавишей «нижний регистр», позволяет сохранить результаты измерений в виде файлов в оперативной памяти прибора или внешней флэш-памяти, подключенной через USB HOST. Данная комбинация клавиш эквивалентна нажатию клавиши «запись».

*Включение – выключение прибора* осуществляется одновременным нажатием клавиш «нижний регистр» и «стоп/старт». При включении запускается процедура самотестирования прибора, которая длится 60 с, о чем оповещают надпись «разогрев» на экране и обратный отсчет времени до начала теста.

Это время необходимо для самотестирования прибора и завершения переходных процессов в электронных цепях, связанных с включением прибора. Пока этот процесс не завершен, проводить измерения не рекомендуется. Но можно выполнять настройку прибора.

Прибор выключается повторным нажатием этих же клавиш.

*Меню настройки прибора.* Для выполнения измерений шума прибор необходимо настроить. Все настройки, выполненные в процессе работы, сохраняются при выключении прибора и последующем включении. Управление прибором происходит с помощью девяти клавиш и меню настройки прибора, организованного по иерархическому принципу.

Для настройки необходимо войти в меню прибора одновременным нажатием клавиш «верхний регистр» и «меню». Окно главного меню содержит шесть вложенных подменю настройки прибора: «функ-

ция», «измерение», «экран», «файлы», «печать», «настройки». Выбор позиции в меню осуществляют установкой курсора на выбранную функцию. По позициям меню можно перемещаться с помощью курсорных клавиш «вверх» или «вниз». Перемещение отображается путем инверсионного (белые буквы на черном фоне) отображения позиции.

Функции выбирают нажатием клавиши «ввод». При этом открывается окно следующего уровня настройки прибора. Выйти из текущего окна настройки прибора можно, нажав клавишу «отмена». При этом открывается окно настройки вышестоящего уровня. Выход из окна главного меню осуществляется в экран режима отображения измерений.

*Настройка прибора для измерения шума.* При измерении шума к прибору должны быть подключены микрофонный предусилитель и измерительный микрофон.

Настройка для измерения шума начинается с выбора типа измерений и режима измерений. Выбор типа измерений (шума или вибрации) выполняется в окне настройки «режим». Доступ в окно осуществляется по маршруту «меню» – «функция» – «режим» – «шумомер». В окне «режим» с помощью курсорных клавиш «вверх» и «вниз» устанавливается звездочка в позиции «шумомер». Выбор типа измерения должен обязательно быть зафиксирован клавишей «ввод». При нажатии клавиши «ввод» происходит возврат в окно «функция».

*Выбор режима измерения.* После выбора типа измерений выбирается режим измерения шума. Выбор режима измерений происходит в окне настройки «функции измерен.». Доступ осуществляется по маршруту «меню» – «функция» – «режим измерения».

Для выбора режима измерения необходимо с помощью курсорных клавиш установить звездочку в соответствующую позицию и подтвердить свой выбор нажатием клавиши «ввод».

Стандартные режимы измерения шума:

«измер. уровня» – режим измерения интегральных одночисловых, в том числе и скорректированных, уровней шума; уровней шума (уровня звука), а также эквивалентного уровня звука;

«1/1 спектр» – режим измерения уровня звукового давления в 1/1-октавных полосах частот, а также эквивалентного уровня звукового давления в 1/1-октавных полосах частот;

«1/3 спектр» – режим измерения уровня звукового давления в 1/3-октавных полосах частот, а также эквивалентного уровня звукового давления в 1/3-октавных полосах частот. Для проведения измерений после выбора режима измерений нажать клавишу «старт/стоп».

*Настройка прибора для измерения вибрации.* При измерении вибрации к прибору должен быть подключен акселерометр. Настройка для измерения вибрации начинается с выбора типа измерений и режима измерений.

Выбор типа измерений вибрации выполняется в окне настройки «режим». Доступ в окно осуществляется по маршруту «меню» – «функция» – «тип» – «виброметр». В окне «тип» с помощью курсорных клавиш «вверх» и «вниз» устанавливается звездочка в позиции «вибрация». Выбор типа измерения должен обязательно быть зафиксирован клавишей «ввод». При ее нажатии происходит возврат в окно «функция».

*Выбор режима измерения вибрации.* После выбора типа измерений выбирается режим измерения вибрации. Выбор режима измерений происходит в окне настройки «функции измерен.». Доступ осуществляется по маршруту «меню» – «функция» – «режим измерения» – «функции измерен.».

Для выбора режима измерения необходимо с помощью курсорных клавиш установить звездочку в соответствующую позицию и подтвердить свой выбор нажатием клавиши «ввод».

Стандартные режимы измерений вибрации:

«измер. уровня» – режим измерения интегральных одночисловых, в том числе и скорректированных, значений вибрации, измерение виброускорения (виброскорости или виброперемещения);

«1/1 спектр» – режим измерения спектральных значений виброускорения (виброскорости или виброперемещения) в 1/1-октавных полосах частот;

«1/3 спектр» – режим измерения спектральных значений виброускорения (виброскорости или виброперемещения) в 1/3-октавных полосах частот. Для проведения измерений после выбора режима измерений нажать клавишу «старт/стоп».

*Просмотр результатов измерений.* В процессе работы измеряются одновременно все параметры шума и вибрации. Результат может быть представлен в форме интегрального значения и частотного разложения в зависимости от режима, выбранного в окне настройки «функция измерен.».

В режиме шумомера:

SPL – текущий уровень шума (максимальное значение за последнюю секунду измерения);

LEQ – усредненный (эквивалентный по энергии) уровень шума за время измерения;

SEL – усредненный за секунду (эквивалентный по энергии) уровень шума;

MAX – максимальный уровень шума за время измерений;

MIN – минимальный уровень шума за время измерений;

В режиме виброметра:

RMS – среднеквадратическое значение параметров вибрации (виброускорение, виброскорость или виброперемещение);

PEAC – значение параметров вибрации (виброускорение, виброскорость или виброперемещение), измеренное с пиковым детектором;

P-P – размах параметров вибрации (виброускорение, виброскорость или виброперемещение).

Для оценки шумовых характеристик ручного инструмента выбирают показания в режимах LEQ и MAX. Для оценки вибрационных характеристик ручного инструмента выбирают показания в режиме RMS.

## **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы шумомера SVAN-959.

2. Настроить прибор и выполнить измерения шумовых и вибрационных характеристик ручного электрического инструмента. Результаты записать в табл. 8.3.

3. Оценить погрешности результатов измерений.

4. Сделать выводы.

Таблица 8.3

Результаты измерения шумовых и вибрационных характеристик ручного электрического инструмента

Шумовые и вибрационные характеристики ручного электрического инструмента		Фактический уровень	Предельно допустимый уровень
Уровень звукового давления, дБА			
Эквивалентный скорректированный уровень звука, дБА			
Эквивалентный скорректированный уровень локальной вибрации	в единицах виброускорения,	м/с	
		дБ	
	в единицах виброскорости,	м/с	
		дБ	

### Форма отчета

1. Наименование работы, цели, нормы шума и вибрации для выполнения работ с ручным инструментом.

2. Таблица результатов измерений.

3. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Что представляет собой шум?

2. В каких единицах измеряется уровень шума?

3. Что такое спектр шума?

4. Что такое вибрация?

5. Назовите шумовые характеристики ручного электрического инструмента.

6. Назовите вибрационные характеристики ручного электрического инструмента.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные задачи и условия проведения измерений в научных и практических целях определяются сложностью испытываемых объектов, жесткими требованиями к измерительной аппаратуре по точности и достоверности результатов, скорости выполнения экспериментов. Обработка результатов измерений часто проводится в реальном времени с изменением алгоритма в зависимости от получаемой в ходе эксперимента информации.

Лабораторный практикум предназначен для освоения студентами разделов дисциплин, связанных с измерениями, с учетом современных требований науки и техники.

В теоретической части лабораторного практикума студенты осваивают вопросы, связанные с измерениями: классификация, методы и средства измерений, погрешности измерений и способы их минимизации, методики обработки результатов измерений.

Практическая часть, состоящая из восьми лабораторных работ, служит для закрепления теоретического материала. При выполнении лабораторных работ студенты знакомятся с новыми приборами, приобретают практические навыки измерений физических величин и обработки их результатов.

В качестве дидактического обеспечения после каждой лабораторной работы предложены вопросы для контроля знаний студентов при освоении дисциплин.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### *Приложение 1*

#### **Перечень технической документации на средства измерений, используемые в лабораторных работах**

1. BOSCH. Цифровой ультразвуковой дальномер DUS 20 plus. Инструкция по эксплуатации. – 5 с.
2. Насос-пробоотборник ручной НП-3М. Описание и руководство по эксплуатации. – 10 с.
3. Измеритель напряженности электростатического поля ИЭСП-01. Регистрационный № 17663-04. Руководство по эксплуатации ПАЭМ.411720.001 РЭ. – 20 с.
4. Измеритель параметров электрического и магнитного полей ВЕ-МЕТР-АТ-002. Руководство по эксплуатации МГФК 411173.004РЭ. – 13 с.
5. Люксметр-пульсметр «Аргус-07». Паспорт, техническое описание и инструкция по эксплуатации. – 10 с.
6. Приборы контроля параметров воздушной среды метеометры МЭС-200А. Руководство по эксплуатации ЯВША.416311.003 РЭ. – 36 с.
7. Шумомер, виброметр, анализатор спектра SVAN-959 : руководство пользователя. – М. : АЛГОРИТМ-АКУСТИКА. – 60 с.

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_  
испытаний безопасности (гигиенической оценки) продукции**

1. Наименование фактора безопасности, по которому проводились испытания:  
*по уровню низкочастотных электрических и магнитных полей*

2. Наименование и описание продукции (тип, марка и т. д.), позволяющие идентифицировать продукцию: \_\_\_\_\_

3. Наименование, торговая марка и адрес производителя продукции: \_\_\_\_\_

4. Дата проведения испытаний: \_\_\_\_\_

5. Наименование организации, проводившей испытания, с указанием номера аттестата аккредитации и даты окончания его действия \_\_\_\_\_

6. Сведения о средствах измерения, применяемых при испытаниях (наименование, номер государственной регистрации, номер свидетельства о поверке и дата окончания его действия) \_\_\_\_\_

7. Нормативные документы, устанавливающие метод проведения измерений и регламентирующие нормативы (предельно допустимые уровни воздействия фактора): \_\_\_\_\_

8. Фактические значения измеряемых параметров и их нормативные значения

Вид измеряемого параметра	Диапазон частот	Единица измерения	Фактические уровни	ПДУ
Напряженность электростатического поля	—	кВ/м		15
Напряженность электрического поля	5 Гц – 2 кГц	В/м		25
	2 – 400 кГц	В/м		2,5
Плотность магнитного потока	5 Гц – 2 кГц	нТл		250
	2 – 400 кГц	нТл		25

9. Заключение о безопасности продукции \_\_\_\_\_

10. \_\_\_\_\_  
Фамилия И.О., должность и подпись лица, проводившего испытания

11. \_\_\_\_\_  
Фамилия И.О., должность руководителя испытательного центра (лаборатории)  
Место печати

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лифиц, И. М.* Стандартизация, метрология и подтверждение соответствия : учеб. для бакалавров / И. М. Лифиц. – 11-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт ; ИД Юрайт, 2014. – 411 с. – (Серия «Бакалавр. Базовый курс»). – ISBN 978-5-9916-3513-4 (Юрайт). – ISBN 978-5-9692-1514-6 (ИД Юрайт).

2. *Радкевич, Я. М.* Метрология, стандартизация и сертификация : учеб. для бакалавров / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2012. – 813 с. – (Серия «Бакалавр»). – ISBN 978-5-9916-1561-7.

3. *Сергеев, А. Г.* Метрология, стандартизация и сертификация : учебник / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. – М. : Юрайт ; ИД Юрайт, 2010. – 820 с. – (Серия «Основы наук»). – ISBN 978-5-9916-0160-3 (Юрайт). – ISBN 978-5-9692-0247-4 (ИД Юрайт).

4. *Хрусталева, З. А.* Метрология, стандартизация и сертификация : учеб. пособие / З. А. Хрусталева. – М. : КНОРУС, 2011. – 176 с. – ISBN 978-5-406-00380-0.

5. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация / сост. Ю. А. Орлов [и др.]. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2014. – 75 с.

6. Технические измерения и приборы [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mami.ru/kaf/aipu/techizm1.doc> (дата обращения: 12.11.2015).

7. Измерение освещенности рабочих помещений : метод. указания / сост. В. Ф. Усов, Н. С. Тураев, И. Д. Брус. – Томск : Изд-во ТПУ, 2005. – 16 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	4
Измерения .....	4
Методы измерений .....	7
Средства измерений .....	8
Погрешности средств измерений .....	15
Методы повышения точности измерений .....	21
Обработка результатов измерений .....	23
ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	26
Лабораторная работа № 1. Измерение линейных размеров контактным и бесконтактным методами .....	26
Лабораторная работа № 2. Измерение химического состава газоздушных смесей индикаторным методом .....	40
Лабораторная работа № 3. Испытания монитора компьютера на безопасность по показателю напряженности электростатического поля .....	49
Лабораторная работа № 4. Испытания монитора компьютера на безопасность по параметрам напряженности электрического поля и плотности магнитного потока .....	57
Лабораторная работа № 5. Оформление протокола испытаний продукции на безопасность .....	64
Лабораторная работа № 6. Измерение параметров искусственного освещения фотометрическим методом .....	72
Лабораторная работа № 7. Измерение параметров воздушной среды .....	81
Лабораторная работа № 8. Измерение шумовых и вибрационных характеристик ручного электрического инструмента .....	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	98
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	99
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	101

*Учебное издание*

ОРЛОВ Юрий Анатольевич  
РОМОДАНОВСКАЯ Мария Павловна  
ОРЛОВ Дмитрий Юрьевич  
и др.

МЕТРОЛОГИЯ. СТАНДАРТИЗАЦИЯ. СЕРТИФИКАЦИЯ.  
ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Лабораторный практикум

Редактор А. П. Володина  
Технический редактор С. Ш. Абдуллаева  
Корректор Е. П. Викулова  
Компьютерная верстка Е. А. Балясовой

Подписано в печать 05.04.16.

Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 6,04. Тираж 80 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.