

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

## **МЕТРОЛОГИЯ**

сборник учебно-методических материалов  
для направления подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника

Благовещенск, 2017

Печатается по решению  
Редакционно-издательского совета  
Энергетического факультета  
Амурского государственного университета

Составитель: Скрипко О.В.

Метрология: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки  
13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017. -26  
с.

©Амурский государственный университет, 2017  
©Кафедра автоматизации производственных  
процессов и электротехники, 2017

Содержание

Введение	4
Краткий курс лекций	5
Методические рекомендации к практическим занятиям	15
Методические рекомендации к лабораторным работам	21
Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов	22
Библиографический список	26

## ВВЕДЕНИЕ

*Целью освоения дисциплины «Метрология» является формирование у бакалавров знаний и умений в области метрологии, необходимых для получения достоверной информации о параметрах контролируемых процессов и повышения качества продукции.*

*Задачи дисциплины:*

- изучение основных принципов метрологического обеспечения, основ стандартизации, правила и порядок проведения сертификации;
- формирование представлений об организационных, научных и методических основах метрологического обеспечения, исторических и правовых основах стандартизации и сертификации;
- приобрести навыки основных методов измерений, обработки результатов и оценки погрешностей измерений.

В результате освоения дисциплины студенты должны:

*Знать:*

- терминологию, основные понятия и определения;
- условия работы и требования, предъявляемые к измерительным приборам;
- основы теории измерений;
- классификацию средств измерения и приборов;
- классификацию погрешностей при измерении параметров технологического процесса
- основные методы и методики расчета измерительных средств для контроля за параметрами технологических процессов.

*Уметь:*

- определять метрологические характеристики средств измерений;
- оценивать погрешности результатов измерений;
- осуществить подготовку исходных данных для проектирования систем измерения,
- составлять поверочные схемы и составлять графики поверки приборов и средств контроля

*Владеть:*

- навыками работы по обеспечению правильной передачи размера единиц физических величин во всех звеньях метрологической цепи;
- навыками проведения экспериментов;
- методами прямых измерений в соответствии с руководящим документом РМГ 29-99;
- методами качественной и количественной оценки точности измерений, обработки результатов измерений;
- навыками работы с измерительными приборами, современными техническими и программными средствами автоматизации для решения рассматриваемого круга задач.

## 1. КРАТКИЙ КУРС ЛЕКЦИЙ

### Модуль 1. Теоретические основы метрологии

*Метрология* – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Такое определение дано в Рекомендациях РМГ 29–99, устанавливающих основные термины и определения понятий в области метрологии.

Основное понятие метрологии – измерение. Получение количественной информации о характеристиках свойств объектов и явлений окружающего мира опытным путём (т.е. экспериментально) называется измерением. В отличие от количественной информации, получаемой теоретическим путём, т.е. посредством вычислений и расчётов, такая информация называется измерительной.

Во время измерений проявляются некоторые объективные законы природы. Кроме того, при получении измерительной информации должны соблюдаться определённые правила и нормы, устанавливаемые законодательным путём. Всё это составляет предмет науки об измерениях – метро-логии (от др.-греч. *metron*– мера и *logos*– речь, слово, учение или наука).

Метрология – область знаний и вид деятельности, связанные с измерениями. Объектами метрологии являются единицы величин, средства измерений, эталоны, методики выполнения измерений. Традиционным объектом метрологии являются физические величины.

В зависимости от предмета различают три раздела метрологии: теоретическая (фундаментальная), законодательная и практическая (прикладная) метрология.

*Теоретическая (фундаментальная) метрология* – раздел метрологии, предметом которого является разработка фундаментальных основ метрологии.

*Законодательная метрология* – раздел метрологии, предметом которого является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и необходимой точности измерений в интересах общества.

*Практическая (прикладная) метрология* – раздел метрологии, предметом которого являются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии.

Объектами измерений являются физические величины (ФВ). Документ РМГ 29-99 трактует *физическую величину* как одно из свойств физического объекта, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них. Индивидуальность в количественном отношении понимают в том смысле, что свойство может быть для одного объекта в определенное число раз больше или меньше, чем для другого.

*Основные понятия, принятые в метрологии.*

Измерение – процесс нахождения физической величины опытным путем с помощью средств измерительной техники.

Погрешность измерения – разность между результатом измерения и истинным значением измеряемой величины.

Средство измерения – техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики.

Эталон единицы величины – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины.

*Основные положения теории измерения.*

Измерение – это процесс нахождения физических величин, параметров, характеристики опытным путем с помощью средства измерения. Найденное значение называют – результатом измерения. Измерения по средствам измерительного устройства заключается в сравнении измерительной величины с ее однородной физической величиной принятой за единицу измерения. Результат выражается числом. Измерение проводится различными методами, например: методом непосредственной оценки. В этом методе измерения значение измеренной величины определяют непосредственно по отчетному устройству измерительного прибора предварительного

проградуированного по мере. Т.е. при измерении непосредственной оценки меры участия не происходит, а она передается через предварительно проградуированную оценку.

Используют, также метод сравнения с мерой. В этом методе сравниваются с однородной величиной воспроизводимой мерой, размер которой известен и который определяет результат измерения.

Технические средства измерения, имеющие нормированные метрологические характеристики, оказывающие определенное влияние на результаты и погрешности измерений – называют средством измерения. В зависимости от назначения средство измерения делится на следующие виды:

- мера – средство измерения предназначенная для воспроизведения физической величины данного вида;

- измерительный прибор – средство измерения вырабатывающий сигнал измерительной информации в форме доступной для восприятия.

- измерительный преобразователь – средство измерения вырабатывающий сигнал измерительной информации в форме удобной для передачи дальнейшего преобразования обработки по не подающимся непосредственному восприятию. К ним относятся: усилители, входные и выходные делители, измерительные трансформаторы. Как правило, по своему устройству представляет совокупность измерительных преобразователей называемыми измерительной цепью и вспомогательными средствами измерения (источник питания и т.д.). Измерительные преобразователи, осуществляющие преобразование электрических величин в механическое перемещение – электромеханические, а измерительные приборы построенные на них – электромеханические измерительные приборы.

Единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин, а погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью.

Условием обеспечения единства измерений является:

- представление результатов измерений в узаконенных единицах, которые были бы одними и теми же всюду, где проводятся измерения и используются их результаты;

- погрешность измерений должна быть не выше установленных пределов. Погрешности измерений средства измерений указываются в придаваемом к нему техническом документе – паспорте, ТУ и др.

Главным нормативным актом по обеспечению единства измерений является Закон РФ. В стандартах на методы контроля (испытаний, измерений, анализа) должно быть соблюдено главное условие обеспечения единства измерений – указаны погрешности измерений для заданной вероятности.

*Классификация измерений.*

По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения разделяются на: статические (измеряемая величина остается постоянной во времени) и динамические (измеряемая величина изменяется и является непостоянной во времени).

По способу получения результатов измерений их разделяют на: прямые, косвенные, совокупные, совместные.

Прямые – это измерения, при которых искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных. Косвенные – это измерения, при которых искомую величину определяют на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Совокупные – это производимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомую величину определяют решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

Совместные – это производимые одновременно измерения двух или нескольких не одноименных величин для нахождения зависимостей между ними.

По условиям, определяющим точность результата, измерения делятся на три класса:

- измерения максимально возможной точности, достижимой при существующем уровне техники. К ним относятся эталонные измерения, измерения физических констант;
- контрольно-поверочные измерения, погрешность которых с определенной вероятностью не должна превышать некоторого заданного значения. К ним относятся измерения, выполняемые лабораториями государственного надзора за внедрением и соблюдением стандартов и состоянием измерительной техники и заводскими измерительными лабораториями, которые гарантируют погрешность результата с определенной вероятностью, не превышающей некоторого, заранее заданного значения;
- технические измерения, в которых погрешность результата определяется характеристиками средств измерений.

По способу выражения результатов измерений различают абсолютные и относительные измерения. Абсолютными называются измерения, которые основаны на прямых измерениях одной или нескольких основных величин или на использовании значений физических констант. Относительными называются измерения отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

По степени условной независимости от других величин данной группы ФВ делятся на *основные* (условно независимые), *производные* (условно зависимые) и *дополнительные*. Основные величины выбираются обосновано, но в общем произвольным образом. Производные величины выражаются через основные на основе известных уравнений связи между ними. Совокупность основных и производных единиц ФВ, образованная в соответствии с принятыми принципами, называется системой единиц ФВ. Единица основной ФВ в данной системе является *основной единицей системы*.

Система СИ – единственная система единиц ФВ, которая принята и используется в большинстве стран мира. Система СИ состоит из 7 основных, 2 дополнительных и ряда производных единиц. На территории нашей страны система единиц СИ действует с 1 января 1982 г. в соответствии с ГОСТ 8.417–81 «ГСИ. Единицы физических величин». Она возникла не на пустом месте и является логическим развитием предшествовавших ей систем единиц: СГС (основные единицы: сантиметр – грамм – секунда), МКГСС (основные единицы: метр – килограмм-сила – секунда), МКС (основные единицы: метр – килограмм – секунда) и др.

В названии системы ФВ применяют символы величин, принятых за основные. Например, система величин механики, в которой в качестве основных используются длина (L), масса (M) и время (T), называется системой LMT. Действующая международная система единиц СИ должна обозначаться символами LMTIΘNJ, обозначающими соответственно символы основных величин: длины (L), массы (M) и времени (T), силы электрического тока (I), температуры (Θ), количества вещества (N) и силы света (J).

*Производная единица системы единиц* – это единица производной ФВ системы единиц, образованная в соответствии с уравнением, связывающим ее с основными единицами или же с основными и уже определенными производными единицами.

Единицы ФВ делятся на системные и внесистемные. *Системная единица* – единица ФВ, входящая в одну из принятых систем. Все основные, производные, кратные и дольные единицы являются системными. *Внесистемная единица* – это единица ФВ, не входящая ни в одну из принятых систем единиц.

Качество средств и результатов измерений принято характеризовать, указывая их погрешности. Введение понятия «погрешность» требует определения и четкого разграничения трех понятий: истинного и действительного значения измеряемой ФВ и результата измерения.

*Истинным* называется значение ФВ, идеальным образом характеризующее свойство данного объекта как в количественном, так и в качественном отношении. Оно не зависит от средств нашего познания и является той абсолютной истиной, к которой мы стремимся, пытаясь выразить её в виде числовых значений. На практике это абстрактное понятие приходится заменять понятием «действительное значение».

*Действительным* называется значение ФВ, найденное экспериментально и настолько близкое к истинному, что в поставленной измерительной задаче оно может быть использовано вместо него.

*Результат измерения* представляет собой значение величины, полученное путем измерения.

*Погрешность результата измерения* – это отклонение результата измерения  $X$  от истинного (или действительного) значения  $Q$  измеряемой величины.

Она указывает границы неопределенности значения измеряемой величины. Близость к нулю погрешности результата измерения отражает *точность результата измерений*, которая является одной из характеристик качества измерения. Считают, что чем меньше погрешность измерения, тем больше его точность.

*Погрешность средства измерений* – разность между показанием СИ и истинным (действительным) значением измеряемой ФВ. Она характеризует *точность средства измерений* (характеристику качества СИ, отражающую близость его погрешности к нулю).

Понятия погрешности результата измерения и погрешности средства измерений во многом близки друг к другу и классифицируются по одинаковым признакам.

По *характеру проявления* погрешности делятся на случайные, систематические, прогрессирующие и промахи, или грубые погрешности.

По *способу выражения* различают абсолютную, относительную и приведенную погрешности.

В зависимости от *причин возникновения* различают инструментальные погрешности измерения, погрешности метода измерений, погрешности из-за изменения условий измерения и субъективные погрешности измерения.

По *влиянию внешних условий* различают основную и дополнительную погрешности СИ. *Основная погрешность средства измерений* – погрешность СИ, применяемого в нормальных условиях. Для каждого средства оговариваются условия эксплуатации, при которых нормируется его погрешность. *Дополнительная погрешность средства измерений* – составляющая погрешности СИ, возникающая дополнительно к основной погрешности, вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

В зависимости от *влияния характера изменения измеряемых величин* погрешности СИ делят на статические и динамические. *Статической* называется погрешность средства измерений, применяемого для измерения ФВ, принимаемой за неизменную. *Динамической* называется погрешность СИ, возникающая дополнительно при измерении изменяющейся (в процессе измерений) ФВ. Динамическая погрешность СИ обусловлена несоответствием его реакции на скорость (частоту) изменения измеряемого сигнала.

## **Модуль 2. Метрологические характеристики и основы метрологического обеспечения**

Все измерения выполняются с помощью специальных технических средств с нормированными метрологическими характеристиками, воспроизводящих и хранящих единицу физической величины, размер которой принимается неизменным в пределах установленной погрешности в течение известного интервала времени. Такие технические средства являются средствами измерений. Средство измерений это техническое средство, предназначенное для измерений.

*Классификация средств измерений.*

- Меры предназначены для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров. К мерам относятся гири, концевые меры длины, нормальные элементы (меры ЭДС) и др. Меры, воспроизводящие физическую величину одного размера, называют однозначными. Меры, с помощью которых воспроизводятся физические величины разных размеров, называются многозначными.

- Измерительные преобразователи используются для преобразования измеряемой ве-

личины в другую величину или измерительный сигнал с целью представления измеряемой величины в форме, удобной для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи. Измерительные преобразователи входят в состав измерительных приборов (установок, систем) или применяются вместе с каким-либо средством измерений.

- Измерительные приборы предназначены для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне. Измерительные приборы прямого действия преобразуют измеряемую величину без изменения её рода и отображают её на показывающем устройстве, проградуированном в единицах этой величины (амперметры, вольтметры и др.).
- Измерительные установки и системы представляют собой совокупность функционально объединённых средств измерений, мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств для измерений одной или нескольких физических величин.

#### *Метрологические характеристики средств измерений.*

Метрологическая характеристика средств измерений – это характеристика одного из свойств средства измерения, влияющая на результат измерения и на его погрешность. Для каждого типа средств измерений устанавливаются свои метрологические характеристики. Перечень метрологических характеристик, правила выбора комплекса нормируемых метрологических характеристик для средств измерений и способы их нормирования прописаны в ГОСТ 8.009–84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений».

К метрологическим характеристикам относятся:

- длина деления шкалы, цена деления шкалы;
- градуировочная характеристика – зависимость между значениями величин на выходе и входе средства измерений);
- диапазон показаний – область значений шкалы, которая ограничена конечным и начальным значениями шкалы);
- диапазон измерений – область значений измеряемой величины с нормированными допускаемыми погрешностями средства измерения;
- чувствительность прибора – отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к изменению измеряемой величины (сигнала на входе);
- вариация (нестабильность) показаний прибора – алгебраическая разность между наибольшим и наименьшим результатами измерений при многократном измерении одной и той же величины в неизменных условиях;
- стабильность средства измерений – свойство, выражающее неизменность во времени его метрологических характеристик (показаний).

#### *Классы точности средств измерений.*

Для средств измерений, используемых в повседневной практике, принято деление на классы точности, с помощью которых получают обобщенную метрологическую характеристику. Требования к метрологическим характеристикам прописаны в стандартах на средства измерений конкретного типа. Классы точности присваиваются средствам измерений с учетом результатов государственных приемочных испытаний. Обозначения классов точности наносятся на циферблаты, щитки и корпуса средств измерений, приводятся в нормативно-технических документах.

#### *Погрешность измерений.*

Абсолютная погрешность измерений – это отклонение значений величины, найденной путём её измерения, от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Погрешность прибора – это разность между показанием прибора и истинным (действительным) значением измеряемой величины.

Технической основой обеспечения единства измерений является эталонная база.

**Эталон** – средство измерений (или их комплекс), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме

СИ и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке. Классификация, назначение и общие требования к созданию, хранению и применению устанавливает ГОСТ 8.057-80 «ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные положения».

Перечень эталонов не повторяет перечня принятых ФВ. Для ряда единиц эталоны не создаются. Это происходит в том случае, когда нет возможности непосредственно сравнивать соответствующие ФВ. Например, нет необходимости в эталоне площади, так как она не поддается непосредственному сравнению.

Конструкция эталона, его физические свойства и способ воспроизведения единицы определяются природой данной ФВ и уровнем развития измерительной техники в данной области измерений. Эталон должен обладать, по крайней мере, тремя тесно связанными друг с другом признаками: неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью.

Различают следующие виды эталонов:

*Международный эталон* – эталон, принятый по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами.

*Первичный эталон* – обеспечивает воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью.

*Государственный первичный эталон* – первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства.

*Вторичный эталон* – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы.

*Эталон сравнения* – эталон, применяемый для сличений эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

*Рабочий эталон* – эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим средствам измерений.

*Рабочее средство измерений* – средство измерений, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений.

*Эталонная база страны* – совокупность государственных первичных и вторичных эталонов, являющаяся основой обеспечения единства измерений в стране.

Задача состоит в том, чтобы по полученным экспериментальным путем результатам наблюдений, содержащим случайные погрешности, найти оценку истинного значения измеряемой величины – результат измерения. Будем полагать, что систематические погрешности в результатах наблюдений отсутствуют или исключены.

Оценка параметра называется *точечной*, если она выражается одним числом. Задача нахождения точечных оценок – частный случай статистической задачи нахождения оценок параметров функции распределения случайной величины на основании выборки.

К оценкам, получаемым по статистическим данным, предъявляются требования состоятельности, несмещенности и эффективности. Оценка называется *состоятельной*, если при увеличении числа наблюдений она стремится к истинному значению оцениваемой величины.

Оценка называется *несмещенной*, если ее математическое ожидание равно истинному значению оцениваемой величины. В том случае, когда можно найти несколько несмещенных оценок, лучшей из них считается та, которая имеет наименьшую дисперсию. Чем меньше дисперсия оценки, тем более *эффективной* считают эту оценку.

В практике измерений встречаются различные формы кривых распределения случайных величин, целесообразно классифицировать их следующим образом:

- трапецеидальные, например, равномерное, треугольное (Симпсона);
- экспоненциальные, например, распределение Лапласа, распределение Гаусса (нормальное);
- семейство распределений Стьюдента (предельное распределение семейства законов Стьюдента – распределение Коши);

– двухмодальные, например, дискретное двузначное распределение, арксинусоидальное распределение, остро- и кругло-вершинные двухмодальные распределения.

Учитывая многовариантность подходов к выбору оценок и в целях обеспечения единства измерений, правила обработки результатов наблюдений обычно регламентируются нормативно-техническими документами (стандартами, методическими указаниями, инструкциями). Так, в стандарте на методы обработки результатов прямых измерений с многократными наблюдениями указывается, что приведенные в нем методы обработки установлены для результатов наблюдений, принадлежащих нормальному распределению.

Для количественной оценки случайных погрешностей и установления границ случайной погрешности результата измерения могут использоваться: предельная погрешность, интервальная оценка, числовые характеристики закона распределения. Выбор конкретной оценки определяется необходимой полнотой сведений о погрешности, назначением измерений и характером использования их результатов. Комплексы оценок показателей точности установлены стандартами. В метрологической практике используют главным образом *квантильные оценки* доверительного интервала. Под  $P$ -процентным квантилем  $x_P$  понимают абсциссу такой вертикальной линии, слева от которой площадь под кривой плотности распределения равна  $P$  %. Иначе говоря, *квантиль* – это значение случайной величины (погрешности) с заданной доверительной вероятностью  $P$ .

Так как квантили, ограничивающие доверительный интервал погрешности могут быть выбраны различными, то при оценивании случайной погрешности доверительными границами необходимо одновременно указывать значение принятой доверительной вероятности (например,  $\pm 0,3$  В при  $P = 0,95$ ).

*Грубая погрешность, или промах*, – это погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда. Источником грубых погрешностей нередко бывают ошибки, допущенные оператором во время измерений.

Прямые многократные измерения делятся на равноточные и неравноточные.

*Равноточными* называются измерения, которые проводятся средствами измерений одинаковой точности по одной и той же методике при неизменных внешних условиях. При равноточных измерениях СКО результатов всех рядов измерений равны между собой.

Задача обработки результатов многократных измерений заключается в нахождении оценки измеряемой величины и доверительного интервала, в котором находится ее истинное значение. Обработка должна проводиться в соответствии с ГОСТ 8.207–76 «ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Общие положения».

*Единство измерений.*

Единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в РФ единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы. Правовую основу единства измерений обеспечивает законодательная метрология со своими сводами государственных актов и нормативно-технических документов различного уровня, регламентирующими метрологическими правилами, требованиями и нормами.

*Поверка средств измерений.*

Поверка средства измерений представляет собой совокупность операций, выполняющихся органами государственной метрологической службы для определения и подтверждения соответствия средства измерений регламентированным техническим требованиям. Средства измерений, подлежащие метрологическому контролю и надзору, подвергаются поверке при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту, при продаже и выдаче на прокат, а также при эксплуатации. Поверку средств измерений осуществляют органы государственной метрологической службы (ГМС), государственные научные метрологические центры (ГНМЦ), а также аккредитованные метрологические службы юридических лиц. Поверка проводится физическим лицом, аттестованным в качестве поверителя по нормативным

документам, утверждаемым по результатам испытаний с целью утверждения типа. Если средство измерений по результатам поверки признано пригодным к применению, то на него и(или) техническую документацию наносится оттиск поверительного клейма и(или) выдаётся «Свидетельство о поверке». Если по результатам поверки средство измерений признано не пригодным к применению, оттиск поверительного клейма и (или) «Свидетельство о поверке» аннулируются и выписывается «Извещение о непригодности» или делается соответствующая запись в технической документации.

Существуют следующие *виды поверок*. Первичная поверка проводится для средств измерений утверждённых типов при выпуске их из производства, после ремонта, при ввозе из-за границы. При утверждении типа средств измерений единичного производства на каждое из них оформляется сертификат об утверждении типа; первичную поверку данные средства измерений не проходят. Периодическая поверка проводится для средств измерений, которые находятся в эксплуатации, через определённые межповерочные интервалы. Необходимость поверки обусловлена возможностью утраты измерительным средством метрологических показателей из-за временных и других воздействий.

Периодичность поверки зависит от временной нестабильности метрологических характеристик, интенсивности эксплуатации и важности результатов, получаемых с помощью средств измерений.

Внеочередная поверка проводится:

- при необходимости подтверждения пригодности средства измерений к применению;
- в случае применения средства измерений в качестве комплектующего по истечении половины межповерочного интервала;
- в случае повреждения клейма или утери свидетельства о поверке;
- при вводе в эксплуатацию после длительной консервации (более одного межповерочного интервала);
- при отправке средств измерений потребителю после истечения половины межповерочного интервала.

Экспертная поверка проводится при возникновении разногласий по вопросам, относящимся к метрологическим характеристикам, исправности средств измерений и пригодности их к применению.

Инспекционная поверка выполняется в рамках государственного надзора или ведомственного контроля, для контроля качества первичных или периодических поверок и определения пригодности средств измерений к применению.

*Калибровка средств измерений.*

Контроль средств измерений на предмет их пригодности к применению в мировой практике осуществляется двумя основными видами: поверкой и калибровкой.

Калибровка средства измерений – это совокупность операций, выполняемых калибровочной лабораторией с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и(или) пригодности средства измерений к применению в сферах, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору в соответствии с установленными требованиями.

Результаты калибровки средств измерений удостоверяются калибровочным знаком, наносимым на средства измерений, или сертификатом о калибровке, а также записью в эксплуатационных документах. Поверку может выполнять орган государственной метрологической службы, а калибровку – любая аккредитованная и не аккредитованная организации.

*Методы поверки (калибровки) и поверочные схемы.*

В настоящее время применяются четыре метода поверки (калибровки) средств измерений:

1. Непосредственное сличение с эталоном. Этот метод широко применяется для различных средств измерений в таких областях, как электрические и магнитные измерения, для определения напряжения, частоты и силы тока.

2. Сличение с помощью компаратора. Метод основан на использовании прибора сравнения, с помощью которого сличаются поверяемое (калибруемое) и эталонное средства измере-

ния.

3. Прямые измерения величины. Метод применяется, когда имеется возможность сравнить испытуемый прибор с эталонным в определённых пределах измерений.

4. Косвенные измерения величины. Метод используется, когда действительные значения измеряемых величин невозможно определить прямыми измерениями либо когда косвенные измерения оказываются более точными, чем прямые. Этим методом определяют вначале не искомую характеристику, а другие, связанные с ней определённой зависимостью. Искомая характеристика определяется расчётным путём.

*Поверочная схема* – это утверждённый в установленном порядке документ, регламентирующий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от государственного эталона или исходного образцового средства измерений рабочим средствам измерений. Поверочная схема может быть: государственной и локальной.

Государственная поверочная схема устанавливает передачу информации о размере единицы в масштабах страны. Она возглавляется государственными или специальными эталонами. Государственные поверочные схемы разрабатываются научно-исследовательскими институтами Госстандарта РФ, держателями государственных эталонов.

Локальные поверочные схемы предназначены для метрологических служб министерств (ведомств) и юридических лиц. Локальная поверочная схема уточняет требования государственной схемы применительно к специфике данного ведомства.

### **Модуль 3. Структура и функции метрологической службы**

*Государственная система обеспечения единства измерений* – это система обеспечения единства измерений в стране, реализуемая, управляемая и контролируемая федеральным органом исполнительной власти по метрологии – Госстандартом России.

Деятельность по обеспечению единства измерения (ОЕИ) направлена на охрану прав и законных интересов граждан, установленного правопорядка и экономики путем защиты от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений во всех сферах жизни общества на основе конституционных норм, законов, постановлений правительства РФ и НД.

Цель государственной системы обеспечения единства измерений – создание общегосударственных правовых, нормативных, организационных, технических и экономических условий для решения задач по обеспечению единства измерений и предоставление всем субъектам деятельности возможности оценивать правильность выполняемых работ.

*Подсистемы ГСИ:*

1. Правовая подсистема – комплекс взаимосвязанных законодательных и подзаконных актов, объединенных общей целевой направленностью и устанавливающих согласованные требования к объектам деятельности по ОЕИ.

2. Техническая подсистема представлена совокупностью: межгосударственных, государственных эталонов, эталонов единиц величин и шкал измерений; стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов; стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов; средств измерений и испытательного оборудования, необходимых для осуществления метрологического контроля и надзора; специальных зданий и сооружений для проведения высокоточных измерений в метрологических целях; научно-исследовательских, эталонных, испытательных, калибровочных и измерительных лабораторий.

3. Организационная подсистема представлена метрологическими службами.

*Понятие о метрологической службе.*

**ЗАКОН РФ от 27.04.93 N 4871-I «ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ»**

Настоящий Закон устанавливает правовые основы обеспечения единства измерений в Российской Федерации, регулирует отношения государственных органов управления Российской Федерации с юридическими и физическими лицами по вопросам изготовления, выпуска, эксплуатации, ремонта, продажи и импорта средств измерений и направлен на защиту прав и

законных интересов граждан, установленного правопорядка и экономики Российской Федерации от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений.

Статья 13. Сферы распространения государственного метрологического контроля и надзора. Согласно статье 13, вышеназванного закона обеспечение единства измерений обеспечивается следующими субъектами метрологии: Государственной метрологической службой (ГМС); метрологическими службами федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц (МС).

Единство измерений обеспечивается следующими субъектами метрологии:

1. Государственной метрологической службой (ГМС).

2. Метрологическими службами федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц (МС).

В ГМС входят:

- подразделения центрального аппарата Госстандарта России, осуществляющие функции планирования, управления и контроля на межотраслевом уровне;

- государственные научные метрологические центры;

- органы ГМС в субъектах РФ (на территориях республик в составе РФ, автономной области, автономных округов, краев, областей, округов и городов) – ЦСМ.

В России функционирует более 100 ЦСМ (соответственно их метрологических подразделений), которые выполняют функции региональных органов ГМС на территориях субъектов РФ, городов Москвы и Санкт-Петербурга.

Госстандарт осуществляет методическое руководство тремя государственными справочными службами:

1. Государственной службой времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ).

2. Государственной службой стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО)

3. Государственной службой стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД).

Метрологические службы федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц могут создаваться в министерствах (ведомствах), организациях, на предприятиях и в учреждениях, являющихся, юридическими лицами для выполнения работ по обеспечению единства и требуемой точности измерений, осуществления метрологического контроля и надзора.

Государственные органы управления Российской Федерации, а также предприятия, организации, учреждения, являющиеся юридическими лицами, создают в необходимых случаях в установленном порядке метрологические службы для выполнения работ по обеспечению единства и требуемой точности измерений и для осуществления метрологического контроля и надзора.

При выполнении работ в сферах, предусмотренных статьей 13 настоящего Закона, создание метрологических служб или иных организационных структур по обеспечению единства измерений является обязательным.

Права и обязанности метрологических служб определяются положениями о них, утверждаемыми руководителями государственных органов управления Российской Федерации или юридических лиц в порядке, устанавливаемом Правительством Российской Федерации.

Метрологический контроль и надзор осуществляется метрологическими службами юридических лиц путем:

- калибровки средств измерений;

- надзора за состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, применяемыми для калибровки средств измерений, соблюдением метрологических правил и норм, нормативных документов по обеспечению единства измерений;

- выдачи обязательных предписаний, направленных на предотвращение, прекращение или устранение нарушений метрологических правил и норм;
- проверки своевременности представления средств измерений на испытания в целях утверждения типа средств измерений, а также на поверку и калибровку.

*Метрологическая служба предприятия* создается для организации и проведения деятельности предприятия по обеспечению единства, точности и достоверности проводимых измерений как важнейшего условия реализации требований по безопасности и качеству к производимой продукции, оказываемым услугам, проводимым работам

В целях определения критериев результативности измерений и их выполнения метрологическая служба предприятия системно решает следующие задачи:

Трансформирование требований к безопасности и качеству продукции и технологий в требования к точности измерений.

Установление перечня важнейших измерений, за результативность которых отвечает метрологическая служба.

Определение необходимого состава измерительного оборудования и подтверждение с его помощью достижения поставленных требований к точности измерений

Реализация управления процессами измерений в соответствии с принятыми на предприятии методами управления и показателями результативности процессов.

Метрологическая служба предприятия независимо от форм собственности включает отдел (службу) главного метролога и (или) другие подразделения и создается для выполнения задач по обеспечению единства измерений и метрологическому обеспечению исследований, разработки, испытаний и эксплуатации продукции или иных областей деятельности, закрепленных за предприятием.

В составе метрологической службы предприятия могут создаваться самостоятельные калибровочные лаборатории, которые осуществляют калибровку средств измерений для собственных нужд или других предприятий.

Метрологическая служба предприятия проводит свою работу в тесном взаимодействии со структурными подразделениями предприятия.

Основными задачами метрологической службы предприятия являются:

1. Обеспечение единства и требуемой точности измерений, повышение уровня метрологического обеспечения производства.
2. Внедрение в практику современных методов и средств измерений, направленное на повышение уровня научных исследований, эффективности производства, технического уровня и качества продукции.
3. Организация и проведение в установленном порядке калибровки и ремонта средств измерений, находящихся в эксплуатации, современное представление средств измерений на поверку.
4. Проведение в установленном порядке метрологической аттестации методик выполнения измерений, а также участие в аттестации средств испытаний и контроля.
5. Проведение метрологической экспертизы технических заданий, проектной, конструкторской и технологической документации, проектов стандартов и других нормативных документов.
6. Проведение работ по метрологическому обеспечению подготовки производства.
7. Участие в аттестации испытательных подразделений, в подготовке к аттестации производств и сертификации систем качества.
8. Осуществление метрологического надзора за состоянием и применением средств измерений, эталонами единиц величин, применяемыми для калибровки средств измерений, соблюдением метрологических правил и норм, нормативных документов по обеспечению единства измерений.
9. Формирование и постоянное ведение банка данных о состоянии и уровне метрологического обслуживания, организация поверочных работ на взаимной основе с органами Государственной метрологической службы.

Положение о метрологической службе предприятия разрабатывается на основе устава предприятия и утверждается руководителем предприятия.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Задачей практических занятий является закрепление знаний, полученных на лекциях, а также выработки практических навыков поиска и применения информации, необходимой инженеру в процессе его деятельности. При решении задач обращается внимание на логику решения, на правильность используемых методов. Далее проводится анализ полученного решения, результат сопоставляется с реальными объектами, что вырабатывает у студентов инженерную интуицию.

К выполнению заданий следует приступать после прочтения теоретического материала, изложенного на лекциях в рекомендуемой литературе.

### Тема 1. Физические величины и их измерение

Физическая величина – это свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта, т.е. чтобы определить физическую величину, ее надо измерить.

Измерение – это нахождение значения физической величины опытным путем, как правило, с помощью специальных технических средств. Являясь одним из способов познания природы, измерения содействуют научным открытиям и их внедрению в практику. Изучение явлений природы, отыскание законов, которым эти явления подчинены, связаны с измерениями и сводятся в конечном итоге к определению количественных отношений, через которые вскрываются и качественные стороны изучаемых предметов и явлений. Как писал английский ученый В. Кельвин: «Каждая вещь известна лишь в той степени, в какой ее можно измерить».

#### Решить задачи по вариантам

Примечание: использовать материал лекции: «Метрология: теории и средства измерений».

- Рассмотрим понятия: вкус, масса, запах, эстетичность, скорость, давление. Какие из этих понятий должны быть отнесены к свойствам, а какие к физическим величинам, характеризующим свойства?

- Сформулируйте различие между рядами величин: Вариант 1 – 1; 3; 0,5 и 10 и 1 кг; 3 мин; 0,5 л; 10 см. Вариант 2 – 0,3; 2; 4 и 9 и 0,3 кг; 2 мин; 4 л; 9 см. Вариант 3 – 1; 5; 0,7 и 8 и 1 кг; 5 мин; 0,7 л; 8 см. Вариант 4 – 3; 5; 0,3 и 7 и 3 кг; 5 мин; 0,3 л; 7 см. Вариант 5 – 2; 3; 0,1 и 5 и 2 кг; 3 мин; 0,1 л; 5 см.

- С какими единицами физических величин осуществлялось сравнение объектов, если в результате измерений были получены следующие значения:

Вариант 1 – 1 г; 10 Н; 3 Тл; 20 кг; 5 А; 0,1 В ?

Вариант 2 – 2 г; 20 Н; 4 Тл; 30 кг; 6 А; 0,2 В ?

Вариант 3 – 3 г; 30 Н; 5 Тл; 40 кг; 7 А; 0,3 В ?

Вариант 4 – 4 г; 40 Н; 6 Тл; 50 кг; 8 А; 0,4 В ?

Вариант 5 – 5 г; 50 Н; 7 Тл; 60 кг; 9 А; 0,5 В ?

- Примените другие единицы для выражения результатов измерений, приведенных в предыдущей задаче (каждый свой вариант). Как при этом изменится физический размер величины и ее числовое значение?

- Проанализируйте основное уравнение измерения  $Q = nU$ , где  $Q$  – измеряемая физическая величина,  $U$  – единица измеряемой физической величины,  $n$  – отношение измеряемой величины к единице физической величины, на примере длины отрезка прямой в

Вариант 1 – 5 см с помощью линейки, имеющей деления в сантиметрах и миллиметрах.

Вариант 2 – 6 см с помощью линейки, имеющей деления в сантиметрах и миллиметрах.

Вариант 3 – 7 см с помощью линейки, имеющей деления в сантиметрах и миллиметрах.

Вариант 4 – 8 см с помощью линейки, имеющей деления в сантиметрах и миллиметрах.

Вариант 5 – 9 см с помощью линейки, имеющей деления в сантиметрах и миллиметрах.

- Выразите размерность математического определения дальности полета снаряда.
- На примере существующих единиц времени, кратных основной единице – секунде,

покажите сохраняемость размерности – качественной характеристики и изменяемость размера – количественной характеристики.

### **Контрольные вопросы**

Что называется физической величиной (ФВ) привести примеры физических величин.

Что является важным отличительным признаком измеряемых ФВ?

Какие характеристики имеют ФВ?

Как можно качественно различить измеряемую ФВ?

Что является количественной характеристикой измеряемой ФВ?

## **Тема 2. Единицы и системы единиц физических величин**

### **Решить задачи.**

Оцените недостатки английской «системы» единиц физических величин:

#### *Единицы длины*

1 ярд = 3 фута

1 фут = 12 дюймов

1 миля = 5280 футов

1 миля = 1760 ярдов

#### *Единицы объема для жидкостей*

1 галлон = 4 кварты

1 галлон = 231 куб. дюйм

#### *Единицы веса и массы*

1 фунт = 16 унций

1 тонна = 2000 фунтов

Обязателен ли был выбор основной единицы длины – метр? На чем отразится в первую очередь выбор другой единицы в качестве основной, например, аршина, дюйма, мили и т.д.?

Основной единицей для электрических величин в Международной системе единиц физических величин является ампер (А). Какая зависимость определяет производную единицу электрического напряжения – вольт (В)?

Рациональный способ изображения больших и малых числовых значений предполагает в качестве кратных единиц применение единиц от  $10^2$  (гекто-) до  $10^{18}$  (экса-), а дольных от  $10^{-1}$  (деци-) до  $10^{-18}$  (атто-). На какую единицу физической величины это правило не распространяется?

Что больше микрофард или аттофард?

При чтении иностранного технического журнала Вам встретились обозначения в %, ‰, ppm. Расшифруйте их.

Напишите формулы размерности, выразите через основные и дополнительные единицы СИ и приведите наименования единиц следующих электрических величин: 1) частоты; 2) мощности; 3) энергии.

В каком соотношении должны бы были находиться миллиграмм и микрокилограмм, если бы приставки давались килограмму?

Укажите на допущенные ошибки в записи результатов измерений: 1000кВт; 5°, 758.

По размерности и выражению через основные и дополнительные единицы определите какие это единицы физических величин: 1)  $L^2 M T^{-2}$ ;  $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$ ; 2)  $L T^{-1}$ ; м/с; 3)  $L T^{-2}$ ; м/с<sup>2</sup>.

Какие единицы массы временно допускаются к применению и в каких областях человеческой деятельности?

### Тема 3. Выявление и исключение грубых погрешностей (промахов)

Грубые погрешности измерений (промахов) могут сильно исказить  $x$ , но и доверительный интервал, поэтому их исключение из серии измерений обязательно. Обычно они сразу видны в ряду полученных результатов, но в каждом конкретном случае это необходимо доказать. Существуют ряд критериев для оценки промахов.

#### Решить задачу.

1. Измерение силы тока дало следующие результаты: 10,07; 10,08; 10,10; 10,12; 10,13; 10,15; 10,16; 10,17; 10,20; 10,40 А. Необходимо проверить, не является ли промахом значение 10,40 А?

#### Контрольные вопросы

Что называется погрешностью измерения?

Какие причины возникновения грубой погрешности (промаха)?

Как можно исключить грубые погрешности?

Когда можно применять критерий Романовского для оценки грубых промахов?

Когда применяют критерий Шовине?

### Тема 4. Расчет методических и инструментальных погрешностей измерения напряжения

#### Решить задачу по вариантам.

К зажимам цепи, состоящей из двух последовательно соединенных резисторов с сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$  приложено напряжение  $U$ . Для измерения напряжения на участке  $ab$  в цепь параллельно резистору  $R_1$  сначала включается электромеханический аналоговый вольтметр с измерительным механизмом магнитоэлектрической системы (магнитоэлектрический вольтметр), а затем цифровой вольтметр.

#### Задание:

- Определить относительную методическую погрешность измерения напряжения на резисторе  $R_1$ , обусловленную подключением магнитоэлектрического вольтметра к зажимам  $a$  и  $b$ . Объяснить, от чего в данном случае зависит методическая погрешность, и каким образом можно сделать эту погрешность меньше.
- Определить наибольшую допустимую погрешность измерения, обусловленную основной погрешностью магнитоэлектрического вольтметра (классом точности).
- Рассчитать абсолютные погрешности измерения: методическую, инструментальную.
- Записать результат измерения, округлив по правилам рассчитанную абсолютную погрешность и показания вольтметра магнитоэлектрической системы.
- Для указанного в задании типа цифрового вольтметра выписать из справочника его технические характеристики:
  - тип прибора;
  - класс точности;
  - предельное значение поддиапазона напряжения, наиболее подходящего для измерения напряжения на  $R_1$ ;
  - входное сопротивление прибора, соответствующее выбранному поддиапазону;
  - формулу для расчета максимальной относительной погрешности.

### Тема 5. Расчет методических и инструментальных погрешностей измерения сопротивлений методом амперметра и вольтметра

#### Решить задачу по вариантам

С помощью метода амперметра и вольтметра измерены прямое и обратное сопротивления диода в номинальном режиме. Определить методические и инструментальные погрешности измерения.

#### **Задание**

- Рассчитать по показаниям приборов измеренное значение прямого сопротивления диода.
- Подобрать по справочнику измерительные приборы  $A_1$  и  $V_1$ , подходящие для измерения заданных значений тока и напряжения ( $I_{ПП}$ ,  $U_{ПП}$ ). Для каждого прибора указать: тип, систему, предел измерения, класс точности, сопротивление (или напряжение при номинальном токе для амперметра, ток полного отклонения для вольтметра).
- Изобразить схему цепи для измерения прямого сопротивления, обеспечивающую минимальную методическую погрешность. Цепь должна состоять из источника постоянного тока (произвольного) с указанием полярности, амперметра  $A_1$ , вольтметра  $V_1$  и диода (полярность включения диода должна соответствовать прямому смещению). Обосновать выбор схемы включения амперметра и вольтметра, сравнив измеренное значение прямого сопротивления с сопротивлением выбранных амперметра и вольтметра.
- Рассчитать действительное значение прямого сопротивления диода в соответствии с выбранной схемой включения приборов.
- Определить относительную инструментальную погрешность косвенного измерения прямого сопротивления диода, обусловленную классами точности примененных амперметра  $A_1$  и вольтметра  $V_1$ .
- Записать результат косвенного измерения прямого сопротивления диода в виде, предварительно рассчитав абсолютную инструментальную погрешность.
- Рассчитать измеренное значение обратного сопротивления диода.
- Подобрать по справочнику амперметр и вольтметр  $A_2$  и  $V_2$ .
- Изобразить схему цепи для измерения обратного сопротивления, обеспечивающую минимальную методическую погрешность. Полярность включения диода должна соответствовать обратному смещению. Обосновать выбор схемы включения амперметра и вольтметра, сравнив измеренное значение обратного сопротивления с сопротивлением выбранных амперметра и вольтметра.
- Рассчитать действительное значение обратного сопротивления диода в соответствии с выбранной схемой включения приборов.
- Определить относительную методическую погрешность измерения обратного сопротивления диода.
- Определить относительную инструментальную погрешность косвенного измерения сопротивления, обусловленную классами точности примененных амперметра  $A_2$  и вольтметра  $V_2$ .
- Записать результат косвенного измерения обратного сопротивления диода, предварительно рассчитав абсолютную инструментальную погрешность.
- Перечислить достоинства и недостатки косвенного измерения сопротивлений диода методом амперметра и вольтметра в сравнении с другими методами измерения сопротивлений.

#### **Тема 6. Обработка результатов многократных равноточных измерений. Определение случайной погрешности измерений**

##### **Решить задачу по вариантам.**

С помощью моста постоянного тока произведено 20 равноточных измерения сопротивления резистора  $R_j$ . Систематические погрешности в приведенном ряду отсутствуют, а случайные погрешности распределены по нормальному закону (закону Гаусса). Требуется выполнить обработку результатов многократных равноточных измерений.

#### **Задание**

- Вычислить среднее арифметическое значение ряда отдельных измерений  $RCP$  (Ом) (математическое ожидание, результат измерения).
- Рассчитать остаточные погрешности.
- Рассчитать среднюю квадратическую погрешность результатов единичных измерений в данном ряду.
- Проверить исходные данные на наличие грубых погрешностей (промахов). В случае их обнаружения исключить результаты измерения с грубой погрешностью, и провести вновь расчет для нового значения числа измерений.
- Рассчитать среднюю квадратическую погрешность  $S$  (Ом) среднего арифметического.
- Рассчитать доверительный интервал при заданной доверительной вероятности.
- Построить для ряда результатов, не содержащего промахов, гистограмму распределения остаточных (случайных) погрешностей. В этой же системе координат, для сравнения, построить кривую распределения плотности вероятности по нормальному закону.
- Сделать вывод о соответствии реального закона распределения случайной погрешности (представленного в виде гистограммы) нормальному закону распределения (закону Гаусса).

## **Тема 7. Измерение токов, напряжений и мощности цепи переменного тока с использованием измерительных трансформаторов**

### **Решить задачу по вариантам:**

- Нарисовать схему включения через измерительные трансформаторы приборов для измерения тока  $I_I$ , напряжения  $U_I$  и активной мощности  $P_I$  (в однофазной цепи переменного тока частотой 50 Гц).
- Выбрать по справочнику трансформатор тока и амперметр, трансформатор напряжения и вольтметр, обеспечивающие измерение с относительными погрешностями. Определить коэффициенты трансформации измерительных трансформаторов и показания приборов.
- Выбрать по справочнику ваттметр для измерения активной мощности. Указать цену деления шкалы прибора (для всех вариантов количество делений шкалы выбираемого ваттметра равно 150). Определить показание ваттметра.
- Определить цену деления и показание ваттметра с учетом коэффициентов трансформации выбранных измерительных трансформаторов. Сравнить показание с исходными данными ( $P_I$ ).
- Объяснить причины, вследствие которых у измерительных трансформаторов тока и напряжения наблюдаются погрешность тока (или напряжения) и угловая погрешность. Указать, при измерении каких величин угловая погрешность трансформаторов влияет на результат, а каких – нет.

## **Тема 8. Измерение активной мощности трехфазной цепи методом двух ваттметров. Определение погрешности трехфазного счетчика активной энергии**

### **Решить задачу по вариантам:**

В симметричной трехфазной цепи с линейным напряжением  $U_L$  и линейным током  $I_L$  активная мощность измеряется с помощью двух одинаковых ваттметров  $PW1$  и  $PW2$ . В эту же цепь включен двухэлементный счетчик  $PI$  активной энергии.

Указать, в каких случаях можно, а в каких нельзя применять методы одного, двух или трех ваттметров для измерения мощности в трехфазной цепи.

Примечание: следует рассмотреть случаи трехпроводной и четырехпроводной трехфазной цепи, симметричной и несимметричной нагрузки и симметричного и несимметричного трехфазного генератора. Ответы на вопрос (можно/нельзя) для каждого случая записать в таблицу.

- Нарисовать векторную диаграмму напряжений и токов трехфазной цепи с нагрузкой. Определить и выделить на диаграмме векторы напряжения и тока, под действием которых находятся параллельные и последовательные цепи ваттметров (для схемы включения, соответствующей варианту задания).
- Записать выражения для расчетов показаний ваттметров PW1 и PW2.
- Построить графики показаний ваттметров в функции от угла и активной мощности трехфазной цепи.
- Считая, что цена деления у обоих ваттметров одинакова, по заданным отклонениям указателей ваттметров  $n_1$  и  $n_2$ . Построить векторную диаграмму трехфазной цепи с учетом полученного значения угла. Определить активную мощность нагрузки трехфазной цепи.
- Рассчитать по показаниям ваттметров с использованием определенного значения угла и его знака активную и реактивную мощности трехфазной цепи.
- Определить относительную погрешность счетчика P1, если его передаточное число равно  $A$ , а диск счетчика сделал  $N$  оборотов за время  $t$ . Время и определенную по показаниям ваттметров мощность использовать для нахождения действительного значения энергии. Сделать вывод о соответствии счетчика указанному классу точности – 2,5.

## **Тема 9. Изучение Федерального Закона РФ «Об обеспечении единства измерений»**

### **Выполнить задание:**

1. Рассмотреть структуру и содержание Закона РФ № 184.
2. Изучить ФЗ № 184 и ответить на поставленные вопросы:
  - Сфера применения закона о техническом регулировании.
  - Определение понятий «техническое регулирование» и «технический регламент».
  - Содержание и применение технических регламентов.
  - Порядок разработки технических регламентов.
  - Определение понятий «стандарт» и «стандартизация» и их толкование.
  - Основные правила разработки и утверждения национальных стандартов.
  - Порядок разработки и утверждения стандартов организации.
  - Определение понятий «подтверждение соответствия» и «сертификация». Их различие.
  - Формы подтверждения соответствия.
  - Порядок добровольного подтверждения соответствия.
  - Порядок обязательного подтверждения соответствия.
  - Организация обязательной сертификации.
  - Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий.

## **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ**

Тема 1. Вводный инструктаж, техника безопасности, предварительная подготовка к выполнению лабораторных работ

Тема 2. Электрические измерения цифровыми мультиметрами

Тема 3. Изучение приборов магнитоэлектрической системы

Тема 4. Измерение постоянного тока и напряжения

Тема 5. Измерение переменного тока и напряжения

Тема 6. Измерение активной и реактивной мощности при различных видах нагрузки

Тема 7. Измерение коэффициента мощности при различных видах нагрузки

Тема 8. Измерение сопротивления косвенным методом

Тема 9. Измерение ёмкости мостом переменного тока

Лабораторные работы проводятся с использованием типового комплекта учебного оборудования «Электрические измерения и основы метрологии». Данное оборудование обеспечено методическими рекомендациями к выполнению работ, в которых подробно изложены:

цель лабораторных работ, применяемое оборудование, краткие теоретические сведения, правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ, порядок проведения работы, обработка и анализ эксперимента, план составления отчета и контрольные вопросы.

#### 4 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа представляет собой особую, высшую степень учебной деятельности. Она обусловлена индивидуальными психологическими различиями обучающегося и личностными особенностями и требует высокого уровня самосознания, рефлексивности. Самостоятельная работа может осуществляться как во внеаудиторное время (дома, в лаборатории), так и на аудиторных занятиях в письменной или устной форме.

Самостоятельная работа обучающихся является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, в том числе с использованием автоматизированных обучающих систем, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям, зачетам и экзаменам. Организуется, обеспечивается и контролируется данный вид деятельности студентов соответствующими кафедрами.

Самостоятельная работа предназначена не только для овладения каждой дисциплиной, но и для формирования навыков самостоятельной работы вообще, в учебной, научной, профессиональной деятельности, способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решить проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т. д. Значимость самостоятельной работы выходит далеко за рамки отдельного предмета, в связи с чем выпускающие кафедры должны разрабатывать стратегию формирования системы умений и навыков самостоятельной работы. При этом следует исходить из уровня самостоятельности абитуриентов и требований к уровню самостоятельности выпускников, с тем чтобы за весь период обучения достаточный уровень был достигнут.

При проведении самостоятельной работы, связанной с проработкой теоретического материала, студентам предлагается законспектировать рассматриваемый вопрос, в случае необходимости задать возникшие вопросы на практическом занятии (лабораторной работе или на консультации).

При изучении дисциплины «Метрология» практикуются следующие виды и формы самостоятельной работы студентов:

- выполнение практических работ;
- подготовка к устному опросу, к дискуссии;
- подготовка к тестированию;
- подготовка реферата;
- подготовка к письменной контрольной работе;

Самостоятельная работа тесно связана с контролем (контроль также рассматривается как завершающий этап выполнения самостоятельной работы), при выборе вида и формы самостоятельной работы следует учитывать форму контроля.

Формы контроля при изучении дисциплины «Метрология»:

- контрольная работа;
- письменная работа (реферат);
- тестирование.

Для организации самостоятельной работы необходимы следующие условия:

- готовность студентов к самостоятельному труду;
- наличие и доступность необходимого учебно-методического и справочного материала;
- консультационная помощь.

Самостоятельная работа может проходить в лекционном кабинете, лаборатории, компьютерном зале, библиотеке, дома. Самостоятельная работа тренирует волю, воспитывает работоспособность, внимание, дисциплину и т.д.

*Рекомендации по организации аудиторной самостоятельной работы.*

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Основными видами аудиторной самостоятельной работы являются:

выполнение практических работ по инструкциям; работа с литературой и другими источниками информации, в том числе электронными; само- и взаимопроверка выполненных заданий;

Выполнение практических работ осуществляется на практических занятиях в соответствии с графиком учебного процесса. Работа с литературой, другими источниками информации, в т.ч. электронными может реализовываться на лекционных и практических занятиях. Данные источники информации могут быть представлены на бумажном и/или электронном носителях, в том числе, в сети Internet. Преподаватель формулирует цель работы с данным источником информации, определяет время на проработку документа и форму отчетности.

Само- и взаимопроверка выполненных заданий чаще используется на лекционном, практическом занятии и имеет своей целью приобретение таких навыков как наблюдение, анализ ответов сокурсников, сверка собственных результатов с эталонами.

*Рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы.*

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

При предъявлении видов заданий на внеаудиторную самостоятельную работу рекомендуется использовать дифференцированный подход к уровню подготовленности обучающегося. Перед выполнением внеаудиторной самостоятельной работы преподаватель проводит консультацию с определением цели задания, его содержания, сроков выполнения, ориентировочного объема работы, основных требований к результатам работы, критериев оценки, форм контроля и перечня литературы. В процессе консультации преподаватель предупреждает о возможных типичных ошибках, встречающихся при выполнении задания.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня подготовленности обучающихся.

Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы могут быть:

– для овладения знаниями: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы); составление плана текста; графическое изображение структуры текста; конспектирование текста; выписки из текста; работа со словарями и справочниками; учебно-исследовательская работа; использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и Интернет-ресурсов и др.;

– для закрепления и систематизации знаний: работа с конспектом лекции (обработка текста); повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио- и видеозаписей); составление плана и тезисов ответа; составление таблиц, глоссария для систематизации учебного материала; изучение словарей, справочников; ответы на контрольные вопросы; аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, контент-анализ и др.); подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции; подготовка рефератов, докладов; составление библиографии, заданий в тестовой форме и др.;

– для формирования умений: решение задач и упражнений по образцу; решение вариативных задач и упражнений; составление схем; проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности и др.

Для обеспечения внеаудиторной самостоятельной работы по дисциплине преподавателем разрабатывается перечень заданий для самостоятельной работы, который необходим для эффективного управления данным видом учебной деятельности обучающихся.

Преподаватель осуществляет управление самостоятельной работой, регулирует ее объем на одно учебное занятие и осуществляет контроль выполнения всеми обучающимися группы. Для удобства преподаватель может вести ведомость учета выполнения самостоятельной

работы, что позволяет отслеживать выполнение минимума заданий, необходимых для допуска к итоговой аттестации по дисциплине.

В процессе самостоятельной работы студент приобретает навыки самоорганизации, самоконтроля, самоуправления и становится активным самостоятельным субъектом учебной деятельности.

Обучающийся самостоятельно определяет режим своей внеаудиторной работы и меру труда, затрачиваемого на овладение знаниями и умениями по каждой дисциплине, выполняет внеаудиторную работу по индивидуальному плану, в зависимости от собственной подготовки, бюджета времени и других условий.

Ежедневно обучающийся должен уделять выполнению внеаудиторной самостоятельной работы в среднем не менее 3 часов.

При выполнении внеаудиторной самостоятельной работы обучающийся имеет право обращаться к преподавателю за консультацией с целью уточнения задания, формы контроля выполненного задания.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может проводиться в письменной, устной или смешанной форме с представлением продукта деятельности обучающегося. В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы могут быть использованы зачеты, тестирование, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и др.

*Методические рекомендации по изучению теоретических основ дисциплины.*

Изучение теоретической части дисциплин призвано не только углубить и закрепить знания, полученные на аудиторных занятиях, но и способствовать развитию у студентов творческих навыков, инициативы и организовать свое время.

Самостоятельная работа при изучении дисциплин включает:

- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- знакомство с Интернет-источниками;
- подготовку к различным формам контроля (тесты, контрольные работы);
- подготовку и написание рефератов;
- выполнение контрольных работ;
- подготовку ответов на вопросы по различным темам дисциплины в той последовательности, в какой они представлены.

Планирование времени, необходимого на изучение дисциплин, студентам лучше всего осуществлять весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение материала.

Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно прорабатывать и дополнять сведениями из других источников литературы, представленных не только в программе дисциплины, но и в периодических изданиях.

При изучении дисциплины сначала необходимо по каждой теме прочитать рекомендованную литературу и составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме для освоения последующих тем курса. Для расширения знания по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы; проводить поиски в различных системах и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем.

При подготовке к контрольной работе необходимо прочитать соответствующие страницы основного учебника. Желательно также чтение дополнительной литературы. При написании контрольной работы ответ следует иллюстрировать схемами.

При выполнении самостоятельной работы по написанию реферата студенту необходимо: прочитать теоретический материал в рекомендованной литературе, периодических изданиях, на Интернет-сайтах; творчески переработать изученный материал и представить его для отчета в форме реферата, проиллюстрировав схемами, диаграммами, фотографиями и рисунками.

Тексты контрольных работ и рефератов должны быть изложены внятно, простым и ясным языком.

При ответе на зачете необходимо: продумать и четко изложить материал; дать определение основных понятий; дать краткое описание явлений; привести примеры. Ответ следует иллюстрировать схемами, рисунками и графиками.

#### *Методические указания по подготовке реферата*

Реферат имеет большое значение в приобретении студентами навыков самостоятельной работы над источниками и литературой. В реферате студент должен на основании анализа доступных ему источников и литературы самостоятельно разработать одну из предлагаемых тем. В работе должны быть освещены с возможно большей полнотой все вопросы темы и сделаны обоснованные выводы. Кроме того, реферат должен показать, владеет ли студент литературным стилем и умеет ли он правильно оформлять письменные задания.

Важным моментом в подготовке реферата и в успешном его написании является выбор темы. Тема должна, во-первых, соответствовать интересам студента, во-вторых, быть обеспечена доступными для студента источниками и литературой.

Начиная работу по избранной теме, следует обратиться в первую очередь к литературе общего характера: соответствующим разделам учебников, статьям энциклопедий. Это позволит уяснить место темы в проблематике соответствующего периода, определить ее значимость и актуальность.

Важный этап работы – изучение источников и специальной литературы. Результатом работы с литературой, непосредственно посвященной избранной теме, либо отдельным ее аспектам, должен стать вывод о степени изученности темы.

В процессе изучения источников и литературы из них следует делать выписки на отдельных корточках или в тетрадях на одной стороне листа. На выписках должны фиксироваться данные о книге, из которой они сделаны (автор, название, место и год издания и обязательно страница) – это облегчит оформление научно-справочного аппарата работы.

После изучения литературы и источников следует составить план работы. Студент должен проявить самостоятельность в выборе узловых вопросов темы, уметь развернуть их в подробный план (т. е. выделить подзаголовки к вопросам), целесообразно выбрать для рассмотрения 2-3 вопроса. Работа должна четко раскрывать тему, экскурсы в сторону нежелательны. Содержание реферата должно соответствовать плану.

План помещается в начале реферата (после его названия, приводимого на первом, т. е. титульном листе). Он должен включать: введение, основную часть (вопросы плана), заключение, список использованных источников и литературу.

Во введении студент кратко обосновывает актуальность избранной темы реферата, раскрывает конкретные цели и задачи, которые он собирается решить в ходе своего небольшого исследования. В основной части подробно раскрывается содержание вопроса (вопросов) темы. Основная часть по объему должна занимать не менее 2/3 всей работы. Изложение материала должно идти четко по плану и иметь соответствующие подзаголовки. В заключении кратко должны быть сформулированы полученные результаты исследования и даны выводы. Кроме того, заключение может включать предложения автора, в том числе и по дальнейшему изучению заинтересовавшей его проблемы.

В приложении (приложения) к реферату могут выноситься таблицы, графики, схемы и другие вспомогательные материалы, на которые имеются ссылки в тексте реферата.

Реферат должен быть выполнен за один месяц до начала экзаменационной сессии.

#### *Методические рекомендации к выполнению контрольной работы.*

Контрольная работа является одной из составляющих учебной деятельности студента по овладению знаниями в области физиологии и биохимии растений. К ее выполнению необходимо приступить только после изучения тем дисциплины.

Целью контрольной работы является определения качества усвоения лекционного материала и части дисциплины, предназначенной для самостоятельного изучения.

Задачи, стоящие перед студентом при подготовке и написании контрольной работы:

1. закрепление полученных ранее теоретических знаний;
2. выработка навыков самостоятельной работы;
3. выяснение подготовленности студента к будущей практической работе.

Контрольные выполняются студентами в аудитории, под наблюдением преподавателя. Тема контрольной работы известна и проводится она по сравнительно недавно изученному материалу.

Ключевым требованием при подготовке контрольной работы выступает творческий подход, умение обрабатывать и анализировать информацию, делать самостоятельные выводы, обосновывать целесообразность и эффективность предлагаемых рекомендаций и решений проблем, четко и логично излагать свои мысли. Подготовка контрольной работы следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данной теме и конспектов лекций.

Темы рефератов, варианты тестов, контрольных заданий и критерии оценки приведены в ФОС по дисциплине «Метрология» для направления подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коротков В.С. Метрология, стандартизация и сертификация [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.С. Коротков, А.И. Афонасов. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2015. — 187 с. — 978-5-4387-0464-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34681.html>

2. Сергеев, А. Г. Метрология, стандартизация и сертификация в 2 ч. Часть 1. Метрология : учебник и практикум для академического бакалавриата / А. Г. Сергеев. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018 — 324 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-03643-5. — Режим доступа : [www.biblio-online.ru/book/CB28A4A1-F60A-4D9F-A573-A28FE43A3506](http://www.biblio-online.ru/book/CB28A4A1-F60A-4D9F-A573-A28FE43A3506).

3. Сергеев, А. Г. Метрология, стандартизация и сертификация в 2 ч. Часть 2. Стандартизация и сертификация : учебник и практикум для академического бакалавриата / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 325 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-03645-9. — Режим доступа : [www.biblio-online.ru/book/4573F340-3BC9-4076-B475-99681B96A072](http://www.biblio-online.ru/book/4573F340-3BC9-4076-B475-99681B96A072).

4. Степанова, Е. А. Метрология и измерительная техника: основы обработки результатов измерений : учебное пособие для вузов / Е. А. Степанова, Н. А. Скулкина, А. С. Волегов ; под общ. ред. Е. А. Степановой. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 95 с. — (Серия : Университеты России). — ISBN 978-5-534-00686-5. — Режим доступа : [www.biblio-online.ru/book/90804379-5080-4A04-83DB-FE523B616B2A](http://www.biblio-online.ru/book/90804379-5080-4A04-83DB-FE523B616B2A).

5. Пронкин Н.С. Основы метрологии: практикум по метрологии и измерениям [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / Н. С. Пронкин. - М. : Логос, 2007. - 392 с.

6. Лифиц, И. М. Стандартизация, метрология и подтверждение соответствия : учебник и практикум для прикладного бакалавриата / И. М. Лифиц. — 12-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 314 с. — (Серия : Бакалавр. Прикладной курс). — ISBN 978-5-534-02752-5. — Режим доступа : [www.biblio-online.ru/book/090ED56E-3BF3-47BE-862C-C732B387CE3C](http://www.biblio-online.ru/book/090ED56E-3BF3-47BE-862C-C732B387CE3C).

7. Брянский Л.Н. Краткий справочник метролога [Текст] : справ. / Л. Н. Брянский, А. С. Дойников. - М. : Изд-во Стандартов, 1991. - 79 с.

8. Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон. дан. — Москва : Горная книга, 2003. — 788 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/3219>. — ЭБС «Лань»

9. Метрология, стандартизация и сертификация. Практикум [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.Н. Кайнова [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 368 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/61361>. — Загл. с экрана.