

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов направления подготовки 27.03.05 «Инноватика»
очной формы обучения*



Могилев 2022

УДК 389
ББК 30.10
М54

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «25» марта 2022 г.,
протокол № 6

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

Рецензент канд. техн. наук, доц. Е. В. Ильюшина

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены для
студентов направления подготовки 27.03.05 «Инноватика» очной формы
обучения.

Учебно-методическое издание

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Корректор	Т. А. Рыжикова
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 31 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, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2022

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. Изучение закона РФ «Об обеспечении единства измерений»	7
3 Лабораторная работа № 3. Методы поверки аналоговых измерительных приборов.....	10
4 Лабораторная работа № 4. Обработка результатов прямых измерений.....	22
5 Лабораторная работа № 5. Обработка результатов косвенных измерений.....	26
6 Лабораторная работа № 6. Изучение закона РФ «О техническом регулировании».....	32
7 Лабораторная работа № 7. Разработка методики выполнения измерений. Изучение ГОСТ «Методики выполнения измерений».....	37
8 Лабораторная работа № 8. Виды стандартов.....	40
9 Лабораторная работа № 9. Разработка программы метрологической аттестации средств измерений.....	44
10 Лабораторная работа № 10. Схемы сертификации.....	46
11 Лабораторная работа № 11. Основы подтверждения соответствия.....	47
Список литературы.....	48

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.

Целью изучения дисциплины и выполнения лабораторных работ является приобретение знаний по вопросам теоретической, прикладной и законодательной метрологии, стандартизации и подтверждения соответствия, включая вопросы контроля и надзора за соблюдением требований нормативно-технической документации, за состоянием и применением средств измерений.

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; 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.

Устанавливаемым стандартам должны соответствовать типы, параметры и качественные характеристики изделия. Стандарты ограничивают число типоразмеров изделий требуемым минимумом и определяют свойства, которыми эти изделия должны обладать. Объектами стандартизации могут быть как конкретные изделия, так и нормы, правила, методы, расчеты, требования, термины, обозначения, которые можно многократно использовать.

Процедура сертификации направлена на подтверждение соответствия объекта сертификации предъявляемым к нему нормам и требованиям.

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

Цель – 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, т. к. 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. Изучение закона РФ «Об обеспечении единства измерений»

Цель – ознакомиться с законом Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений», описать его структуру, изучить основные понятия.

Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» регулирует отношения, возникающие при выполнении измерений, установлении и соблюдении требований к измерениям, единицам величин, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, применению стандартных образцов, средств измерений, методик (методов) измерений, также при осуществлении деятельности по обеспечению единства измерений, предусмотренной законодательством Российской Федерации об обеспечении

единства измерений, в том числе при выполнении работ и оказании услуг по обеспечению единства измерений.

Единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в Российской Федерации единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы. Согласованная Международная система единиц физических величин была принята в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам весам. Международная система – СИ (SI), SI – начальные буквы французского наименования *Systeme International*. В системе предусмотрен перечень из семи основных единиц – метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела, моль – и двух дополнительных – радиан,стерадиан, а также даны приставки для образования кратных и дольных единиц. Основные и дополнительные единицы представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные и дополнительные единицы СИ

Основные единицы СИ			
Величина	Единица	Обозначение	
Наименование	Наименование	Русское	Международное
Длина L	метр	м	m
Масса M	килограмм	кг	kg
Время T	секунда	с	s
Сила электрического тока I	ампер	А	A
Термодинамическая температура	кельвин	К	K
Сила света	кандела	кд	cd
Количество вещества	моль	моль	mol
Дополнительные единицы СИ			
Плоский угол	радиан	рад	rad
Телесный угол	стерадиан	ср	sr

Основные единицы СИ. **Метр** равен длине пути, проходимого светом в вакууме за $1/299792458$ долю секунды. **Килограмм** равен массе международного прототипа килограмма. **Секунда** равна 9192631770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133. **Ампер** равен силе не изменяющегося во времени электрического тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызывает на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н. **Кельвин** равен $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды. **Моль** равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг. **Кандела** равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

Передача единицы величины – приведение единицы величины, хранимой эталоном единицы величины или средством измерений, к единице величины, воспроизводимой или хранимой эталоном данной единицы величины или стандартным образцом, имеющим более высокие показатели точности.

Эталон – средство измерений (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке. Конструкция эталона, его физические свойства и способ воспроизведения единицы определяются физической величиной, единица которой воспроизводится, и уровнем развития измерительной техники в данной области измерений.

Государственный первичный эталон единицы величины – государственный эталон единицы величины, обеспечивающий воспроизведение, хранение и передачу единицы величины с наивысшей в Российской Федерации точностью, утверждаемый в этом качестве в установленном порядке и применяемый в качестве исходного на территории Российской Федерации

Погрешности государственных первичных и специальных эталонов характеризуются неисключенной систематической погрешностью, случайной погрешностью и нестабильностью. Неисключенная систематическая погрешность описывается границами, в которых она находится. Случайная погрешность определяется средним квадратическим отклонением (СКО) результата измерений при воспроизведении единицы с указанием числа независимых измерений. Нестабильность эталона задается изменением размера единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном, за определенный промежуток времени.

Воспроизведение единицы физической величины – совокупность операций по материализации единицы физической величины с помощью государственного первичного эталона.

Воспроизведение единицы длины (метр) в соответствии с его определением, принятым в 1983 г., заключается в создании при помощи первичного эталона в специальных условиях длины пути, проходимого светом в вакууме за промежуток времени, равный $1/299792458$ с. При этом скорость света в вакууме принята за константу (299792458 м/с) (рисунок 2.1).

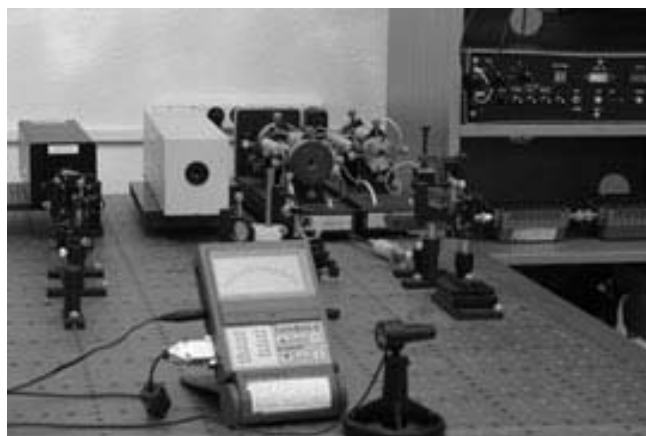


Рисунок 2.1 – Национальный эталон единицы длины

Ранее международный эталон килограмма представлял собой цилиндр диаметром и высотой 39,17 мм из платино-иридиевого сплава (90 % платины, 10 % иридия). Для создания нового эталона массы применяется баланс Киббла – напоминающее весы устройство, которое определяет, какой ток нужен для того, чтобы создать электромагнитное поле, способное уравновесить чашу с тестируемым эталоном. Это позволяет вычислить постоянную Планка с наивысшей точностью и определить точную массу объекта в другом режиме работы баланса Киббла.

Задание

Ознакомиться с законом РФ «Об обеспечении единства измерений», описать его структуру, изучить основные понятия. Раскрыть значение и роль Закона Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» в практической деятельности, ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1 Что называется единством измерений?
- 2 Что такое эталон физической величины? Перечислите виды эталонов, свойства и предъявляемые требования к эталонам.
- 3 Что представляют собой метрологические службы?
- 4 Что представляет собой калибровка, поверка и метрологическая экспертиза средств измерений?
- 5 Перечислите права и обязанности должностных лиц при осуществлении федерального государственного метрологического надзора.
- 6 Что представляют собой метрологические службы?

3 Лабораторная работа № 3. Методы поверки аналоговых измерительных приборов

Цель – 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 Р 8.000–2015 *Государственная система обеспечения единства измерений*). Поверку осуществляют территориальные органы Госстандарта: метроло-

гические институты, центры стандартизации и метрологии, лаборатории Госназора 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 $\Delta_{\text{дон}}$ 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:

$$\Delta_{\text{дон}} = \pm a . \quad (3.1)$$

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 $\gamma_{\text{дон}}$, определяемой формулой

$$\gamma_{\text{дон}} (\%) = \pm \frac{\Delta_{\text{дон}}}{X_N} \cdot 100 \% = \pm p, \quad (3.2)$$

где X_N – нормирующее значение.

Значение $\gamma_{\text{дон}}$, так же как и $\Delta_{\text{дон}}$, 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 устанавливается 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:

$$\delta_{\text{дон}} = \pm \frac{\Delta_{\text{дон}}}{x} \cdot 100 \% = \pm q. \quad (3.3)$$

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

$$\delta_{\text{дон}} = \pm \left[C + d \left(\left| \frac{X_k}{X} - 1 \right| \right) \right], \quad (3.4)$$

где X_k – конечное значение выбранного предела измерения;

C, 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) и 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

$$\Delta = \Delta_0 + \sum_{i=1}^n \Delta_i, \quad (3.5)$$

где Δ_0 – основная погрешность СИ;

Δ_i – дополнительная погрешность, вызванная изменением i -й 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 3.1) 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

$$\Delta = X_n - X_o. \quad (3.6)$$

Во втором случае показания поверяемого прибора сравнивают с показанием $X_{ом}$ образцовой меры М, воспроизводящей измеряемую величину (рисунок 3.2).

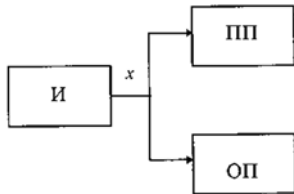


Рисунок 3.1 – Схема поверки СИ при помощи ОП

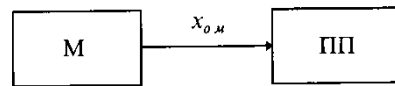


Рисунок 3.2 – Схема поверки СИ при помощи образцовой меры

Абсолютная погрешность определяется как

$$\Delta = X_n - X_{ом}. \quad (3.7)$$

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

$$K_o \leq a \cdot K_n \frac{X_{Nn}}{X_{NO}}, \quad (3.8)$$

где K_o , K_n – классы точности образцового и поверяемого приборов;

a – требуемое соотношение (1:3, 1:4);

X_{Nn} , 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 невключенном 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

$$\gamma = \frac{X_n - X_\partial}{X_N} \cdot 100 \%, \quad (3.9)$$

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 геометрическую 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 получаемых 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_o приборов дает значение абсолютной погрешности: $\Delta = X_o - X_n$.

Для каждой числовой отметки рассчитывают два значения погрешности: Δ_+ – 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, – $\delta = |X_o - X_n|$ или как абсолютное значение разности погрешностей, полученных при тех же условиях, – $\delta = |\Delta_+ - \Delta_-|$. 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_d 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

$$\Delta X = X_n - X_d, \quad (3.10)$$

где X_n – показания поверяемого прибора;

X_d – показания прибора А2 (показание прибора и действительное значение измеряемой величины соответственно);

– относительную погрешность средства измерения, часто выражаемую в процентах,

$$\gamma_o = \frac{\Delta X}{X_d}, \quad (3.11)$$

где ΔX – абсолютная погрешность.

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

$$\gamma_{o,n.} = \frac{\Delta X}{X_N} \cdot 100 \%, \quad (3.12)$$

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 поверки 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:

$$M_{ep} = \Psi_0 \cdot I, \quad (3.13)$$

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

$$M_{np} = W \cdot \alpha, \quad (3.14)$$

где W – удельный противодействующий момент пружины.

Уравнение шкалы прибора

$$\alpha = \frac{\Psi_0}{W} I = S_I \cdot I, \quad (3.15)$$

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 поверки 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 3.3, а) через обмотку механизма, обозначенного буквой А, проходит весь ток нагрузки.

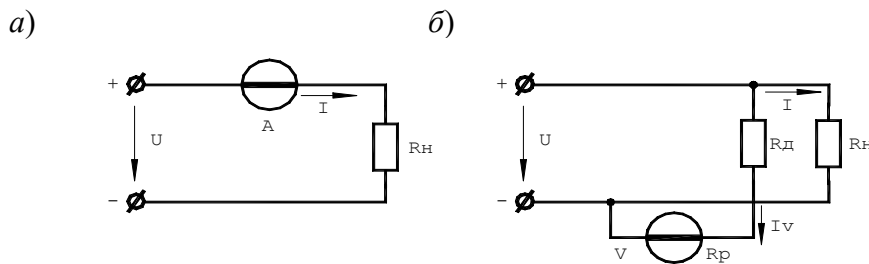


Рисунок 3.3 – Схемы подключения вольтметра

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_d , соединенным последовательно с обмоткой рамки, и включить прибор, обозначенный буквой V (рисунок 3.3, б), то через него будет проходить ток I_v , определяемый напряжением и суммой сопротивлений

$$R_p + R_d, \quad (3.16)$$

где R_p – сопротивление обмотки рамки прибора.

В этом случае

$$\alpha = \frac{I}{W} f(I_v), \quad (3.17)$$

а так как

$$I_v = \frac{U}{R_\delta + R_p}, \quad (3.18)$$

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

$$\alpha = \frac{I}{W} f(U). \quad (3.19)$$

Отсюда видно, что при схеме (см. рисунок 3.3, б) показания прибора становятся функцией напряжения U , т. е. он служит уже не амперметром, а вольтметром.

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

Электродинамический ваттметр. 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:

$$\alpha = \frac{I}{W} I_1 \cdot I_2 \frac{dM}{d\alpha}. \quad (3.20)$$

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 виде

$$\alpha = \frac{I}{W} I_1 \cdot I_2 \cdot f(\alpha). \quad (3.21)$$

Электродинамические приборы используют в качестве амперметров, вольтметров и ваттметров. Если катушки измерительного механизма электродинамической системы включить в цепь, как показано на рисунке 3.1, то, пользуясь обозначениями на рисунке, имеем

$$I_2 = \frac{U}{R_\delta}; \quad R_\delta = R + R_\delta. \quad (3.22)$$

Тогда

$$\alpha = \frac{dM}{W \cdot R_\delta} U \cdot I_1 \frac{dM}{d\alpha} = K \cdot P \frac{dM}{d\alpha}, \quad (3.23)$$

где $K = \text{const}$;

P – мощность.

Чтобы шкала прибора была равномерной, необходимо иметь

$$\frac{dM}{d\alpha} = \text{const.} \quad (3.24)$$

При включении ваттметра в цепь переменного тока уравнение шкалы прибора

$$\alpha = \frac{1}{WZ_{\phi}} U \cdot I \cdot \cos(\varphi - \delta) \frac{dM}{d\alpha}, \quad (3.25)$$

где Z_{ϕ} – 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

$$C_p = \frac{U_n \cdot I_n}{A_n}, \quad (3.26)$$

где U_n, I_n – установленные пределы измерения соответственно 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 3.4, со стороны источника питания и называются генераторными.

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.

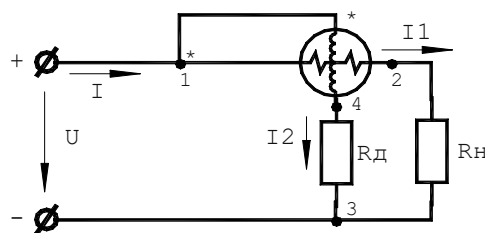


Рисунок 3.4 – Схема для поверки ваттметра косвенным методом

Стенд «Электрические измерения», мультиметр MS8269, комбинированный прибор типа Ц4353 (или аналогичный), магазин сопротивлений, секундо-

мер, источник питания Б5-78/6.

Порядок выполнения работы.

1 Изучите основные метрологические характеристики средств измерений по ГОСТ Р 8.674–2009.

2 Изучите способы нормирования средств измерений по точности по ГОСТ 8.009–84.

3 Изучите порядок выполнения поверки аналоговых электроизмерительных приборов.

4 Для определения класса точности амперметра соберите схему, показанную на рисунке 3.5.

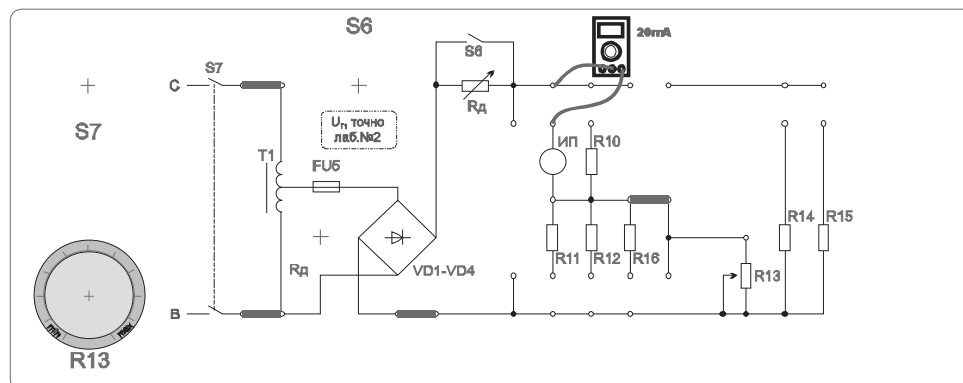


Рисунок 3.5 – Схема для определения класса точности амперметра

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 3.5).

14 Для определения класса точности вольтметра соберите схему, показанную на рисунке 3.6.

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 R_d .

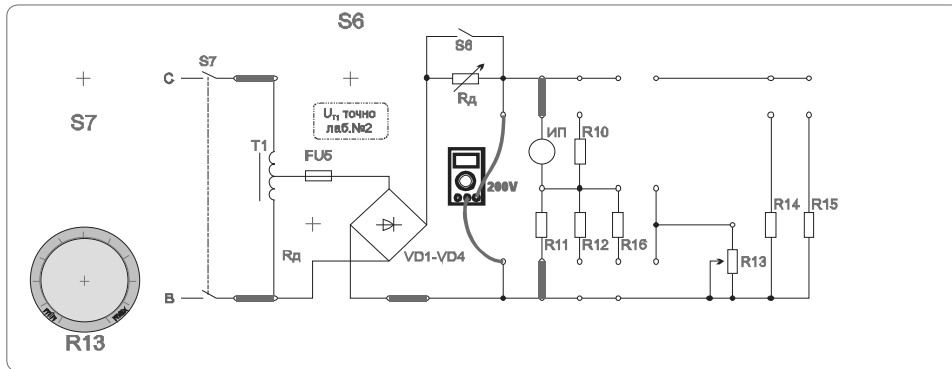


Рисунок 3.6 – Схема для определения класса точности вольтметра

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 3.7.

23 Для расчета величины активной мощности используйте формулу

$$P = U \cdot I, \quad (3.27)$$

сравнив с расчетом по формуле

$$P = R \cdot I^2. \quad (3.28)$$

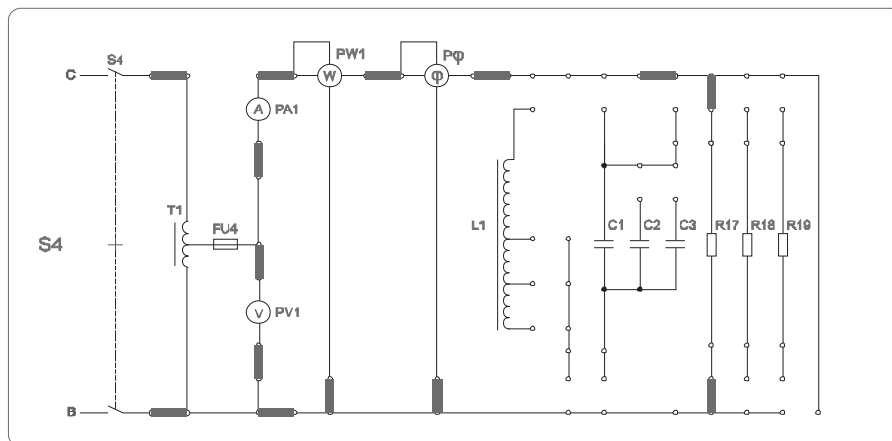


Рисунок 3.7 – Схема для проверки ваттметра косвенным методом

24 Оформите отчет о выполненных исследованиях, в котором отразите обоснование выбора образцового прибора, формулы расчета погрешностей и классов точности, схемы включения приборов при поверке с указанием их типов и используемых диапазонов; полученные при поверке результаты и выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое поверка СИ и кто ее проводит?
- 2 Что понимают под классом точности средства измерения?
- 3 Какие операции выполняются при поверке СИ?
- 4 Какие метрологические характеристики определяют при поверке?
- 5 Какие существуют виды, методы поверки и их особенности?
- 6 Поясните особенности определения и обозначения классов точности СИ.

4 Лабораторная работа № 4. Обработка результатов прямых измерений

Цель – приобрести умение обработки результатов прямых измерений.

Студент должен выполнить по заданию преподавателя тот вариант задачи, порядковый номер которого совпадает с его номером в журнале группы студентов.

При статистической обработке группы результатов наблюдений необходимо выполнить следующие операции [1].

1 Исключить известные систематические погрешности из результатов наблюдений.

2 Вычислить среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений, принимаемое за результат измерения \tilde{A} :

$$\tilde{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.1)$$

3 Вычислить оценку среднего квадратического отклонения (СКО) результата наблюдения:

$$S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{A})^2}{n-1}}, \quad (4.2)$$

где x_i – i -й результат наблюдения;

n – число результатов наблюдений.

4 Среднее квадратическое отклонение $\sigma(\tilde{A})$ результата измерения оценивают по формуле

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{A})^2}{n(n-1)}}. \quad (4.3)$$

5 Проверить гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению. Проверку этой гипотезы проводить с уровнем значимости q от 10 % до 2 %. Конкретные значения уровней значимости должны быть указаны в методике выполнения измерений.

При $n > 50$ для проверки принадлежности результатов наблюдений к нормальному распределению по ГОСТ 11.006–74 предпочтительным является один из критериев: Пирсона χ^2 или Мизеса-Смирнова ω^2 . Если $15 < n < 50$, то предпочтителен составной критерий. При $n \leq 50$ принадлежность результатов наблюдений к нормальному распределению не проверяют. При этом нахождение доверительных границ случайной погрешности по методике, предусмотренной ГОСТ 8.207–76, возможно в том случае, если заранее известно, что результаты наблюдения принадлежат нормальному распределению.

6 Если результаты наблюдений удовлетворяют нормальному закону распределения, то грубые погрешности исключают в соответствии со стандартом. Так, при известном среднеквадратическом отклонении σ_n критерием аномальности служит соотношение между $t_n = \frac{|\tilde{A} - x_1|}{\sigma_n}$ или $t_n = \frac{|x_n - \tilde{A}|}{\sigma_n}$ и значением β , кото-

рое для данного n и принятой вероятности (уровня значимости) $\alpha = 1 - P(t_n \geq \beta)$ берут из справочных данных. Если $t_n \geq \beta$, то результат x_1 (или x_n) аномальный.

При неизвестном σ_n критерием аномальности служит соотношение между $U_n = \frac{|\tilde{A} - x_1|}{S(x)}$ или $U_n = \frac{|x_n - \tilde{A}|}{S(x)}$ и значением β , которое для данного n и принятой

вероятности $\alpha = 1 - P(U_n \geq \beta)$ берут из справочных данных. Если $U_n \geq \beta$, то результат x_1 (или x_n) отбрасывается как аномальный. В этом случае заново вычисляют результат измерения и оценку СКО результата измерения.

7 Доверительные границы ε (без учета знака) случайной погрешности результата измерения найти по формуле

$$\varepsilon = t \cdot S(\tilde{A}), \quad (4.4)$$

где t – коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности P_u числа результатов наблюдений n .

Доверительную вероятность P принимают равной 0,95, допускается указывать границы для доверительной вероятности $P = 0,99$. В особых случаях, например, при измерениях, результаты которых имеют значение для здоровья людей, допускается вместо $P = 0,99$ принимать более высокую доверительную вероятность.

8 Вычислить границы неисключенной систематической погрешности НСП

(неисключенных остатков систематической погрешности) результата измерения.

Неисключенная систематическая погрешность результата измерения образуется из составляющих, в качестве которых могут быть неисключенные систематические погрешности: метода, средств измерения, вызванные другими источниками. Границами составляющих НСП принимают, например, пределы допускаемых основных и дополнительных погрешностей средств измерений, если случайные составляющие погрешности пренебрежимо малы.

При суммировании составляющих НСП результата измерения НСП средств измерения каждого типа и погрешности поправок рассматривают как случайные величины. Если данные о виде распределения случайных величин отсутствуют, то их распределения принимают за равномерные. При равномерном распределении НСП их границы (без учета знака) вычисляют по формуле

$$\Theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \Theta_i^2}, \quad (4.5)$$

где Θ_i – граница i -й неисключенной систематической погрешности;

k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью.

Коэффициент k принимают равным 1,1 при доверительной вероятности $P = 0,95$, а при доверительной вероятности $P = 0,99$ коэффициент k принимают равным 1,4, если число суммируемых неисключенных систематических погрешностей более четырех ($m > 4$). Если же число суммируемых погрешностей равно четырем или менее четырех, то значение k определяют по графику [5, рисунок 2.6].

Доверительную вероятность для вычисления границ неисключенной систематической погрешности принимают той же, что и при вычислении доверительных границ случайной погрешности результата измерения.

9 Вычислить доверительные границы погрешности результата измерения.

Если отношение $\frac{\Theta}{S(\tilde{A})} < 0,8$, то неисключенными систематическими по-

грешностями по сравнению со случайными пренебрегают и принимают, что граница погрешности результата $\Delta = \varepsilon$. Если $\frac{\Theta}{S(\tilde{A})} > 8$, то случайной погрешно-

стью по сравнению с систематическими пренебрегают и принимают, что границы погрешности результата $\Delta = \Theta$. Погрешность, возникающая из-за пренебрежения одной из составляющих погрешности результата измерения при выполнении указанных неравенств, не превышает 15 %. Если вышепредставленные неравенства не выполняются, то допускается границы погрешности результата измерения Δ (без учета знака) вычислять по формуле

$$\Delta = KS_{\Sigma}, \quad (4.6)$$

где K – коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной

систематической погрешностей,

$$K = \frac{\varepsilon + \Theta}{S(\tilde{A}) + \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\Theta_i^2}{3}}}; \quad (4.7)$$

S_Σ – оценка суммарного среднего квадратического отклонения результата измерения,

$$S_\Sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\Theta_i^2}{3} + S^2(\tilde{A})}. \quad (4.8)$$

10 Форма записи результатов измерений.

Оформление результатов измерений производят по ГОСТ 8.011–72.

При симметричной доверительной погрешности результаты измерений представляют в следующей форме:

$$\tilde{A} \pm \Delta, P, n,$$

где \tilde{A} – результат измерения.

Числовое значение результата измерения должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и погрешности Δ .

При отсутствии данных о виде функций распределений составляющих погрешности результата и необходимости дальнейшей обработки результатов или анализа погрешностей результаты измерений представить в форме $\tilde{A}; S(\tilde{A}), n; \Theta$.

11 Правила округления.

Погрешность результата измерения указывается двумя значащими цифрами (все цифры, стоящие справа после нулей), если первая из них равна 1 или 2, и одной, если первая есть 3 и более. Округление производится лишь в окончательном ответе, а все предварительные расчеты выполняются не менее чем с одним-двумя лишними знаками.

Задача. Произвести оценку результата измерения постоянного тока по результатам 17 наблюдений с помощью амперметра, имеющего предел основной приведенной погрешности γ . Шкала применяемого прибора равномерная. Нулевая отметка находится на краю шкалы. Конечное значение диапазона измерения X_N . Известные систематические погрешности исключены. Неисключенные систематические погрешности измерительного прибора определяются пределом допускаемой абсолютной погрешности. Задачу решить для заранее выбранного уровня значимости $q_1 / 2 = 5\%$, $q_2 = 5\%$. Статистическую обработку результатов наблюдений выполнить для доверительной вероятности P . Исходные данные по заданию преподавателя.

Контрольные вопросы

- 1 Перечислите основные этапы обработки результатов прямых измерений.
- 2 Как правильно представлять результаты обработки измерений?

5 Лабораторная работа № 5. Обработка результатов косвенных измерений

Цель – приобрести умение обработки результатов косвенных измерений.

Пусть x_1, x_2, \dots, x_n – величины, измеренные прямыми методами. Тогда если измеряемая величина X является функцией от x_1, x_2, \dots, x_n , $X = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$, то измерение считают косвенным. Погрешность определения величины X зависит не только от погрешности измерения величин x_n , но и от вида функциональной зависимости F .

Рассмотрим два случая косвенных измерений, отличающихся подходами при оценке их погрешности.

Случай 1. Измеряемые аргументы не взаимосвязаны. Оценку истинного значения измеряемой величины \bar{X} производят по формуле

$$\tilde{Q} = \bar{X} = F(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n), \quad (5.1)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n – среднее значение аргументов, получаемое по результатам прямых измерений.

Оценку абсолютной погрешности косвенного измерения производят по формуле

$$\tilde{\Delta} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_{\bar{x}_i} \cdot \Delta x_i. \quad (5.2)$$

Составляющую погрешности Δx_i вычисляют по формуле

$$\Delta_i(x_i) = \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_{\bar{x}_i} \cdot \Delta x_i. \quad (5.3)$$

Оценку среднего квадратического отклонения составляющих результирующей погрешности определяют из соотношения

$$S_i(\bar{X}) = \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_{\bar{x}_i} \cdot S(\bar{x}_i), \quad (5.4)$$

где $S(\bar{x}_i)$ – оценки среднего квадратического отклонения случайной погрешности результата измерения отдельных x_i .

Оценка СКО результата измерения

$$S(\bar{X}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n S_i^2(X_i)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_{\bar{x}_i}^2} \cdot S^2(\bar{x}_i). \quad (5.5)$$

Границы интервала, в котором с заданной вероятностью находится случайная погрешность результата измерения,

$$\varepsilon = \pm t_p^{\text{эТМ}} \cdot S(\bar{X}), \quad (5.6)$$

где $t_p^{\text{эТМ}}$ – квантильный множитель распределения итогового результата косвенного измерения, соответствующий доверительной вероятности P .

Если число измерений не менее 20, t_p определяется из таблиц нормированного нормального распределения; если же число прямых измерений меньше 20, то можно воспользоваться распределением Стьюдента с эффективным числом степеней свободы

$$k_{\text{эТМ}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n E_i^2 \right)^2}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{n_i - 1} \cdot E_i^4} - 2, \quad (5.7)$$

где n_i – число прямых измерений величины x_i .

$$E_i = \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_{\bar{x}_i} \cdot S(\bar{x}_i). \quad (5.8)$$

В качестве $t_p^{\text{эТМ}}$ можно выбрать квантильный множитель распределения Стьюдента, число измерений которого соответствует минимальному числу произведенных измерений.

Если имеются систематические погрешности Δ_{ci} прямо измеряемых величин x_i , то общую систематическую погрешность Δ_c вычисляют по формуле

$$\Delta_c = \sum \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_{\bar{x}_i} \cdot \Delta_{ci}. \quad (5.9)$$

Ее исключают из результата измерения введением поправки ($-\Delta_c$).

Граница неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения вычисляется по формуле

$$\Theta = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_{\bar{x}_i}^2} \cdot \Theta_i^2, \quad (5.10)$$

где k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью, $k = 1,1$ при $P = 0,95$.

Суммарную погрешность результата косвенного измерения определяют в зависимости от соотношения Θ и $S(\bar{X})$, как и для прямых измерений.

Случай 2. Измеряемые аргументы взаимосвязаны (коррелированы), и различие между результатами определяется как погрешностями измерений, так и теснотой связи измеряемых аргументов.

Оценка дисперсии результата косвенных измерений определяется по формуле

$$S^2(\bar{X}) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)^2 \cdot S^2(\bar{x}_i) + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right) \cdot \left(\frac{\partial F}{\partial x_j} \right) \cdot \rho_{ij} \cdot S(x_i) \cdot S(x_j), \quad (5.11)$$

где ρ_{ij} – коэффициент корреляции погрешностей измерения величин x_i и x_j , учитывающий тесноту зависимости между ними.

Возможные значения коэффициента корреляции лежат в интервале $-1 \leq \rho_{ij} \leq +1$. Если $\rho_{ij} = 0$, то погрешности не коррелированы. Равенство $\rho_{ij} = \pm 1$ свидетельствует о наличии функциональной (а не вероятностной) зависимости.

Оценку коэффициента корреляции производят по формуле

$$\tilde{\rho}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m (x_{ki} - \bar{x}_i) \cdot (x_{kj} - \bar{x}_j)}{S(\bar{x}_i) \cdot S(\bar{x}_j)}, \quad (5.12)$$

где m – наименьшее из чисел наблюдений за величинами x_i и x_j .

Пример выполнения обработки результатов косвенных измерений

Произвести оценку суммарной погрешности косвенного измерения мощности по результатам пяти прямых измерений тока и напряжения. Предел основной относительной погрешности амперметра составляет 1 %, вольтметра – 2 %. Результаты наблюдений представлены в таблице 3.1 и принадлежат нормальному распределению.

Таблица 5.1 – Результат измерений

Номер измерения	1	2	3	4	5
$U, В$	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1
$I, А$	2,4	2,2	2,3	2,4	2,3

Порядок выполнения работы.

1 Проверки крайних значений возрастающих вариационных рядов U и I показали, что они не являются аномальными.

2 Вычислим средние арифметические значения \bar{U} и \bar{I} : $\bar{U} = 10,12$ В;
 $\bar{I} = 2,32$ А.

3 Определим среднюю мощность по результатам измерения U и I :
 $\bar{P} = \bar{U} \cdot \bar{I} = 22,26$ Вт.

4 Оценим квадрат СКО результатов измерения напряжения и тока:

$$S^2(\bar{U}) = \frac{\sum_{i=1}^5 (U_i - \bar{U})^2}{n \cdot (n-1)} = 440 \cdot 10^{-5} \text{ В}^2; \quad S^2(\bar{I}) = \frac{\sum_{i=1}^5 (I_i - \bar{I})^2}{n \cdot (n-1)} = 140 \cdot 10^{-5} \text{ А}^2.$$

5 Вычислим квадраты частных производных мощности по напряжению и току:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial U}\right)^2 = \bar{I}^2 = 5,38 \text{ А}^2; \quad \left(\frac{\partial P}{\partial I}\right)^2 = \bar{U}^2 = 102,41 \text{ В}^2.$$

6 Произведем оценку среднего квадратического отклонения результата измерения мощности:

$$S(\bar{P}) = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial U}\right)^2 \cdot S^2(\bar{U}) + \left(\frac{\partial P}{\partial I}\right)^2 \cdot S^2(\bar{I})} = \sqrt{5,38 \cdot 440 \cdot 10^{-5} + 102,41 \cdot 140 \cdot 10^{-5}} = 0,4e.$$

7 Вычислим доверительный интервал случайной погрешности, соответствующий $P = 0,95$: $\varepsilon = t_{0,95} \cdot S(\bar{P}) = 2,776 \cdot 0,4 = 1,1$ Вт.

8 Определим доверительные границы неисключенной систематической погрешности результата измерения. В качестве границ НСП измерения тока и напряжения принимаем пределы допускаемых погрешностей применяемых средств измерений: для вольтметра – 2 %, для амперметра – 1 %:

$$\Theta_U = \bar{U} \cdot 0,02 = 10,12 \cdot 0,02 = 0,2 \text{ В}; \quad \Theta_I = \bar{I} \cdot 0,01 = 2,32 \cdot 0,01 = 0,02 \text{ А}.$$

$$\Theta = k \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial U}\right)^2 \cdot \Theta_U^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial I}\right)^2 \cdot \Theta_I^2} = 1,1 \cdot \sqrt{5,38 \cdot 0,2^2 + 102,41 \cdot 0,02^2} = 0,557.$$

9 Определим суммарную погрешность результата измерения Δ .

Так как $\frac{\Theta}{S(\bar{P})} = \frac{0,557}{0,4} = 1,39$, т. е. $0,8 < 1,39 < 8$, то границы абсолютной

погрешности результата измерения Δ (без учета знака) определяют по более сложной формуле:

$$\Delta = k \cdot S_{\Sigma} = \frac{\varepsilon + \Theta}{S(\bar{P}) + \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\Theta_i^2}{3}}} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\Theta_i^2}{3} + S^2(\bar{P})} = \frac{\varepsilon + \Theta}{S(\bar{P}) + \sqrt{\frac{\left(\frac{\partial P}{\partial U}\right)^2 \cdot \Theta_U^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial I}\right)^2 \cdot \Theta_I^2}{3}}} \times$$

$$\times \sqrt{\frac{\left(\frac{\partial P}{\partial U}\right)^2 \cdot \Theta_U^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial I}\right)^2 \cdot \Theta_I^2}{3} + S^2(\bar{P})} = \frac{1,1 + 0,557}{0,4 + \sqrt{\frac{0,256}{3}}} \cdot \sqrt{\frac{0,256}{3} + 0,16} = 1,186 \text{ Вт.}$$

10 Результат измерения следующий: $P = (22,26 \pm 1,19) \text{ Вт}$, $P = 0,95$.

Вариант задачи выбирается в соответствии со списком группы студентов.

Задача. Произвести оценку суммарной погрешности определения величины Z по результатам измерений величин X и Y . Величина Y измеряется инструментом с ценой деления h . Предел основной относительной погрешности измерения величины X составляет δ .

Необходимо оценить погрешность определения Z по результатам наблюдений, приведенным в таблицах 5.2–5.9 согласно варианту по списку группы. Доверительная вероятность $P = 0,95$. Результаты измерений распределены по нормальному закону.

Таблица 5.2 – Вариант 1 ($Z = \frac{3x^3}{2y}$)

Номер измерения	1	2	3	4	5
X	100,3	100,2	100,4	100,6	100,3
Y	26,6	26,5	26,8	26,9	26,5
h	0,1				
$\delta, \%$	1				

Таблица 5.3 – Вариант 2 ($Z = \frac{y^3}{x^2}$)

Номер измерения	1	2	3	4	5
X	2,5	2,6	2,1	2,4	2,3
Y	4,8	4,9	4,4	4,3	4,8
h	0,2				
$\delta, \%$	5				

Таблица 5.4 – Вариант 3 ($Z = \frac{2y^2}{3x^3}$)

Номер измерения	1	2	3	4	5
X	26,3	26,5	26,9	26,6	26,7
Y	13,2	13,3	13,5	13,4	13,3
h	0,2				
$\delta, \%$	2				

Таблица 5.5 – Вариант 4 ($Z = \frac{3\sqrt{x^3}}{y^2}$)

Номер измерения	1	2	3	4	5
X	3,4	3,7	3,8	3,3	3,5
Y	2,1	2,2	2,3	2,1	2,0
h	0,2				
$\delta, \%$	5				

Таблица 5.6 – Вариант 5 ($Z = \frac{6y^2}{7x^3}$)

Номер измерения	1	2	3	4	5
X	30,6	30,4	30,2	30,3	30,5
Y	28,1	28,2	28,3	28,4	28,1
h	0,2				
$\delta, \%$	2				

Таблица 5.7 – Вариант 6 ($Z = \frac{3x^3}{2y^2}$)

Номер измерения	1	2	3	4	5
X	44,3	44,5	44,8	44,7	44,5
Y	103	102	104	105	106
h	0,2				
$\delta, \%$	2				

Таблица 5.8 – Вариант 7 ($Z = \frac{3y^2}{x}$)

Номер измерения	1	2	3	4	5
X	5,0	5,2	5,4	5,1	5,6
Y	3,3	3,4	3,2	3,1	3,4
h	0,2				
$\delta, \%$	6				

Таблица 5.9 – Вариант 8 ($Z = \frac{2y^2}{3x^2}$)

Номер измерения	1	2	3	4	5
X	10,6	10,8	10,9	10,3	10,5
Y	4,3	4,4	4,2	4,1	4,5
h	0,1				
$\delta, \%$	4				

Контрольные вопросы

- 1 Как классифицируются измерения по способу получения результатов?
- 2 Перечислите основные этапы обработки результатов косвенных измерений.

6 Лабораторная работа № 6. Изучение закона РФ «О техническом регулировании»

Цель – ознакомиться с Законом Российской Федерации «О техническом регулировании» [6]; изучить основные виды технических нормативных правовых актов (ТНПА) по стандартизации, определить область применения.

Техническое нормирование – разработка обязательных для соблюдения технических требований к безопасности продукции, процессам ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции или оказания услуг. Техническое нормирование целесообразно рассматривать в контексте со стандартизацией. Оно является более актуальным и глобальным направлением деятельности, поскольку призвано решать социальную цель – защита жизни, здоровья людей и охрана окружающей среды от неблагоприятного воздействия продукции. Как практическая деятельность техническое нормирование и стандартизация связаны с разработкой, внедрением и применением технических нормативных правовых актов, надзором за выполнением требований, правил и норм, изложенных в них, планированием и финансированием в этой области деятельности. Важным результатом деятельности в области технического нормирования и стандартизации стало улучшение качества потребительских товаров, продукции производственно-технического назначения в соответствии с их функциональным назначением. Законодательная и нормативная база технического нормирования в Российской Федерации установлена Законом Российской Федерации «О техническом регулировании». Положения Закона обязательны к выполнению всеми государственными органами управления, субъектами хозяйственной деятельности независимо от формы собственности, а также общественными объединениями. Закон определяет меры государственной защиты интересов потребителей и

государства через требования, правила, нормы, вносимые в государственный стандарт при их разработке, и государственный контроль выполнения обязательных требований стандартов при их применении (рисунок 6.1).

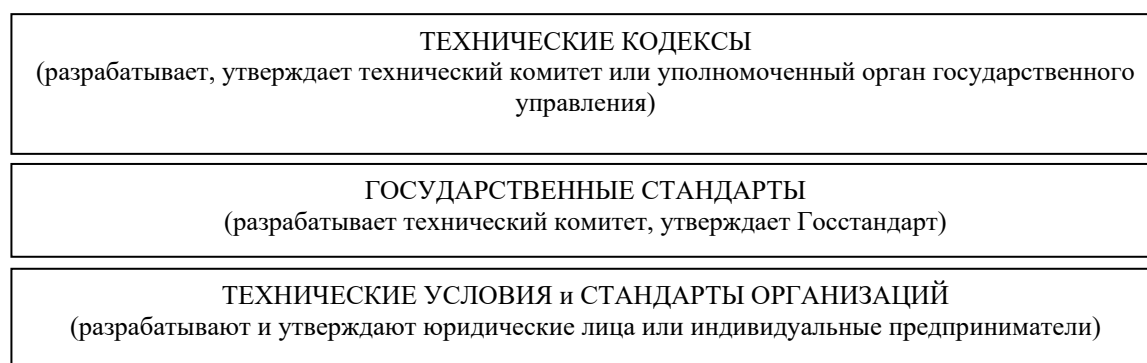


Рисунок 6.1 – Технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации

Техническое регулирование – правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции или к продукции и связанным с требованиями к продукции процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также в области применения на добровольной основе требований к продукции, процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг и правовое регулирование отношений в области оценки соответствия.

Стандартизация – это деятельность, направленная на разработку и установление требований, норм, правил, характеристик как обязательных для выполнения, так и рекомендуемых, на достижение оптимальной степени упорядочения в той или иной области посредством широкого и многократного использования установленных положений, требований, норм для решения реально существующих, планируемых или потенциальных задач.

Объектами стандартизации являются конкретная продукция, нормы, правила, требования, методы, термины, обозначения и т. д., имеющие перспективу многократного применения в науке, технике, промышленном и сельскохозяйственном производстве, строительстве, на транспорте, в культуре, здравоохранении и международной торговле.

Стандартизация осуществляется на разных уровнях. Уровень стандартизации различается в зависимости от того, участники какого географического, экономического, политического региона мира принимают стандарт. Если участие в стандартизации открыто для соответствующих органов любой страны, то это международная стандартизация.

Цель стандартизации в инновационной сфере – опережающее создание и внедрение нормативно-технических инструментов в инновационной сфере, ори-

ентированных на новый конкурентоспособный рыночный продукт высокого качества и гарантированной безопасности, а также обеспечение выхода отечественной инновационной продукции и технологий на глобальные открытые рынки.

Технический регламент – технический нормативный правовой акт, разработанный в процессе технического нормирования. Он устанавливает обязательные для соблюдения технические требования, связанные с безопасностью продукции, процессов ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказания услуг непосредственно и (или) путем ссылки на технические кодексы установившейся практики и (или) государственные стандарты. Классификация технических регламентов представлена на рисунке 6.2.

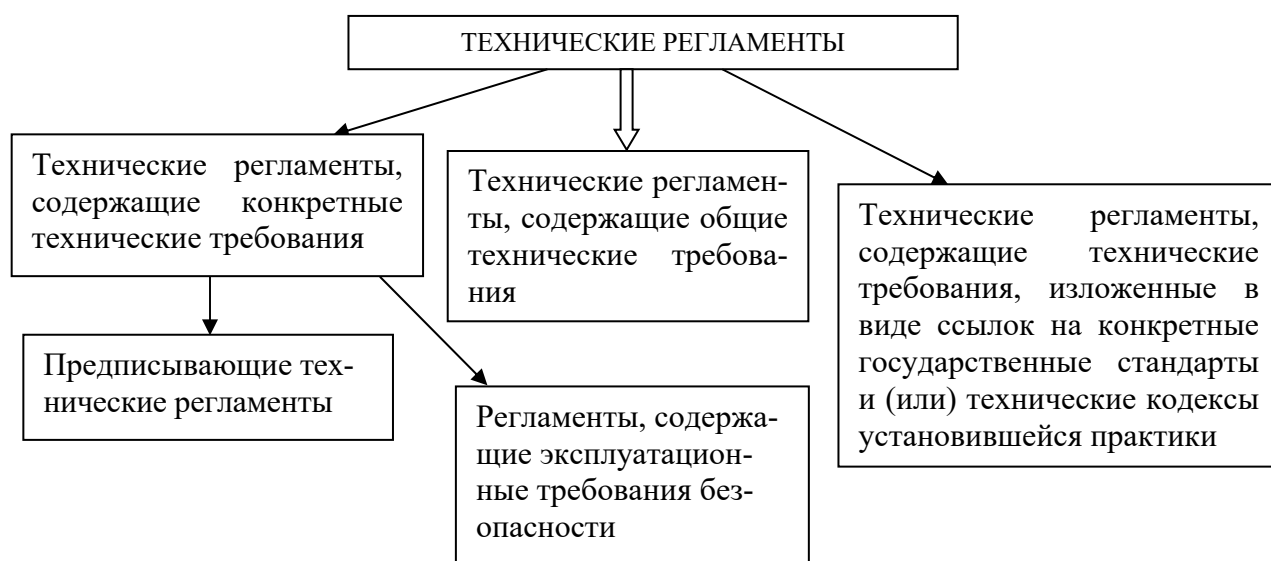


Рисунок 6.2 – Классификация технических регламентов

В зависимости от уровня стандартизации стандарты подразделяются на следующие виды:

- международные (ИСО, МЭК);
- EN – еврорма или гармонизированный европейский стандарт;
- межгосударственные: ГОСТ или межгосударственный стандарт, региональный стандарт, действующий на территории стран СНГ;
- национальные (государственные) стандарты (рисунок 6.3).

Государственный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р – стандарт, утвержденный госстандартом.

Требования, формирующие уровень качества продукции и не указанные в технических регламентах, выделяют в добровольную область, которая может регулироваться государственными стандартами, принимаемыми на основе согласия всех заинтересованных сторон.

Для осуществления технического нормирования на отраслевом уровне предусмотрен такой документ, как технический кодекс.

Технический кодекс установившейся практики (далее – технический кодекс) – технический нормативный акт, разработанный в процессе стан-

дартизации. Он содержит основанные на результатах установившейся практики технические требования к процессам разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции или оказанию услуг.

Техническому кодексу в процессе государственной регистрации присваивается обозначение, состоящее из следующих элементов: кодекса – ТКП; порядкового регистрационного номера, присваиваемого Госстандартом; года утверждения технического кодекса; кода органа государственного управления, утвердившего технический кодекс в скобках (ТКП 43–2004 (09170)).



Рисунок 6.3 – Национальные (государственные) стандарты

Технические условия – технический нормативный правовой акт, разработанный в процессе стандартизации и утвержденный юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем.

Обозначение техническим условиям присваивает разработчик. Обозначение состоит из следующих элементов: индекс вида ТНПА – ТУ; буквенный код – РБ (в случае предполагаемого экспорта продукции международного кода ВУ); код держателя подлинника технических условий по Единому государственному регистру юридических лиц и индивидуальных предпринимателей (десять знаков); разделительный знак (точка); разновидность ТУ (три цифры); год утверждения (четыре цифры). Например, ТУ РБ 100195503.015–2004 (ТУ ВУ 100195503.015–2004).

Задание 1

Ознакомьтесь с Законом Российской Федерации «О техническом регулировании» и составьте концепцию Закона, вписать основные положения, элементы, определяющие концепцию Закона Российской Федерации «О техническом регулировании» (рисунок 6.4).



Рисунок 6.4 – Концепция Закона Российской Федерации «О техническом регулировании»

Задание 2

Описать структуру Закона Российской Федерации «О техническом регулировании». Раскрыть значение и роль Закона Российской Федерации «О техническом регулировании» в практической деятельности.

Контрольные вопросы

- 1 Перечислите основные нормативные документы в области стандартизации и технического регулирования.
- 2 Что является объектами и субъектами стандартизации?
- 3 Назовите принципы, цели и задачи стандартизации.

7 Лабораторная работа № 7. Разработка методики выполнения измерений. Изучение ГОСТ «Методики выполнения измерений»

Цель – ознакомиться с нормативной документацией, регламентирующей методику выполнения измерений ГОСТ 8.010–2013 *Методика выполнения измерений*.

Общие положения

Большое значение для процесса измерений имеет его правильная организация. Любое измерение требует от исполнителя контроля, понимания и четкости выполнения всей совокупности операций, направленных на исключение или уменьшение влияния погрешностей на результат измерения. Сложность значительной части измерений и обработки их результатов обуславливает необходимость разработки методик выполнения измерений.

Методика выполнения измерений (МВИ) – совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с известной погрешностью. 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.

$$y = \left(\frac{1}{q}\right) \cdot x, \quad (7.1)$$

где y – результат измерения;

$\frac{1}{q}$ – коэффициент чувствительности МВИ;

x – измеряемая величина.

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

$$\Delta = y - x = \left(\frac{1}{q}\right) \cdot x - x = \left[\left(\frac{1}{q}\right) \cdot x - x \right]. \quad (7.2)$$

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

$$\frac{1}{[X]} = x + \Delta x, \quad (7.3)$$

где Δx – погрешность определения отношения $\frac{1}{[X]}$.

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

$$y = \frac{1}{[X]} = \left(\frac{1}{q}\right) \cdot x + \Delta x \cdot [X] + \left(\frac{1}{q}\right) \cdot f, \quad (7.4)$$

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. ГОСТ 8.010–2013 *Методики выполнения измерений* [4] устанавливает общие положения и требования к разработке МВИ, их содержанию, аттестации, стандартизации, метрологическому надзору. Методики разрабатывают и применяют с целью обеспечения выполнения измерений с погрешностью, не превышающей требуемой или приписанной характеристики (характеристики погрешности любого результата совокупности измерений, полученного при соблюдении требований и правил данной МВИ).

Разработка МВИ состоит из нескольких этапов и включает в себя: выбор метода и средств измерений; установление последовательности и содержания операций при подготовке и выполнении измерений, обработке промежуточных и окончательных результатов измерений; установление приписанных характеристик погрешности измерений; разработку нормативов и процедур контроля точности получаемых результатов измерений; оформление МВИ как документа; метрологическую экспертизу проекта МВИ; аттестацию МВИ; стандартизацию МВИ. Две последние операции могут выполняться как самостоятельные работы. Аттестация МВИ – процедура установления и подтверждения соответствия МВИ предъявленным к ней метрологическим требованиям. Аттестации подлежат МВИ, используемые в сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора. Ее осуществляют метрологические службы и иные организационные структуры по обеспечению единства измерений.

Задание

Ознакомиться с нормативной документацией, регламентирующей методику выполнения измерений ГОСТ 8.010–2013 *Методика выполнения измерений*, сформулировать требования к разработке и оформлению методики выполнения измерений на средство измерения по заданию преподавателя, ответить на контрольные вопросы.

Пример расчета погрешности при измерении площади поверхности геометрических тел.

Площадь поверхности S рассчитывается по формуле

$$S = a \cdot b,$$

где a – длина поверхности;

b – ширина поверхности.

Формула для вычисления погрешности косвенного измерения

$$\frac{\Delta S}{S} = \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial a} \cdot \Delta a\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial b} \cdot \Delta b\right)^2}, \quad (7.5)$$

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.

Подставив данные в формулу (7.5), получаем

$$\frac{\Delta S}{S} = ab \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2}. \quad (7.6)$$

Полная погрешность измерения площади

$$\Delta S_{\text{полн}} = ab \sqrt{\varepsilon_S^2 + \Delta_{CS}^2}, \quad (7.7)$$

где ε_S – случайная составляющая погрешности измерения площади;

Δ_{CS} – систематическая составляющая погрешности измерения площади.

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 Что такое методика выполнения измерений, референтная МВИ?

2 Что собой представляет аттестация методик выполнения измерений?

3 Охарактеризуйте типичные составляющие и способы оценивания характеристик погрешностей измерений.

4 Что собой представляет контроль точности результатов измерений?

8 Лабораторная работа № 8. Виды стандартов

Цель – изучить сущность управления качеством и его составляющих по стандартам ИСО серии 9000, овладеть навыками работы с ними; изучить структуру стандартов ИСО серии 9000, ознакомиться с государственными стандартами Российской Федерации, регламентирующими требования к системам менеджмента качества организаций.

Стандарт – нормативно-технический документ, устанавливающий требования к группам однородной продукции и в необходимых случаях к конкретной продукции, правила, обеспечивающие ее разработку, производство и применение, а также требования к иным объектам стандартизации.

Международный стандарт – стандарт, принятый международной организацией:

– стандарт ISO 9000 содержит руководительские указания по выбору и использованию стандартов в соответствии с конкретными ситуациями в деятельности фирмы;

– стандарт ISO 9004 – это методические указания для общего руководства качества предприятия;

– стандарты ISO 9001–9003 модели систематического обеспечения качества на различных стадиях производственного процесса;

– стандарт ISO 14000 – стандарт в области защиты окружающей среды.

Межгосударственный стандарт (ГОСТ) – методический стандарт, принятый государствами, присоединившимися к соглашению о проведении согласованной политики в области стандартизации и сертификации СНГ.

Национальный стандарт (ГОСТ Р) – разрабатывается на продукцию, работы и услуги, распространяется на все юридические и физические лица вне за-

висимости от формы собственности.

Стандарты отрасли (ОСТ) – разрабатываются на продукцию, процессы и услуги определенной отрасли. Необходимость разработки возникает при отсутствии соответствующих ГОСТов. Принимают ОСТы государственные органы управления (министерства).

Стандарты предприятия (СТП) – стандарты, утвержденные предприятиями. Не должны противоречить ОСТам, ГОСТам. Утверждаются руководителями предприятия.

В зависимости от специфики объекта стандартизации и содержания устанавливаемых к нему требований разрабатываются, как правило, стандарты следующих видов: основополагающие (организационно-методические и общетехнические); на продукцию; на работы (процессы), услуги; на методы контроля (испытаний, измерений, анализа).

Основополагающие стандарты устанавливают общие организационно-методические положения для определенной области деятельности, а также общетехнические требования (нормы и правила), обеспечивающие техническое единство и взаимосвязь различных областей науки, техники и производства в процессе создания и использования продукции, охрану окружающей среды, охрану труда и другие общетехнические требования.

Стандарты на продукцию устанавливают требования к группам однородной продукции или к конкретной продукции. Стандарты на работы (процессы) устанавливают требования к методам (способам, режимам, нормам) выполнения различного рода работ (услуг) в технологических процессах изготовления, хранения, транспортирования, эксплуатации, ремонта и утилизации продукции. Стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа) устанавливают требования к методам (способам, приемам, режимам, нормам) проведения контроля продукции при её создании, производстве, потреблении, утилизации.

Международная организация по стандартизации создана в 1946 г. двадцатью пятью национальными организациями по стандартизации. Сфера деятельности ИСО касается стандартизации во всех областях, кроме электротехники и электроники, относящихся к компетенции Международной электротехнической комиссии (МЭК). Кроме стандартизации, ИСО занимается и проблемами сертификации.

ИСО определяет свои задачи следующим образом: содействие развитию стандартизации и смежных видов деятельности в мире с целью обеспечения международного обмена товарами и услугами, а также развития сотрудничества в интеллектуальной, научно-технической и экономической областях.

На сегодняшний день в состав ИСО входят 120 стран со своими национальными организациями по стандартизации. Республику Беларусь представляет Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь в качестве комитета-члена ИСО. Всего в составе ИСО более 80 комитетов-членов. Кроме комитетов-членов, членство в ИСО может иметь статус членов-корреспондентов, которыми являются организации по стандартизации развивающихся государств.

По своему содержанию стандарты ИСО отличаются тем, что лишь

около 20 % из них включают требования к конкретной продукции. Основная же масса нормативных документов касается требований безопасности, взаимозаменяемости, технической совместимости, методов испытаний продукции, а также других общих и методических вопросов. Таким образом, использование большинства международных стандартов ИСО предполагает, что конкретные технические требования к товару устанавливаются в договорных отношениях. Особенности в построении систем менеджмента качества в разных странах при общей тенденции к интеграции мировой экономики привели к необходимости создания и внедрения международных «стандартов на системы качества», которые известны в настоящее время как международные стандарты ИСО серии 9000. Они используются как методические документы при осуществлении менеджмента качества. Их главная цель – установление единого, признанного во всем мире подхода к условиям по оценке систем обеспечения качеством и регламентация отношений между покупателем продукции и ее поставщиком по вопросам обеспечения качества продукции. При этом должна обеспечиваться жесткая ориентация на требования потребителя.

Стандарты ИСО серии 9000 разработаны Международной организацией по стандартизации, расположенной в Женеве (Швейцария).

Регистратор – это организация, которая проводит аудит третьей стороны, инспектирование и регистрацию. Регистратора, в свою очередь, проверяет национально признанная организация – аккредитующий орган. Данную функцию выполняет государственный комитет по стандартизации. Именно регистратор проверяет организацию и сертифицирует ее в случае удовлетворения требованиям ИСО 9000.

Аудиторы (иногда их называют ассессорами) – это люди, которые приезжают, чтобы осмотреть организацию. Аудитору необходимо пройти курс обучения и сдать сертификационный экзамен на тему, как проводить проверки ИСО 9000. Любой может называть себя аудитором, но только аудиторы, имеющие сертификат на осуществление деятельности, являются легитимными ассессорами ИСО 9000. Регистратор обычно нанимает сертифицированных ассессоров для выполнения аудита в клиентской организации.

Внутреннюю проверку организации потребителем называют аудитом первой стороны, или первого лица (*first-party*). Проверка потребителем системы качества – аудит второй стороны (*second-party*). Когда независимая организация (такая как регистратор) проверяет компанию, это называется аудитом третьей стороны (*third-party*).

Регистрация – это цель аудита третьего лица. Регистрация означает, что третья сторона (регистратор) сертифицировала организацию как удовлетворяющую требованиям ИСО 9000.

Инспектирование – примерно дважды в год сертифицированная или зарегистрированная организация должна пройти инспекцию у регистратора на предмет поддержания соответствия требованиям ИСО 9000. Через три года проводится перепроверка.

Консультант – стороннее лицо, которое предлагается организации в качестве помощника для получения регистрации ИСО 9000.

ИСО 9000 использует уникальную схему наименования документов. Основные положения – документ уровня I. Стандартно выполняемые процедуры – документ уровня II. Рабочие инструкции и регистрация данных по качеству рассматриваются как документ уровня III.

Требования стандарта не являются радикальными. Наоборот, они имеют свойство подстраиваться под существующую форму системы. Стандарты ИСО серии 9000 – гибкие стандарты, позволяющие учитывать специфику различных организаций, т. к. в них предусмотрены дополнения и исключения к требованиям.

Стандарты данной серии устанавливают восемь принципов управления организацией и процессами производства продукции для достижения целей в области качества:

- вся деятельность организации должна быть ориентирована на клиента;
- управляемость и наблюдаемость всех процессов в организации;
- вовлечение и мотивация персонала;
- подходы к управлению, основанные на процессном представлении всех видов производственной деятельности;
- системный подход к управлению;
- непрерывное совершенствование системы менеджмента качества;
- все управленческие решения должны быть основаны на достоверных фактических данных;
- установление взаимовыгодных отношений с поставщиками.

Система менеджмента качества (СМК) на основе стандартов серии ISO 9000 включает:

- обеспечение качества;
- контроль качества;
- планирование качества;
- совершенствование качества.

Для создания СМК необходимо:

- идентифицировать все ключевые процессы организации;
- установить последовательность и взаимосвязь между этими процессами;
- установить критерии и методы контроля параметров процессов;
- обеспечить наличие информации, необходимой для реализации и мониторинга процессов.

Задание 1

Изучение сущности систем менеджмента качества, регламентируемых стандартами ГОСТ Р ИСО 9000.

Используя ГОСТ Р ИСО 9000, указать:

- семь принципов менеджмента качества, лежащих в основе систем менеджмента качества (введение);
- различие между требованиями к системам менеджмента качества и требованиями к продукции; пояснить, какими документами они регламентированы;
- роль высшего руководства в системе менеджмента качества.

Задание 2

Изучение структуры и содержания международных и государственных стандартов ИСО серии 9000.

Изучить пакет МС ISO серии 9000, в отчете отразить в виде схемы структуру действующих международных стандартов на системы менеджмента качества. Используя пакет государственных стандартов ГОСТ Р ИСО серии 9000, указать направленность и содержание каждого из них.

Контрольные вопросы

1 Что представляет собой система менеджмента качества (СМК) на основе стандартов серии ISO 9000: 2015?

2 Сущность процессного подхода к управлению качеством (введение).

3 Используя ГОСТ Р ИСО 9001, опишите модель системы менеджмента качества, основанной на процессном подходе.

9 Лабораторная работа № 9. Разработка программы метрологической аттестации средств измерений

Цель – освоить порядок разработки метрологической аттестации средств измерений.

Теоретические сведения. *Метрологическая аттестация* – это признание средства измерений (испытаний) узаконенным для применения (с указанием его метрологического назначения и метрологических характеристик) на основании тщательных исследований метрологических свойств этого средства. Метрологическая аттестация выполняется органами Государственной метрологической службы (ГМС) или метрологическими службами юридических лиц. Метрологической аттестации могут подвергаться: СИ, не подлежащие государственным испытаниям или утверждению типа органами ГМС; опытные образцы СИ, измерительные приборы, выпускаемые или ввозимые из-за границы в единичных экземплярах или мелкими партиями, измерительные системы и каналы.

На основании метрологической аттестации признают законными уникальные средства измерения и отбираемые из числа рабочих, предназначенные для применения в качестве образцовых.

Каждое средство измерений подвергается метрологической аттестации индивидуально. Основные задачи метрологической аттестации СИ: определение метрологических характеристик СИ и установление их соответствия требованиям нормативной документации; установление перечня метрологических характеристик СИ, подлежащих контролю при поверке; опробование методики поверки.

Метрологическая аттестация проводится по специально разработанной и утвержденной программе. Результаты оформляются в виде протокола опреде-

ленной формы. При положительных результатах выдается свидетельство о метрологической аттестации установленной формы, где указывают метрологические характеристики средства измерения.

Между измерением и испытанием имеется различие: погрешность испытания складывается из погрешности измерения и погрешности воспроизведения режимов испытания. Измерение можно считать частным случаем испытания, при котором условия последнего не представляют интереса. В соответствии с этим существуют различия в аттестации СИ и испытательного оборудования (основные положения и порядок проведения аттестации последнего утверждены ГОСТ Р 8.568–2017 *Аттестация испытательного оборудования. Основные положения*). Основная цель метрологической аттестации испытательного оборудования – подтверждение возможности воспроизведения условий испытаний в пределах допустимых отклонений и установление возможности использования данного оборудования в соответствии с его назначением. Аттестация бывает первичной, периодической и повторной.

Первичная аттестация заключается в экспертизе эксплуатационной и проектной документации, экспериментальном определении технических характеристик испытательного оборудования и подтверждении пригодности его к использованию. Технические и метрологические характеристики, подлежащие определению, выбирают из числа нормированных и установленных в документации. Данные характеристики должны свидетельствовать о возможности оборудования воспроизводить условия испытаний в течение установленного времени. В процессе первичной аттестации устанавливают: возможность воспроизведения внешних воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта испытания, установленных в документах на методики испытаний конкретных видов продукции; отклонения параметров условий испытаний от нормированных значений; степень обеспеченности безопасности персонала и отсутствие вредного воздействия на окружающую среду; перечень характеристик оборудования, которые должны проверяться при периодической аттестации, а также методы, средства и периодичность аттестации.

Периодическую аттестацию проводят в процессе эксплуатации испытательного оборудования в объеме, необходимом для подтверждения соответствия его характеристик требованиям нормативных документов на методики испытаний и эксплуатационных документов, не реже одного раза в пять лет. Результаты аттестации оформляют в виде протокола. При положительных результатах на испытательное оборудование выдается аттестат определенной формы, а также делается запись в эксплуатационных документах. К метрологической аттестации допускаются лица, имеющие специальную подготовку и практический стаж работы в поверочных подразделениях. Аттестация проводится специально создаваемой комиссией из числа высококвалифицированных специалистов-метрологов. Средству измерений присписывается определенный ранг (образцовое, рабочее), а его владельцу дается право применять данное СИ в указанном качестве. Далее путем поверки периодически проверяется, соответствует ли средство измерений установленному ранее рангу, т. е. поверке отводится контрольная функция.

Задание

Ознакомиться с нормативной документацией, регламентирующей метрологическую аттестацию средств измерений; сформулировать требования к разработке, содержанию и оформлению метрологической аттестации на средство измерений согласно нормативной документации по заданию преподавателя.

Порядок выполнения работы.

1 Изучите общие положения метрологической аттестации СИ. Ознакомьтесь с нормативной документацией, регламентирующей их метрологическую аттестацию.

2 Проанализируйте основные требования к проведению метрологической аттестации цифровых средств измерений.

3 Ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1 Что такое метрологическая аттестация? Перечислите основные задачи метрологической аттестации.

2 Кто осуществляет метрологическую аттестацию?

3 На какие средства измерений распространяется метрологическая аттестация?

10 Практическая работа № 10. Схемы сертификации

Цель – закрепить основные теоретические положения по организации сертификации в Российской Федерации; изучить особенности основных схем подтверждения соответствия Российской Федерации.

Задание

Изучить ГОСТ Р 53603–2009 *Оценка соответствия. Схемы сертификации продукции в Российской Федерации*; изучить описание схем подтверждения соответствия. По заданию преподавателя выбрать необходимую схему подтверждения соответствия для конкретной ситуации.

Контрольные вопросы

1 Чем определяется выбор схемы сертификации?

2 Что такое схема сертификации?

4 По какому принципу выбирается схема сертификации?

11 Практическая работа № 11. Основы подтверждения соответствия

Цель – закрепить основные теоретические положения по организации сертификации в РФ.

Сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров.

Сертификат соответствия – документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров.

Подтверждение соответствия – документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров.

Задание

Изучить теоретический материал Закона РФ «О техническом регулировании» и сформулировать ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1 Что понимать под сертификацией продукции? Задачи сертификации.
- 2 Какие стороны участвуют в оценке соответствия?
- 3 Кто заполняет декларацию о соответствии продукции, по чьей инициативе и когда декларация становится документом, подтверждающим соответствие?
- 4 Какая продукция подлежит обязательной сертификации и как поставщик (продавец) узнает, что продукция подлежит обязательной сертификации?
- 5 На каком основании и кто выдает знак соответствия и о чем говорит потребителю наличие его на упаковке продукции или в сопроводительных документах?
- 6 С какой целью и по чьей инициативе проводится добровольная сертификация? Кто выбирает нормативные документы для добровольной сертификации?
- 7 Объяснить, что устанавливает порядок проведения сертификации.
- 8 Сформулируйте принципы сертификации.

Список литературы

- 1 **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.
- 2 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.
- 3 **Правиков, Ю. М.** Метрологическое обеспечение производства: учебное пособие для вузов / Ю. М. Правиков, Г. Р. Муслина. – Москва : КноРус, 2017. – 240 с.
- 4 **ГОСТ 8.010–2013.** Методики выполнения измерений. Общие положения. – Москва: Изд-во стандартов, 2020. – 45 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.