

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы
контроля качества и диагностики состояния объектов»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2020

УДК 621.396.6
ББК 322.844-02
М65

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «10» марта 2020 г.,
протокол № 5

Составитель канд. техн. наук, доц. О. С. Сергеева

Рецензент канд. техн. наук, доц. М. Н. Миронова

Методические рекомендации к лабораторным работам для студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» очной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание
МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 16 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2020

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Инструктаж по технике безопасности при работе с электрическими приборами. Подготовка к работе и общие правила эксплуатации электроизмерительных приборов.....	5
2 Лабораторная работа № 2. Методы поверки аналоговых измерительных приборов.....	8
3 Лабораторная работа № 3. Изучение Закона Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений».....	20
4 Лабораторная работа № 4. Разработка методики выполнения измерений. Изучение ГОСТ 8.010–99 «Методики выполнения измерений».....	20
5 Лабораторная работа № 5. Разработка методики выполнения измерений	21
6 Лабораторная работа № 6. Изучение ГОСТ 8.326–89 «Метрологическая аттестация средств измерений». Разработка программы метрологической аттестации средств измерений.....	23
Список литературы.....	24

Введение

С увеличением объема измерений возрастает роль метрологии – науки об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Чем точнее выполнены измерения, тем более точны знания о состоянии объекта и его свойствах, тем меньше экономические потери из-за меньшей вероятности выхода его из строя.

Основные цели метрологии: повышение качества выпускаемой продукции, эффективности управления производством, уровня автоматизации производственных процессов; обеспечение взаимозаменяемости деталей, узлов и агрегатов, создание условий для кооперирования производства и развития специализации производства; повышение эффективности научно-исследовательских, проектно-конструкторских работ, экспериментов и испытаний; обеспечение достоверного учёта и повышение эффективности использования материальных ценностей и энергетических ресурсов; повышение эффективности мероприятий по контролю условий труда, охране окружающей среды, рациональному использованию природных ресурсов.

Основными задачами метрологии являются: разработка общей теории измерений; установление единиц физических величин и их систем; создание методов и средств измерений, методов определения точности измерений; обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений; создание эталонов и образцовых средств измерений; разработка методов передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений.

Стандартизация – современная отрасль знаний, изучающая принципы построения, методы разработки и действия стандартов во всех отраслях производства, их влияние на качество продукции, в первую очередь на надежность и долговечность, на производительность труда и технический прогресс в целом.

Стандартизация в машино- и приборостроении направлена на решение проблем взаимозаменяемости и технических измерений, связанных с разработкой и применением стандартов на допуски, посадки и другие правила и нормы точности для гладких, резьбовых и червячных соединений, шлицевых и зубчатых передач, стандартов на единицы измерений, методы и средства поверки мер, измерительных приборов и т. д.

1 Лабораторная работа № 1. Инструктаж по технике безопасности при работе с электрическими приборами. Подготовка к работе и общие правила эксплуатации электроизмерительных приборов

Цель работы: изучить правила техники безопасности и охраны труда и усвоить основные правила эксплуатации измерительных средств и обработки результатов измерений.

Общие положения. Электроизмерительная техника включает большой арсенал разнообразных по своим принципам, конструкции, назначению и исполнению средств. В основном это дорогостоящие и высокоточные приборы, комплексы, системы. С их помощью осуществляют контрольно-измерительные операции в условиях лаборатории, цехов, а также в полевых условиях. При всем их многообразии и специфике имеются некоторые общие правила, которые обеспечивают безопасную эксплуатацию и охрану труда.

Каждое средство измерений должно иметь паспорт и инструкцию по эксплуатации, которыми руководствуется обслуживающий персонал. Без изучения инструкции пользоваться приборами, установками, комплексами запрещается. Перед включением в сеть проверяется наличие заземления, а коммутирующие и регулирующие устройства выставляются в исходное состояние.

Работа в лаборатории проводится под наблюдением. При этом к каждой лабораторной установке должен быть обеспечен свободный доступ: не допускается загромождение проходов, хождение студентов и посторонних лиц во время занятий. Мероприятия по технике безопасности и охране труда, технической надежности и пожарной защите являются составной частью подготовки и проведения лабораторных занятий. Эти мероприятия должен знать и обязательно выполнять каждый студент. Руководитель эксперимента и испытаний должен проинструктировать перед началом эксперимента каждого участника правилам безопасной эксплуатации данной установки и проверить наличие защитных и контрольных устройств. Все участники эксперимента должны вести себя так, чтобы не создавать опасные ситуации. Перед включением все участники извещаются об этом, например, фразой: «Включаю установку», «Подаю напряжение» и т. д. По окончании эксперимента устройство должно быть отключено и надежно защищено от повторного включения. Работа на электроустановках требует внимательного и ответственного отношения со стороны всех участников эксперимента. Электрический ток оказывает на организм вредное физиологическое воздействие. Нужно учитывать, что сопротивление тела человека колеблется от 10 до 100 кОм и при сравнительно небольшом напряжении может быть смертельный исход. При несчастных случаях необходимо отключить установку, начать принимать меры к оживлению пострадавшего и не прекращать их до прибытия врача, даже если для этого потребуется несколько часов. Измерительные средства используются в строгом соответствии с инструкцией; измерительные средства необходимо защищать от ударов и сотрясений, от пы-

ли; у приборов, снабженных арретиром, последний освобождается только при измерениях и сразу после измерения он должен быть арретирован; выбор прибора и его рабочего диапазона согласовывается с целью применения.

Для лабораторных условий применяются более точные приборы, для цеховых – более грубые. Многопредельные приборы перед началом работы и после необходимо переключить на самый большой диапазон. Регулируемые источники питания перед началом работы следует переключать на минимальное значение. Универсальные приборы нужно после измерений всегда переключать на наибольший диапазон измерения постоянного напряжения, так как в этом положении он может выдержать самые большие перегрузки. При транспортировке таких приборов необходимо устанавливать наибольший диапазон измерений постоянного тока. К работе с приборами допускаются знающие работники. При работе с приборами на лабораторной установке более точные и высокочувствительные приборы устанавливаются так, чтобы они всегда находились в поле зрения наблюдателя. Работать с приборами можно в том случае, если они прошли очередную госповерку. Образцовые приборы применяются только для проверки рабочих средств измерений и хранятся в закрытых шкафах.

Подготовка к измерениям. Каждое измерение является важной частью научно-исследовательской работы или основой для оценки состояния или параметров отдельных материалов, изделий, процессов. Поэтому измерения требуют тщательной и всесторонней подготовки. Поверхностная подготовка не столько разъясняет исследуемый процесс, сколько затуманивает его и зачастую ведет к выводу из строя измерительных средств. Прежде всего необходимо четко и конкретно определить, что должно быть измерено и в каких условиях. Существует общее правило: «Измерять так точно, насколько это возможно, но не точнее, чем это необходимо». Подготовку к измерениям нужно вести на высоком техническом уровне, с отчетливым представлением измерительной задачи, требований к результатам и программы обработки. При выборе места, схемы и средства измерений следует предварительно аналитически оценить возможные результаты с учетом того, что при обработке полученных данных они могут быть улучшены. При измерениях на открытом воздухе или высокоточных измерениях в лаборатории необходимо учитывать влияние температуры, влажности, вибраций и т. д. Рабочие места при измерениях должны иметь освещенность от 500 до 1000 лк. Не рекомендуется производить измерения в проходных помещениях. Для измерения выбирают наиболее благоприятное время суток с более стабильной температурой и с меньшими нагрузками в сети. Для записи результатов готовится протокол, по которому составляется отчет.

Выполнение измерений. Перед включением обязательно проверяются измерительная схема, положение переключателей на передних панелях приборов, режим их охлаждения, наличие заземления.

При отсчете показаний следует избегать погрешностей от параллакса, особенно для приборов с профильной шкалой. Чтобы уменьшить влияние вариаций, показания снимают один раз при уменьшении, другой – при увеличении измеряемой величины и из двух показаний находят среднее арифметическое. При выборе диапазона измерений необходимо отсчитывать результат на уча-

стие с более высокой чувствительностью и линейностью и в положении ближе к оцифрованному значению. Для совокупных и косвенных измерений с математическими расчетами добиваются получения целочисленных значений, чтобы упростить вычисления. Например, для величин, которые делятся, эффективнее подбирать значения, кратные 1, 2, 5 или с учетом принятого масштаба.

В схемах компенсационных измерений при уравнивании измерительной цепи к состоянию равновесия (по указателю) подходят со стороны больших и меньших значений и добиваются минимального отклонения от нуля, если невозможно получить нулевое значение, например, при измерениях емкости или индуктивности мостом. При снятии характеристик рациональнее непосредственно наносить на график полученные значения, чем сводить их в таблицу. Это позволяет прогнозировать ход измерения и в местах возможных экстремумов, скачков и других характерных особенностей функции увеличивать число измерений и «прощупать» окрестность интересующих участков.

Если характер зависимости заранее известен, то число измерений заранее ограничивают. Для линейной зависимости достаточно проверить нулевое (или начальное) значение и конечное. Для оценки нелинейности характеристики проводят дополнительные измерения внутри диапазона измерений. В соответствии с начальным и конечным значениями измеряемой величины выбирают систему координат и масштаб. Для значений с интервалом измерений, различающимся более чем в 10 раз, целесообразнее выбирать логарифмический масштаб. Масштаб графика должен обеспечивать удобную воспринимаемость и информативность.

Контрольные вопросы

1 Что необходимо учесть при подготовке к измерениям?

2 Как выполнять измерения для получения наиболее информативного результата?

2 Лабораторная работа № 2. Методы поверки аналоговых измерительных приборов

Цель работы: изучить основные метрологические характеристики средств измерений; получить практические навыки поверки аналоговых электроизмерительных приборов.

Общие положения. Поверкой средств измерений (СИ) называется определение метрологической службой погрешностей СИ и установление его пригодности к применению. Поверка включает в себя ряд операций, позволяющих всесторонне оценить состояние прибора и допустить его к применению или забраковать. Она является одним из звеньев в многоступенчатой цепи передачи размера единицы от эталона к рабочему СИ. Поверка СИ осуществляется путем сличения его показаний с показаниями более точного образцового СИ (ГОСТ 8.513–84 *Государственная система обеспечения единства измерений*). Поверку осуществляют территориальные органы Госстандарта: метрологические институты, центры стандартизации и метрологии, лаборатории Госнадзора за стандартами и измерительной техникой, а также метрологические службы предприятий, если им предоставлено право поверки. Чтобы СИ можно было пользоваться, нормируют его пределы допускаемых погрешностей, устанавливают такие границы, за пределы которых погрешность не должна выходить ни при изготовлении СИ на заводе, ни в процессе эксплуатации. СИ присваиваются классы точности.

Классы точности СИ. В случаях, когда СИ имеет только аддитивную погрешность, предел допускаемой абсолютной погрешности Δ_{don} будет постоянен во всем диапазоне. Поэтому его выбирают в качестве нормирующего значения. Такая запись означает, что абсолютная погрешность СИ в любой точке диапазона измерений не превышает a единиц измеряемой величины.

$$\Delta_{don} = \pm a . \quad (2.1)$$

Однако указание только абсолютной погрешности не позволяет сравнивать между собой по точности приборы с разными диапазонами измерений, поэтому для электроизмерительных приборов большое распространение получило нормирование приведенной погрешности, определяемой формулой

$$\gamma_{don} (\%) = \pm \frac{\Delta_{don}}{X_N} \cdot 100 \% = \pm p, \quad (2.2)$$

где X_N – нормирующее значение.

Значение γ_{don} , так же как и Δ_{don} , постоянно во всем диапазоне и может быть представлено одним числом p .

Для средств измерений с равномерной или степенной шкалой, для измерительных преобразователей, если нулевое значение измеряемого параметра находится на краю или вне диапазона измерений, нормирующее значение уста-

навливается равным большему из пределов измерений. Для средств измерений, нулевое значение измеряемого параметра которых находится внутри диапазона измерений, нормирующее значение устанавливается равным большему из модулей пределов измерений. Для СИ с равномерной, практически равномерной или степенной шкалой и нулевой отметкой внутри диапазона измерений нормирующее значение допускается устанавливать равным сумме модулей пределов измерений. Для средств измерений с установленным номинальным значением нормирующее значение устанавливают равным этому номинальному значению. Для измерительных приборов с существенно неравномерной шкалой нормирующее значение устанавливают равным всей длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений. В этом случае пределы абсолютной погрешности выражают, как и длину шкалы, в единицах длины.

Условное обозначение класса точности зависит от нормирующего значения. Если x_N выражено в единицах измеряемой величины, то класс точности обозначается числом, совпадающим с пределом допускаемой приведенной погрешности. Например, если $\gamma_{\text{дон}} = \pm 1,5 \%$, то класс точности обозначается 1,5. Если нормирующее значение выражается длиной шкалы, то обозначение класса точности имеет вид 1,5, что означает: предел допускаемой погрешности равен 1,5 % длины шкалы.

В СИ преобладающей мультипликативной погрешностью удобнее нормировать предел допускаемой относительной погрешности, поскольку его значение будет постоянным во всем диапазоне:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm \frac{\Delta_{\text{дон}}}{x} \cdot 100 \% = \pm q. \quad (2.3)$$

Данная запись означает, что относительная погрешность СИ в любой точке диапазона измерения не превышает q процентов от показания СИ. Условное обозначение класса точности, наносимое на СИ, в этом случае имеет вид 0,5, что означает, что предел допускаемой относительной погрешности $\delta_{\text{дон}} = \pm 0,5 \%$.

Для нормирования погрешностей СИ с аддитивной и мультипликативной погрешностями наибольшее распространение получила формула нормирования предела допускаемой относительной погрешности вида

$$\delta_{\text{дон}} = \pm \left[C + d \left(\left| \frac{X_k}{X} - 1 \right| \right) \right], \quad (2.4)$$

где X_k – конечное значение выбранного предела измерения;

C и d – постоянные числа.

Класс точности в этом случае обозначают числами C и d , разделенными косой чертой (C / d), например, 0,05 / 0,01.

Пределы допускаемых приведенных и относительных погрешностей (p и q), а также коэффициенты C и d в соответствии с ГОСТ 8.401–40 выбираются из следующего ряда чисел: $1 \cdot 10^n$, $1,5 \cdot 10^n$, $2 \cdot 10^n$, $3 \cdot 10^n$, $4 \cdot 10^n$, $5 \cdot 10^n$, $6 \cdot 10^n$, где $n = 1; 0; -1; -2$ и т. д.

Нормированию подлежит и дополнительная погрешность, вызванная различными влияющими факторами (температурой окружающей среды; отклонением СИ от нормального положения; частотой, напряжением и формой кривой питающего тока; внешними электрическими и магнитными полями и пр.). Для каждой влияющей величины должны быть установлены пределы допускаемых отклонений от нормальных, т. е. нормированы рабочие условия эксплуатации. Дополнительная погрешность должна выражаться в таком же виде (абсолютная, относительная, приведенная), как и основная. Если одновременно изменяется несколько влияющих величин, то каждая из них дает дополнительную погрешность, т. е. полная погрешность будет

$$\Delta = \Delta_0 + \sum_{i=1}^n \Delta_i, \quad (2.5)$$

где Δ_0 – основная погрешность СИ;

Δ_i – дополнительная погрешность, вызванная изменением i влияющей величины.

Методы поверки. Поверка аналоговых электроизмерительных приборов может производиться одним из следующих методов:

- сопоставления (сличения) показаний поверяемого и образцового приборов;
- сравнения показаний поверяемого прибора с мерой данной величины.

В первом случае (рисунок 2.1) сигнал x от источника (И) измеряемой величины подают на поверяемый и образцовый приборы (ПП и ОП) и сравнивают показание X_n поверяемого прибора с показанием X_o образцового. Абсолютная погрешность ПП

$$\Delta = X_n - X_o. \quad (2.6)$$

Во втором случае показания поверяемого прибора сравнивают с показанием $X_{ом}$ образцовой меры М, воспроизводящей измеряемую величину (рисунок 2.2).

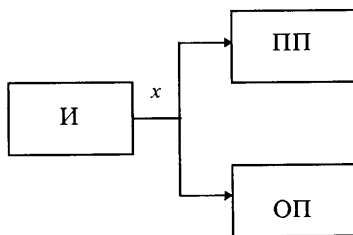


Рисунок 2.1 – Схема поверки СИ при помощи ОП

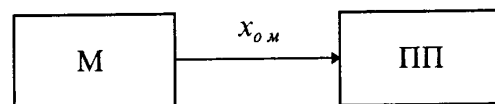


Рисунок 2.2 – Схема поверки СИ при помощи образцовой меры

Абсолютная погрешность определяется как

$$\Delta = X_n - X_{ом}. \quad (2.7)$$

Выбор образцового СИ. Независимо от выбранного метода поверки соотношение пределов допускаемой абсолютной погрешности образцового и поверяемого СИ должно быть не более 1:3 – при поверке приборов классов точности от 0,05 до 0,5 и не более 1:4 – при поверке приборов классов точности от 1,0 до 5,0. В качестве образцовых можно использовать как аналоговые, так и цифровые СИ. Класс точности аналогового СИ при выборе в качестве образцового должен удовлетворять неравенству

$$K_O \leq a \cdot K_n \frac{X_{Mn}}{X_{NO}}, \quad (2.8)$$

где K_O и K_n – классы точности образцового и поверяемого приборов;

a – требуемое соотношение (1:3, 1:4);

X_{NP} и X_{NO} – нормирующее значение поверяемого и образцового приборов.

Операции, выполняемые при поверке. Внешний осмотр. Главная задача – обнаружение дефектов (искривление стрелки; нахождение внутри прибора посторонних или отсоединившихся предметов; отсутствие или неисправность зажимов, переключателей и др.), которые могут привести к ошибкам при измерениях, быстрой порче прибора. Проверяется работа корректора, который должен смещать указатель прибора от отметки механического нуля на 5 % длины шкалы и устанавливать его точно на нуль. При обнаружении любого из перечисленных дефектов поверяемый прибор признается непригодным к применению и дальнейшей поверке не подлежит. В процессе опробования следует убедиться в отсутствии задевания подвижной части прибора за неподвижную. Для этого прибор подключают к источнику образцового сигнала или к образцовой регулируемой мере и плавно изменяют значение измеряемой величины от минимального до максимального и обратно. Указатель прибора при этом должен перемещаться вдоль шкалы без рывков и заеданий.

Влияние наклона определяется на включенном или не включенном приборе. Установив стрелку прибора на отметку шкалы X_n вблизи ее геометрической середины, поочередно наклоняют прибор в каждую из четырех сторон и отмечают каждый раз его показания X_∂ .

Для каждого случая находят приведенную погрешность γ по формуле

$$\gamma = \frac{X_n - X_\partial}{X_N} \cdot 100 \%, \quad (2.9)$$

где X_N – нормирующее значение шкалы прибора.

Ни одно из полученных значений γ не должно превышать предела допускаемой основной погрешности.

Под временем успокоения подвижной части прибора понимается время с момента изменения измеряемой величины до момента, когда отличие показания прибора от установившегося его показания не превышает 1 % длины шкалы. Для определения времени успокоения прибор присоединяют к источнику питания измерительной цепи и устанавливают указатель прибора на геометри-

ческую середину шкалы. Не меняя значения сигнала, прибор отключают и после успокоения колебаний указателя вновь включают. Время успокоения измеряют при помощи секундомера не менее трех раз. Среднее арифметическое полученных результатов и будет временем успокоения колебаний подвижной части данного прибора. Оно не должно превышать 4 с. Если стрелка у прибора более 150 мм, то время успокоения не должно превышать 6 с.

Определение основной погрешности и вариации. Плавно увеличивая измеряемую величину, устанавливают указатель поверяемого прибора поочередно на каждую числовую отметку шкалы и записывают соответствующие этим положениям показания образцового прибора. Необходимо следить за тем, чтобы указатель каждый раз подходил к отметке шкалы со стороны меньших значений. Дойдя до максимальной отметки шкалы, нужно дать небольшую перегрузку, чтобы указатель дошел до опоры, а затем, плавно уменьшая измеряемую величину, вновь установить указатель поверяемого прибора на каждую числовую отметку со стороны больших значений и записать соответствующие показания образцового прибора.

Разность между показанием поверяемого X_n и образцового X_0 приборов дает значение абсолютной погрешности: $\Delta = X_0 - X_n$.

Для каждой числовой отметки рассчитывают два значения погрешности: $\Delta_е$ – при увеличении показаний и Δ – при уменьшении. Ни одно из полученных значений абсолютной основной погрешности не должно превышать предела допускаемой абсолютной основной погрешности.

Вариации показаний можно рассчитывать как абсолютное значение разности между показаниями образцового прибора, соответствующими одной и той же отметке шкалы поверяемого прибора, полученными при возрастании и убывании измеряемой величины – $v = |X_е - X_n|$, или как абсолютное значение разности погрешностей, полученных при тех же условиях – $v = |\Delta_е - \Delta|$. Вариацию рассчитывают для каждой числовой отметки шкалы. Ни одно из полученных значений не должно превышать предела допускаемого значения основной погрешности.

Перед определением основных погрешностей и вариации следует установить указатель корректором на отметку механического нуля. Затем, подключив, например, к омметру образцовый магазин сопротивления, постепенно изменяют его сопротивление, добиваясь установки указателя омметра на требуемую числовую отметку шкалы R . Действительное значение сопротивления R_A отсчитывают по образцовому магазину сопротивлений. Оно не должно выходить за границы интервала допускаемых значений сопротивлений, вычисленного для поверяемой числовой отметки шкалы и приведенного.

Результаты периодической поверки измерительного прибора записываются в паспорт или аттестат – документы, подтверждающие пригодность измерительного средства для эксплуатации на определенный срок.

Магнитоэлектрический амперметр. Для оценки параметров отдельных физических величин используются контрольно-измерительные средства, качество которых характеризуется совокупностью показателей, определяющих

их работоспособность, точность, надежность и эффективность применения. Для обеспечения гарантированной точности измерений проводится периодическая поверка измерительной аппаратуры. Поверка СИ – это определение соответствия его действительных характеристик техническим условиям или государственным стандартам. При осуществлении поверки применяются специально предусмотренные СИ повышенной точности по сравнению с поверяемыми измерительными средствами. В практике поверки СИ нашли применение два способа: сопоставление показаний поверяемого и образцового приборов; сравнение показаний поверяемого прибора с мерой данной величины. При поверке первым способом в качестве образцовых приборов выбираются приборы с лучшими метрологическими качествами.

Верхний предел измерений образцового прибора должен быть таким же, как и поверяемого, или не превышать предел измеряемого прибора более чем на 25 %. Допустимая погрешность образцового прибора должна быть в 3–5 раз ниже погрешности поверяемого прибора.

Погрешность выражают в виде абсолютных величин и в виде относительных. Различают:

– абсолютную погрешность измерительного прибора:

$$\Delta X = X_n - X_d, \quad (2.10)$$

где X_n – показания поверяемого прибора;

X_d – показания образцового прибора (действительное значение измеряемой величины);

– относительную погрешность средства измерения, часто выражаемую в процентах:

$$\gamma_o = \frac{\Delta X}{X_d}, \quad (2.11)$$

где ΔX – абсолютная погрешность.

Для оценки многих средств измерений широко применяется приведенная погрешность, выражаемая в процентах:

$$\gamma_{o.n.} = \frac{\Delta X}{X_N} 100 \%, \quad (2.12)$$

где X_N – нормирующее значение, т. е. некоторое значение, по отношению к которому рассчитывается погрешность.

Часто в качестве нормирующего значения для приведенной погрешности принимают верхний предел измерения прибора. Для многих средств измерений по приведенной погрешности устанавливают класс точности прибора. Например, прибор класса 0,5 может иметь основную приведенную погрешность, не превышающую 0,5 %. Измерительные приборы могут быть следующих классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Многопредельные приборы поверяют на одном, двух основных пределах, а на других –

в некоторых точках. В результате проверки устанавливают приведенную погрешность и по ней – класс точности прибора.

Амперметры магнитоэлектрической системы применяются для измерений токов в цепях постоянного напряжения. Магнитная цепь прибора состоит из постоянного магнита, полюсных наконечников, неподвижного цилиндра. В воздушном зазоре между поверхностями полюсных наконечников и цилиндра создается радиальное поле, которое в силу малости воздушного зазора можно считать равномерным. Рамка с обмоткой крепится на полуосях и может поворачиваться в зазоре.

В результате взаимодействия магнитного поля и тока обмотки создается вращающий момент, пропорциональный току:

$$M_{вр} = \Psi_0 \cdot I, \quad (2.13)$$

где Ψ_0 – постоянная прибора, зависящая от числа витков и площади обмотки и от индукции в зазоре.

Противодействующий момент

$$M_{пр} = W \cdot \alpha, \quad (2.14)$$

где W – удельный противодействующий момент пружины.

Уравнение шкалы прибора:

$$\alpha = \frac{\Psi_0}{W} I = S_I \cdot I, \quad (2.15)$$

где S_I – чувствительность прибора.

Магнитоэлектрические приборы работают только на постоянном токе. Они отличаются высокой чувствительностью, высокой точностью, равномерностью шкалы, выполняются в виде амперметров и вольтметров постоянного тока.

Магнитоэлектрический вольтметр. Для проверки вольтметра магнитоэлектрической системы образцовый и поверяемый вольтметры включают параллельно. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы можно включить в какую-либо электрическую цепь двумя различными способами. При схеме (рисунок 2.3, а) через обмотку механизма, обозначенного буквой А, проходит весь ток нагрузки.

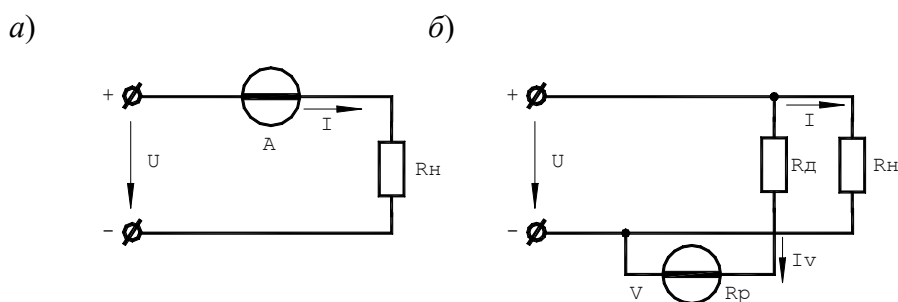


Рисунок 2.3 – Схемы подключения вольтметра

Отклонение подвижной части ее от нулевого положения будет зависеть от значения тока I . В этом случае показание прибора является функцией тока нагрузки, что позволяет проградуировать его шкалу в амперах, и он будет служить амперметром.

Если такой прибор дополнить достаточно большим сопротивлением R_∂ , соединенным последовательно с обмоткой рамки, и включить прибор, обозначенный буквой V (рисунок 2.3, б), то через него будет проходить ток I_v , определяемый напряжением и суммой сопротивлений

$$R_p + R_\partial, \quad (2.16)$$

где R_p – сопротивление обмотки рамки прибора.

В этом случае

$$\alpha = \frac{I}{W} f(I_v), \quad (2.17)$$

а так как

$$I_v = \frac{U}{R_\partial + R_p}, \quad (2.18)$$

где $R_p + R_\partial$ – постоянная величина, то можно записать, что

$$\alpha = \frac{I}{W} f(U). \quad (2.19)$$

Отсюда видно, что при схеме (см. рисунок 2.3, б) показания прибора становятся функцией напряжения U , т. е. он служит уже не амперметром, а вольтметром.

Электродинамический вольтметр. Измерительный механизм ваттметра электродинамической системы. Внутри неподвижной катушки вращается укрепленная на оси бескаркасная рамка из изолированной проволоки; ток в нее поступает по спиральным пружинкам, так же как в приборах магнитоэлектрической системы. Взаимодействие токов подвижной обмотки и неподвижной создает необходимый вращающий момент. Механизм такого рода снабжается воздушным или магнитоиндукционным успокоителем. Уравнение шкалы механизма электродинамической системы имеет вид:

$$\alpha = \frac{I}{W} I_1 \cdot I_2 \frac{dM}{d\alpha}. \quad (2.20)$$

Взаимная индуктивность M зависит от расположения подвижной катушки относительно неподвижной обмотки, и величина $dM / d\alpha$ является некоторой функцией угла α между плоскостями, в которых расположены катушки.

Учитывая это, полученное уравнение шкалы можно записать в следующем виде:

$$\alpha = \frac{I}{W} I_1 \cdot I_2 \cdot f(\alpha). \quad (2.21)$$

Электродинамические приборы используют в качестве амперметров, вольтметров и ваттметров. Если катушки измерительного механизма электродинамической системы включить в цепь, как показано на рисунке 2.5, то, пользуясь обозначениями на рисунке, имеем

$$I_2 = \frac{U}{R_\varepsilon}; \quad R_\varepsilon = R + R_\delta. \quad (2.22)$$

Тогда

$$\alpha = \frac{dM}{W \cdot R_\varepsilon} U \cdot I_1 \frac{dM}{d\alpha} = K \cdot P \frac{dM}{d\alpha}, \quad (2.23)$$

где $K = \text{const}$;

P – мощность.

Чтобы шкала прибора была равномерной, необходимо иметь

$$dM / d\alpha = \text{const}. \quad (2.24)$$

При включении ваттметра в цепь переменного тока уравнение шкалы прибора

$$\alpha = \frac{1}{WZ_\varepsilon} U \cdot I \cdot \cos(\varphi - \delta) \frac{dM}{d\alpha}, \quad (2.25)$$

где Z_ε – модуль полного сопротивления параллельной цепи ваттметра;

δ – угол сдвига между I_2 и U , возникающий вследствие реактивности параллельной цепи и являющийся угловой погрешностью ваттметра.

Для того чтобы α было пропорционально мощности переменного тока, стремятся сделать угол δ возможно малым. Хотя электродинамические ваттметры применимы как на постоянном токе, так и на переменном, градуируются же и поверяются они, как правило, на постоянном токе.

Цена деления ваттметра определяется по формуле

$$C_p = \frac{U_n \cdot I_n}{A_n}, \quad (2.26)$$

где U_n, I_n – установленные пределы измерения по напряжению и току соответственно;

A_n – полное число делений шкалы.

Для правильного включения ваттметра один из зажимов параллельной и последовательной цепей отмечается значком (*). Эти зажимы включаются согласованно, как показано на рисунке 2.4, со стороны источника питания и называются генераторными.

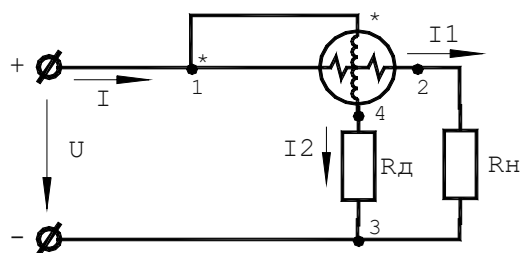


Рисунок 2.4 – Схема для поверки ваттметра косвенным методом

Электродинамические ваттметры выпускаются классов 0,2 и 0,5 и применяются в качестве переносных лабораторных приборов, при этом их показания остаются одинаковыми как на постоянном, так и на переменном токе.

Стенд «Электрические измерения», мультиметр MS8269, комбинированный прибор типа Ц4353 (или аналогичный), магазин сопротивлений, секундомер, источник питания Б5-78/6.

Порядок выполнения работы.

1 Изучите основные метрологические характеристики средств измерений по ГОСТ 8.009–84.

2 Изучите способы нормирования средств измерений по точности по ГОСТ 8.401–80.

3 Изучите порядок выполнения поверки аналоговых электроизмерительных приборов.

4 Для определения класса точности амперметра соберите схему, показанную на рисунке 2.5.

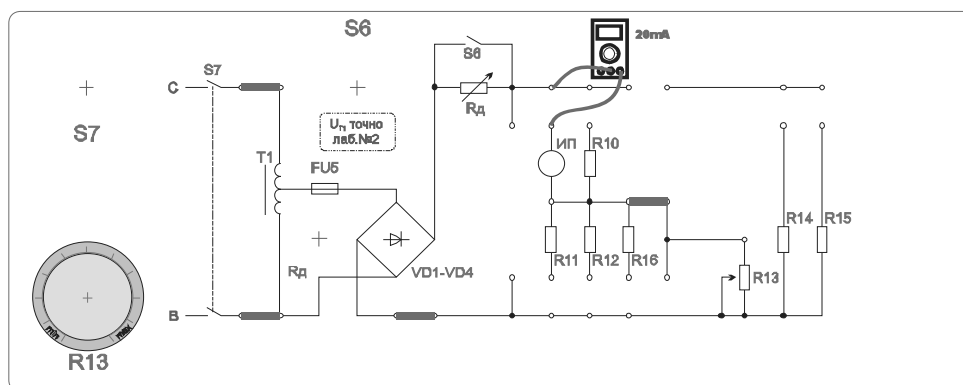


Рисунок 2.5 – Схема для определения класса точности амперметра

5 Перед включением стенда установите переключатель ЛАТРа в начальное положение (10 В).

6 Переменный резистор R13 установите на максимальное сопротивление.

7 Включите стенд тумблером «СЕТЬ», затем – тумблер включения ЛАТРа (S7) и наконец – тумблер питания цепей постоянного тока (S6).

8 Изменяйте величину тока плавно с помощью переменного резистора R13.

9 Сделайте необходимое для расчетов количество замеров.

10 По окончании работы верните все аппараты в исходное состояние.

11 Вычислите по результатам измерения абсолютную погрешность в нескольких точках шкалы поверяемого амперметра.

12 Вычислите приведенную погрешность поверяемого амперметра.

13 Определите класс точности поверяемого амперметра и сравните его с классом точности нанесенного на шкале поверяемого амперметра (см. рисунок 2.5).

14 Для определения класса точности вольтметра соберите схему, показанную на рисунке 2.6.

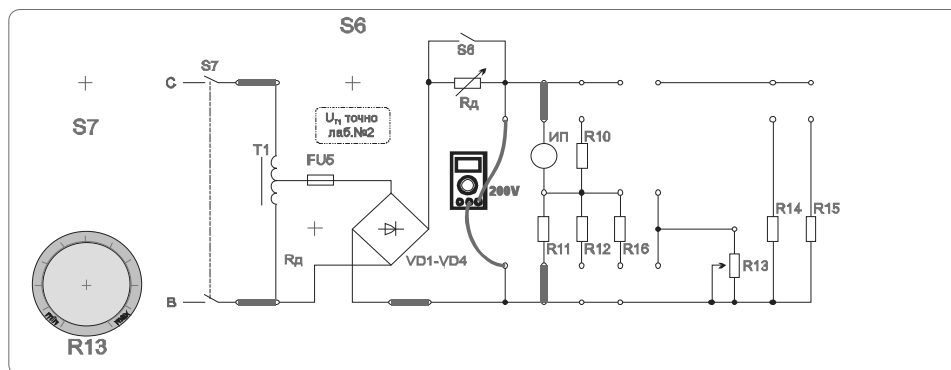


Рисунок 2.6 – Схема для определения класса точности вольтметра

15 Включите стенд, затем – тумблер включения питания ЛАТРа Т1–S7.

В данной работе в качестве поверяемого вольтметра используется миллиамперметр с добавочным сопротивлением R11 (при этом его максимальное отклонение равно 50 В), контрольным является мультиметр, установленный на предел измерения «200V».

16 Изменяйте переключателем ЛАТРа величину напряжения (величина контролируется по мультиметру) до получения измеряемого напряжения на приборе ИП. Точная установка величины измеряемого напряжения производится переменным резистором Rд.

17 Сделайте необходимое для расчетов количество замеров.

18 По окончании работы верните все аппараты в исходное положение и отключите стенд.

19 Вычислите по результатам измерения абсолютную погрешность в нескольких точках шкалы поверяемого вольтметра.

20 Вычислите приведенную погрешность поверяемого вольтметра.

21 Определите класс точности поверяемого вольтметра и сравните его с классом точности, нанесенном на шкале поверяемого вольтметра.

22 Для проверки ваттметра косвенным методом по результатам измерения тока и напряжения на активной нагрузке соберите электрическую схему, приведенную на рисунке 2.7.

23 Для расчета величины активной мощности используйте формулу

$$P = U \cdot I, \quad (2.27)$$

сравнив с расчетом по формуле

$$P = R \cdot I^2. \quad (2.28)$$

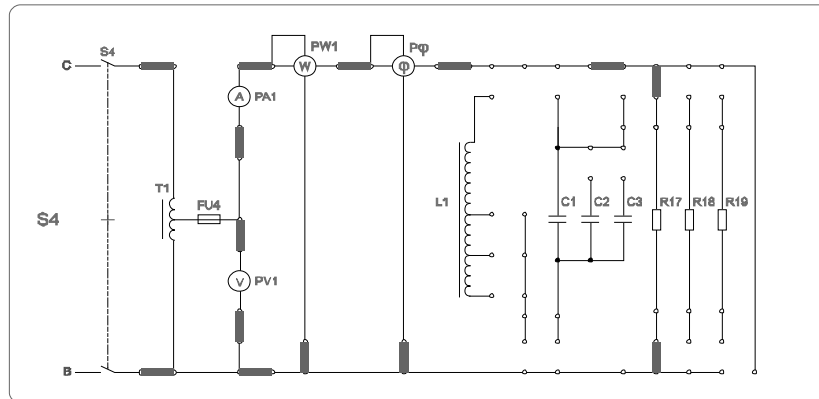


Рисунок 2.7 – Схема для поверки ваттметра косвенным методом

24 Выполните поверку вольтметра, включив его с образцовым вольтметром и источником питания по схеме, приведенной на рисунке 2.8.

25 Выполните поверку омметра, включив его с магазином сопротивлений по схеме, приведенной на рисунке 2.9.

26 Оформите отчет о выполненных исследованиях, в котором отразите: обоснование выбора образцового прибора, схемы включения приборов при поверке с указанием их типов и используемых диапазонов; полученные при поверке результаты и выводы.



Рисунок 2.8 – Схема включения приборов для поверки вольтметра

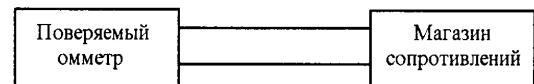


Рисунок 2.9 – Схема включения приборов для поверки омметра

Контрольные вопросы

- 1 Что понимают под классом точности средства измерения?
- 2 Какие операции выполняются при поверке СИ?

3 Лабораторная работа № 3. Изучение Закона Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений»

Цель работы: изучить Закон Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений».

Задание

Ознакомиться с Законом Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений»; описать структуру Закона Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений». Заполнить таблицу 3.1. Раскрыть значение и роль Закона Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений» в практической деятельности.

Таблица 3.1 – Структура Закона РБ «Об обеспечении единства измерений»

Название глав	Общая характеристика / ключевые элементы

Контрольные вопросы

- 1 В чем состоят основные цели Закона РБ «Об обеспечении единства измерений»?
- 2 Что называется единством измерений?
- 3 Основные требования к эталонам единиц физических величин.
- 4 Метрологические службы и суть их деятельности.

4 Лабораторная работа № 4. Разработка методики выполнения измерений. Изучение ГОСТ 8.010–99 «Методики выполнения измерений»

Цель работы: изучение нормативной документации, регламентирующей методику выполнения измерений (МВИ).

Задание

Ознакомиться с нормативной документацией, регламентирующей методику выполнения измерений: ГОСТ 8.010–99 *Методики выполнения измерений*, МИ 2377–98 *Разработка и аттестация методик выполнения измерений*; сформулировать требования к разработке и оформлению методики выполнения измерений на средство измерения.

Отчет о работе должен включать в себя ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1 Этапы разработки МВИ и что она содержит.
- 2 Опишите процедуру аттестации МВИ.

5 Лабораторная работа № 5. Разработка методики выполнения измерений

Цель работы: научиться разрабатывать методику выполнения измерений (МВИ).

Задание

Разработать методику выполнения измерений на средство измерения.

Общие положения. Любая МВИ должна обеспечить воспроизведение единицы величины и выполнение операций по определению измеряемой величины. Очевидно, что при решении обеих этих задач неизбежна определенная погрешность, т. е.

$$y = (1/q)x, \quad (5.1)$$

где y – результат измерения;

$1/q$ – коэффициент чувствительности МВИ;

x – измеряемая величина.

Так как $q \neq 1$, то $y \neq x$, а результат измерения содержит погрешность

$$\Delta = y - x = (1/q)x - x = [(1/q) - x]. \quad (5.2)$$

Эта погрешность зависит от значения измеряемой величины x , следовательно, она является мультипликативной. Причина ее появления – погрешность воспроизведения аттестуемой МВИ единицы величины.

Поскольку $x = q[X]$ (где x – измеряемая величина; q – числовое значение; $[X]$ – единица величины) $q = x / [X]$. Определяем погрешность операции $x / [X]$, которую МВИ выполнит неточно:

$$x / [X] = x + \Delta x, \quad (5.3)$$

где Δx – погрешность определения отношения $x / [X]$.

Из-за наличия в процессе измерения случайных факторов (например, аддитивная погрешность – случайная величина) результат измерения определяется следующим выражением:

$$y = x/[X] = (1/q)x + \Delta x[X] + (1/q)f, \quad (5.4)$$

где $\Delta x[X] + (1/q)f$ – аддитивная погрешность результата измерения;

f – аддитивное возмущение.

Таким образом, МВИ имеет аддитивную (смещение нуля линейной статической характеристики МВИ) и мультипликативную систематические погрешности.

Расчет погрешности. Рассмотрим расчет погрешности при измерении площади поверхности геометрических тел. Площадь поверхности S рассчитывается по формуле

$$S = a \cdot b, \quad (5.5)$$

где a – длина поверхности;
 b – ширина поверхности.

Формула для вычисления погрешности косвенного измерения

$$\frac{\Delta S}{S} = \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial a} \Delta a\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial b} \Delta b\right)^2}, \quad (5.6)$$

где ΔS – погрешность при вычислении площади;

∂S – дифференциал площади;

∂a – дифференциал длины поверхности;

Δa – погрешность при определении длины поверхности;

∂b – дифференциал ширины поверхности;

Δb – погрешность при определении ширины поверхности.

Берем частные производные от формулы (5.5) и, подставив эти данные в формулу (5.6), получаем

$$\frac{\Delta S}{S} = ab \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2}. \quad (5.7)$$

Полная погрешность измерения площади

$$\Delta S_{\text{полн}} = ab \sqrt{\varepsilon_S^2 + \Delta_{CS}^2}, \quad (5.8)$$

где ε_S – случайная составляющая погрешности измерения площади;

Δ_{CS} – систематическая составляющая погрешности измерения площади.

Пределы допускаемой погрешности по данной методике $\pm 3\%$.

Порядок выполнения работы.

1 Изучите теоретический материал.

2 Определите область применения штангенприборов и микрометрических приборов.

3 Рассчитайте погрешность при измерении площади поверхности геометрических тел.

4 Проведите анализ выбранных средств измерений и вспомогательных устройств, составьте их перечень.

5 Выберите метод измерений.

6 Проанализируйте основные требования к условиям проведения измерений.

7 Укажите мероприятия, которые необходимо провести для выполнения измерений.

8 Составьте порядок выполнения измерений.

9 Укажите способы обработки результатов измерений.

10 Определите, каким способом производится контроль точности результатов измерений.

Отчет о работе должен включать в себя: наименование и цель работы; формулы для расчета погрешности при измерении площади поверхности геометрических тел и их вывод; методику выполнения измерений площади поверхности одним из приборов.

Контрольные вопросы

- 1 Охарактеризуйте типичные составляющие и способы оценивания характеристик погрешностей измерений.
- 2 Какие методы измерений вы знаете? В чем их особенности?

6 Лабораторная работа № 6 Изучение ГОСТ 8.326–89 «Метрологическая аттестация средств измерений». Разработка программы метрологической аттестации средств измерений

Цель работы: изучить ГОСТ 8.326–89 *Метрологическая аттестация средств измерений*; освоить порядок разработки метрологической аттестации средств измерений.

Задание

Ознакомиться с нормативной документацией, регламентирующей метрологическую аттестацию средств измерений; сформулировать требования к разработке и оформлению метрологической аттестации (МА) на средство измерений (СИ); разработать метрологическую аттестацию на средство измерений; ответить на контрольные вопросы.

Порядок выполнения работы.

- 1 Изучите общие положения МА СИ. Ознакомьтесь с нормативной документацией, регламентирующей их метрологическую аттестацию.
- 2 Проанализируйте основные требования к проведению МА цифровых средств измерений.
- 3 Разработайте программу метрологической аттестации цифровых средств измерений согласно ГОСТу.

Отчет должен включать в себя: наименование и цель работы; эскиз измерительного прибора, на который необходимо разработать программу аттестации; программу метрологической аттестации средства измерений; протокол и свидетельство о метрологической аттестации; заполненную таблицу 6.1; выводы по работе.

Таблица 6.1 – Рассмотрение технической документации

Требования по рассмотрению технической документации	Указания по методике рассмотрения

Контрольные вопросы

- 1 Перечислите основные задачи метрологической аттестации.
- 2 Кто осуществляет метрологическую аттестацию?
- 3 На какие средства измерений распространяется метрологическая аттестация?
- 4 Что устанавливают в процессе первичной аттестации?

Список литературы

- 1 **Соломахо, В. Л.** Нормирование точности и технические измерения: учебник / В. Л. Соломахо, Б. В. Цитович, С. С. Соколовский. – Минск: Вышэйшая школа, 2015. – 367 с.
- 2 **Сергеев, А. Г.** Метрология, стандартизация и сертификация : учебник и практикум для академ. бакалавриата в 2 ч. Ч. 1: Метрология / А. Г. Сергеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2017. – 325 с.
- 3 Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие / А. М. Степанов [и др.]; под общ. ред. С. Н. Глаголева. – 3-е изд. – Москва: АСВ, 2016. – 248 с.
- 4 **Правиков, Ю. М.** Метрологическое обеспечение производства: учебное пособие для вузов / Ю. М. Правиков, Г. Р. Муслина. – Москва: КноРус, 2017. – 240 с.
- 5 **Колчков, В. И.** Метрология, стандартизация и сертификация: учебник / В. И. Колчков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2017. – 432 с.