

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
В Г. ОКТЯБРЬСКОМ**

Н. Р. Рахимов, Г. А. Умарова

МЕТРОЛОГИЯ, КВАЛИМЕТРИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Учебное пособие

**Уфа
Издательство УГНТУ
2020**

УДК 006.91
ББК 30.10
Р27

Утверждено Редакционно-издательским советом
УГНТУ в качестве учебного пособия

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор УГНТУ И. Г. Арсланов;
доктор технических наук, профессор НГТУ В. А. Жмудь.

Р27 Рахимов Н. Р.
Метрология, квалиметрия и стандартизация: учебное пособие /
Н. Р. Рахимов, Г. А. Умарова. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020. – 166 с.
ISBN 978-5-93105-435-3

Указания составлены в соответствии с ФГОС 3+ и рабочими программами дисциплины «Метрология». Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело». Может быть полезным для студентов и преподавателей других специальностей, связанных с практическим выполнением работ по применению требований метрологии и стандартизации при обеспечении конкурентоспособности и качества продукции. Работа подготовлена на кафедре разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений.

УДК 006.91
ББК 30.10

ISBN 978-5-93105-435-3

© ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет», 2020
© Рахимов Н.Р., Умарова Г.А., 2020

ВВЕДЕНИЕ

Динамичное развитие экономики любого государства невозможно без повышения конкурентоспособности отечественных товаров и услуг как на внутреннем, так и на внешнем рынке. Ориентация только на ценовую конкуренцию в современных условиях решающего успеха уже не гарантирует. Определяющим для потребителей во всех странах мира стало качество. Очевидно, что производители должны знать требования, предъявляемые к качеству выпускаемых ими товаров, изучать их. Эти требования, как правило, не одинаковы для различных групп потребителей и отличаются в зависимости от покупательной способности населения, уровня конкуренции, климатических условий, культурных традиций и многих других факторов. А это означает, что качеством продукции и услуг необходимо управлять, уметь количественно оценивать и анализировать их показатели, варьировать влияющими на них процессами.

Дисциплина, читаемая мною, помогает вам изучить основы теории и практики метрологии, системы метрологического обеспечения, стандартизации и сертификации.

Метрология – наука об измерениях, а измерения – один из важнейших путей познания. Они играют огромную роль в современном обществе. Наука, промышленность, экономика и коммуникация не могут существовать без измерений. Каждую секунду в мире производятся миллиарды измерительных операций, результаты которых используются для обеспечения качества и технического уровня выпускаемой продукции, безопасной и безаварийной работы транспорта, обоснования медицинских и экологических диагнозов, анализа информационных потоков. Практически нет ни одной сферы деятельности человека, где бы интенсивно не использовались результаты измерений, испытаний и контроля. Для их получения влечены миллионы людей и большие финансовые средства. Примерно 15 % затрат общественного труда расходуется на проведение измерений. По оценкам

экспертов, от 3 % до 9 % валового национального продукта передовых индустриальных стран приходится на измерения и связанные с ними операции.

Квалиметрия стремится осуществлять количественную меру как физических, так и всех других (эстетических, экономических, социальных, потребительских и т. п.) свойств продуктов труда и их сочетаний. Квалиметрия стремится также давать им качественную оценку.

Метрология, занимаясь определением количественных характеристик различных объектов, занимается измерениями, но не оценками качества продукции. Эти характеристики по самой своей сути являются социальными, потребительскими, экономическими, отражающими во многих случаях отношения купли-продажи. Пять килограммов веса какого-то предмета еще ничего не говорят о том, много это или мало, хорошо это или плохо и что целесообразно предпринять для того, чтобы стало лучше. Метрология является измерительной базой, на которую опирается квалиметрия при построении части своих оценок.

Что касается *квалиметрии*, то ее задача в значительной степени состоит в нахождении количественных измерений и оценок, необходимых для обоснования качественного содержания объектов и принятия решений. Такие общественные квалиметрические оценки получают часто путем измерения и сравнения физических, экономических, эстетических и других показателей с лучшими образцами, которые формально такими не являются. Это говорит о том, что наряду с метрологическими эталонами в деятельности по качеству продукции существуют эталоны квалиметрические, эталоны качества. В этой связи обратим внимание на то, что необходимо четко представлять различия между эталонами, используемыми в метрологии, и квалиметрическими эталонами. В отличие от первых, последние являются более многообразными и исторически более изменчивыми, определяемыми изменяющимися потребностями, т. е. являются функцией времени, природной и социальной среды.

В этих условиях роль *стандартизации*, как важнейшего звена в системе управления техническим уровнем и качеством продукции и услуг на всех этапах научных разработок, проектирования, производства, эксплуатации и утилизации имеет первостепенное значение. Стандартизация изучает вопросы разработки и применения таких правил и норм, которые отражают действие объективных технико-экономических законов, играют большую роль в развитии промышленного производства, вносят значительный вклад в рост общественного богатства, способствуют улучшению использования основных фондов, природных богатств. Стандартизация имеет непосредственное отношение к совершенствованию управления производством, повышению качества всех видов товаров и услуг. Большое значение для регулирования механизмов рыночной экономики приобрела сертификация. Для многих видов продукции и процессов она стала обязательной. Сертификация рассматривается как официальное подтверждение соответствия стандартам и во многом определяет конкурентоспособность продукции. На лекциях по сертификации рассматриваются средства и методы проведения работ по различным видам сертификации. В последние годы к традиционно широко практикуемой сертификации продукции добавились сертификация услуг в торговле, туризме, бытовом обслуживании и даже в сфере образования. Активно развивается сертификация систем качества и экологического управления предприятий на соответствие стандартам серии ИСО 9000 и ИСО 14000, а также сертификация персонала.



Рис.1. Триада методов и видов деятельности
по обеспечению качества

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТРОЛОГИИ, КВАЛИМЕТРИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ

Метрология (от греч. «metron» – мера, «logos» – учение) – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения единства измерений и методах и средствах обеспечения их требуемой точности.

Любая наука является состоявшейся, если она имеет свой объект, предмет и методы исследования. Предмет любой науки отвечает на вопрос, ЧТО ей изучается. Предметом метрологии является измерение свойств объектов (длины, массы, плотности и т. д.) и процессов (скорость протекания, интенсивность протекания и др.) с заданной точностью и достоверностью.

Объектом метрологии является физическая величина. (Понятие «физическая величина» будет рассмотрено в теме «Основные понятия и определения метрологии»). Объект науки может быть общим для ряда других наук.

Метрологию разделяют на три основных раздела: «Теоретическая метрология», «Прикладная (практическая) метрология» и «Законодательная метрология». Важнейшей задачей метрологии является обеспечение единства измерений. Понятие «единство измерений» будет рассмотрено в следующем параграфе.

1.1. Основные понятия и определения метрологии

Мера – это средство измерения, предназначенное для воспроизведения физических величин заданного размера.

Физическая величина – это одно из свойств физического объекта, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого физического объекта.

Физические величины делятся на измеряемые и оцениваемые.

Измеряемые физические величины могут быть выражены количественно в установленных единицах измерения (единицах физической величины).

Оцениваемые физические величины — это величины, для которых единицы измерений не могут быть введены. Их определяют при помощи установленных шкал.

Физические величины классифицируются по следующим видам явлений:

- а) вещественные — они описывают физические и физико-химические свойств веществ, материалов и изделий из них;
- б) энергетические — описывают энергетические характеристики процессов преобразования, передачи и поглощения (использования) энергии;
- в) физические величины, характеризующие протекание процессов во времени.

Единицей физической величины — называют физическую величину фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение равное единице, которое применяется для количественного выражения однородных с ней физических величин.

Различают основные и производные единицы физических величин. Для некоторых физических величин единицы устанавливаются произвольно, такие единицы физических величин называют основными. Производные единицы физических величин получают по формулам из основных единиц физических величин.

Система единиц физических величин — это совокупность основных и производных единиц физических величин, относящихся к некоторой системе величин.

Так, в международной системе единиц СИ (Система Интернациональная) принято семь основных единиц физических величин: единица времени — секунда (с), единица длины — метр (м), единица массы — килограмм (кг),

единица силы электрического тока – ампер (А), термодинамической температуры – кельвин (К), силы света – кандела (кд) и единица количества вещества – моль (моль).

Эталон единицы физической величины – это средство измерения, предназначенное для хранения и воспроизведения единицы физической величины с целью её передачи другим средствам измерений данной величины.

Понятие *единство измерений* характеризует состояние измерений, когда их результаты выражены в узаконенных единицах, а погрешности известны и не выходят за установленные пределы с заданной вероятностью.

Погрешность измерения – это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

1.2. Измерение физических величин

Измерение физической величины – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физических величин, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

Измерение – совокупность операций, выполняемых для определения количественного значения величины (Закон РФ «Об обеспечении единства измерений» от 26 июня 2008 года – ЗОЕИ2008).

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 (ЗОЕИ2008).

Равноточные измерения – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью.

Неравноточные измерения – ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях.

Однократное измерение – измерение, выполненное один раз.

Многократное измерение – измерение физических величин, одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т. е. состоящее из ряда однократных измерений.

Статическое измерение – измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения.

Динамическое измерение – измерение изменяющейся по размеру физической величины.

Абсолютное измерение – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании физических констант; при таком измерении нулевое показание средства измерения соответствует нулевому значению измеряемой величины (измерение линейного размера штанген-инструментами, микрометром). Измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

Относительное измерение – измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную (измерение линейного размера детали оптиметром, настроенным по концевым мерам или установочным образцовым деталям).

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно (измерение длины штангенциркулем); прямое измерение – измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений (ЗОЕИ2008).

Сличение эталонов единиц величин – совокупность операций, устанавливающих соотношение между единицами величин, воспроизводи-

мых эталонами единиц величин одного уровня точности и в одинаковых условиях (ЗОЕИ2008).

Косвенное измерение – определение искомого значения физических величин на основании результата прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной (измерение площади поверхности с помощью штангенциркуля: осуществляют прямое измерение ширины a и длины b поверхности; площадь S находят по зависимости $S = a \cdot b$).

Совокупные измерения – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерении этих величин в различных сочетаниях. Решение системы уравнений дает возможность вычислить искомую величину.

Совместные измерения – это измерения двух или более неоднородных физических величин для определения зависимости между ними.

Объект измерений – тело (физическая система, явление, процесс), которое характеризуется одной или несколькими физическими величинами.

Результат измерения – значение величины, найденное путем ее измерения.

Наблюдение при измерении – экспериментальная операция, выполняемая в процессе измерения, в результате которой получают одно значение из группы значений величины, подлежащих совместной обработке для получения результата измерения.

Результат наблюдений – значение величины, полученное при отдельном наблюдении.

Размер – количественная характеристика измеряемой величины.

Размерность (d_{lm} , согл. ISO) – качественная характеристика измеряемой величины ($d_{lm} l = L$, $d_{lm} m = M$, $d_{lm} t = T$).

Размерность физической величины – выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических

величин в различных степенях, и отражающее связь данной величины с физическими величинами, принятыми в данной системе величин за основные, и с коэффициентом пропорциональности, равным единице.

1.3. Классификация погрешностей измерения

Погрешности классифицируются по следующим признакам.

1. По форме числового выражения:

- а) абсолютные;
- б) относительные.

Например, вагон массой 50 т измерен с абсолютной погрешностью ± 50 кг, а в относительном выражении эта погрешность составит 0,1 %.

2. По источникам возникновения:

а) инструментальные (обусловленные свойствами средств измерения твердости, геометрических параметров и т. д.);

б) методические погрешности, возникающие в результате несовершенства принятого метода измерений, при использовании эмпирических зависимостей (формула получена на основе эксперимента) и т. д.;

в) субъективные – погрешности оператора.

3. По характеру проявления:

а) систематическая – такая погрешность в процессе измерения одной и той же ф. в. остается постоянной или изменяется по определенному закону при одинаковых условиях измерения, т. е. не меняются внешние условия измерения (температура, давление, влажность, уровень вибраций и др.), оператор, класс точности измерительного прибора, цена деления измерительного прибора:

- постоянная (присутствует все время на протяжении измерений);
- временная;

б) случайная – это погрешность, которая изменяется случайным образом при повторном измерении одной и той же величины в одних и тех же условиях. Случайные погрешности, в отличие от систематических, изменяются хаотично по неизвестному закону.

1.4. Эталоны единиц физических величин

Эталоны физических величин – это средство измерения, предназначенное для воспроизведения и хранения физической величины с целью ее передачи другим средствам измерения данной величины.

Все эталоны делятся на два больших вида:

1. Государственный первичный эталон. Он утвержден в качестве исходного для всей страны.

2. Вторичные эталоны, которые делятся на четыре группы:

А) Эталоны – свидетели. Они предназначены для замены государственного первичного эталона в случае его порчи или утраты.

Б) Эталоны – сравнения. Служат для сличения эталонов, которые по каким-либо причинам не могут непосредственно сличаться друг с другом.

В) Эталоны – копии. Используются для передачи размеров к рабочим эталонам.

Г) Рабочие эталоны. Применяются для контроля качества продукции, а также для поверки рабочих средств измерения.

1.5. Измерение физических величин

Измерение – это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Истинное значение физической величины – это значение, идеально отражающее соответствующее свойство объекта, как в количественном, так и в качественном отношении.

Действительное значение физической величины – это значение, найденное опытным путём и настолько приближенное к истинному, что для данной цели может быть принято вместо него.

Измеренное значение физической величины – это значение, полученное при измерении с применением конкретных методов и средств измерений.

Свойства измерений:

а) точность – это свойство измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины;

б) правильность – это свойство измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в их результатах. Результаты измерений правильны, когда они не искажены систематическими погрешностями;

в) сходимость – это свойство измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях одним и тем же средством измерения одним и тем же оператором. Сходимость – важное качество для методики измерений;

г) воспроизводимость – это свойство измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в разных условиях, т. е. в разное время, в разных местах, разными методами и средствами измерений. Воспроизводимость – важное качество при испытаниях готовой продукции.

1.6. Классификация измерений

Измерения классифицируются по следующим признакам:

1. По физической сущности измеряемой величины.
2. По характеристике точности:

А) Равноточные измерения – это ряд измерений какой-либо физической величины, выполненных при одинаковых условиях (одно и то же средство измерения, параметры среды, один и тот же оператор и т. д.).

Б) Неравноточные измерения – это ряд измерений какой-либо физической величины, выполненных либо разными по точности приборами, либо при разных условиях измерения.

3. По числу измерений:

А) Однократные измерения.

Б) Многократные измерения – измерения одной и той же физической величины, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений.

4. По изменению измеряемой величины во времени:

А) Статические.

Б) Динамические (при которых измеряемая величина изменяется во времени).

5. По метрологическому назначению:

А) Технические.

Б) Метрологические.

6. По выражению результатов измерения:

А) Абсолютные – измеряемые в кг, м, Н и т. д.

Б) Относительные – измеряемые в долях или процентах.

7. По способу получения числового значения физической величины:

А) Прямые – это измерения, при которых искомое значение физической величины получают непосредственно.

Б) Косвенные – это измерения, при которых искомое значение физической величины получают на основании прямых измерений других физических величин.

В) Совместные измерения – одновременное измерение двух или нескольких не одноименных ФВ для определения зависимости между ними.

Г) Совокупные – это одновременное измерение нескольких одноименных физических величин, а искомое значение величин находят путем решения системы уравнений,

получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

1.7. Методы измерения физических величин

Метод измерений – это приём или совокупность приёмов сравнения измеряемой физической величины с её единицей в соответствии с реализованным принципом измерений. Методы измерений определяются видом измеряемых величин, их размерами, требуемой точностью результата, требуемой быстротой процесса измерения и прочими данными. В предыдущей теме перечислялись виды измерений по способу получения числового значения. Наибольшее распространение на практике получили прямые измерения из-за их простоты и скорости исполнения.

Прямые измерения можно производить следующим методами, которые можно разделить на две основных группы:

1. Метод непосредственной оценки – значение величины определяют непосредственно по отсчётному устройству мерительного прибора (силу тока – по амперметру, массы – по циферблатным весам и т. д.).

2. Метод сравнения с мерой – измеряемую величину сравнивают с величиной воспроизводимой мерой (измерение массы рычажными весами с уравниванием гирями):

А) Дифференциальный метод – метод сравнения с мерой, при котором на измерительный прибор действует разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой (измерения, выполняемые при проверке мер длины сравнением с образцовой мерой на компараторе).

Б) Нулевой метод – метод сравнения с мерой, когда результирующий эффект воздействия на прибор сравнения доводят до нуля (измерение электрического сопротивления мостом с полным его уравниванием).

- В) Метод совпадений – метод сравнения с мерой, при котором разность между измеряемой величиной и величиной воспроизводимой меры измеряют, используя совпадения отметок шкал прибора (измерение линейных размеров с помощью штангенциркуля).
- Г) Метод замещения – метод сравнения с мерой, когда измеряемую величину замещают известной величиной воспроизводимой мерой (взвешивание с поочерёдным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашу весов).

1.8. Понятие о средстве измерений

Средство измерений (рис. 1.1) – это техническое средство или комплекс средств, предназначенных для измерений. Они имеют нормированные метрологические характеристики, воспроизводящие или хранящие единицу физической величины.

Средство измерений должно реализовывать одну из следующих функций:

- воспроизводить величину заданного размера;
- вырабатывать сигнал, несущий информацию о значении измеряемой величины.



Рис. 1.1. Средства измерений

Такие сигналы могут либо непосредственно восприниматься органами чувств человека, либо проходить через вспомогательные (преобразующие приборы для этого).

Все средства измерений можно классифицировать по двум основным признакам:

- 1) По метрологическому назначению средства измерения делятся на:
 - а) рабочие средства измерения – применяются для проведения технических измерений:
 - лабораторные (используются при научных исследованиях, при проектировании технических устройств, а также для проведения медицинских измерений);
 - производственные (используются для контроля качества продукции на производстве и для контроля технологического процесса производства);
 - полевые (используются непосредственно на всех видах транспорта);
 - б) эталоны.

2) По конструктивному исполнению средства измерения делятся на:

а) меры физической величины – это средства измерения, предназначенные для хранения и воспроизведения единицы физической величины;

б) измерительные приборы – это средство измерения, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в заданных пределах. Прибор, как правило, содержит устройство для преобразования измерительной величины, а также индикацию в наиболее доступной для восприятия форме;

в) измерительные преобразователи – это средства измерений, предназначенные для преобразования измерений физической величины в другую величину, удобную для переработки, хранения и, при необходимости, дальнейшего преобразования;

г) измерительная установка – это комплекс функционально объединенных мер, измерительных преобразователей, измерительных приборов и других устройств, предназначенных для измерения одной или нескольких физических величин. Как правило, этот комплекс располагается в одном месте, например испытательный стенд;

д) измерительная система – это совокупность функционально объединенных измерительных приборов, мер, измерительных преобразователей и других технических средств, размещенных в различных точках контролируемого пространства и предназначенных для измерения одной или нескольких физических величин

1.9. Метрологические характеристики средств измерений и контроля

Эта характеристика одного из средств измерения, влияющая на результат и его погрешность.

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся метрологические характеристики средств измерений и контроля:

Цена деления шкалы прибора – это разность величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. Она всегда указывается на шкале прибора.

Длина деления шкалы прибора – это фактическое расстояние между осями (центрами) соседних отметок шкалы прибора.

Начальное и конечное значение шкалы – наименьшее и наибольшее значение измеряемой величины, которые могут быть отсчитаны по шкале данного средства измерения.

Диапазон показаний средства измерений – это область значений шкалы прибора, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы. Существуют средства измерения, начальное значение которых не равно нулю (например, микрометрический нутромер).

Измерительное усилие – это усилие, возникающее в зоне контакта измерительного наконечника прибора с измеряемой поверхностью.

Перепад измерительного усилия – разность измерительного усилия при двух положениях указателя в пределах диапазона показаний.

Чувствительность – это способность средства измерения реагировать на изменения измеряемой величины. Определяется как отношение изменения выходного сигнала средств измерения к вызывающему его изменению измеряемой величины.

Порог чувствительности средств измерения – то наименьшее значение изменения физической величины, с которого возможно начать измерение этой величины данным средством измерения.

Вариация показаний измерительного прибора – это разность показаний прибора в одной и той же точке диапазона показаний при плавном подходе к этой точке показывающего элемента (стрелки) со стороны больших и меньших значений измеряемой величины.

1.10. Правовые основы метрологии

Главным законодательным актом, обеспечивающим единство измерений, является Закон РФ «Об обеспечении единства измерений». Этот закон направлен на защиту прав граждан и их интересов, а также на защиту интересов экономики страны от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений.

Единство измерений – характеристика качества измерений. Она заключается в том, что результаты измерений выражаются в установленных единицах, чьи размеры равны размерам воспроизводимых величин (с учетом погрешностей).

Закон определяет:

- 1) основные метрологические понятия;
- 2) компетенцию Госстандарта России в обеспечении единства измерений;
- 3) единицы ФВ, государственные эталоны, средства и методики измерений;
- 4) компетенцию и структуру государственной метрологической службы;
- 5) метрологические службы государственных органов управления предприятий и организаций;
- 6) сферы распространения и виды государственного метрологического контроля и надзора;
- 7) права, обязанности и ответственность государственных инспекторов по обеспечению единства измерений;
- 8) условия испытаний средств измерения;
- 9) требования к выполнению измерений по аттестованным методикам;
- 10) основные положения калибровки и сертификации средств измерения;

11) лицензирование деятельности организаций и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений;

12) источники финансирования работ по обеспечению единства измерений;

13) ответственность за нарушение положений этого закона.

Кроме того, законом об «Обеспечении единства измерений» определяются сферы деятельности, в которых соблюдение метрологических требований, обязательно и на которые распространяется государственный метрологический надзор:

- здравоохранение, ветеринария, охрана окружающей среды и обеспечение безопасности труда;
- испытания и контроль качества продукции с целью определения соответствия обязательным требованиям государственного стандарта РФ;
- обеспечение обороны страны;
- на обязательную сертификацию продукции и услуг;
- на торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом, в том числе на операции с применением игровых автоматов;
- государственные учетные операции;
- измерения, проводимые по поручениям органов суда, прокуратуры и государственных органов управления РФ;
- на продукцию, поставляемую по контрактам для государственных нужд;
- на геодезические и гидрометрические измерения;
- на банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции;
- на регистрацию национальных и международных рекордов.

Государственная система обеспечения единства измерений состоит из нормативных документов устанавливающих правила и требования на достижение и поддержание единства измерений в РФ при требуемой точности.

1.11. Метрологические службы, обеспечивающие единство измерений

Государственная метрологическая служба несет ответственность за метрологическое обеспечение в стране на межотраслевом уровне и осуществляет государственный контроль и надзор в определенных законом сферах.

В состав государственной метрологической службы входят:

1. Государственные научные метрологические центры – органы государственной метрологической службы на территориях республик, областей, автономных округов, автономных областей, а также государственные метрологические службы городов Москвы и Санкт-Петербурга.

Государственные научные метрологические центры являются хранителями государственных эталонов. Они проводят исследования в области теории измерений, а также в области применения принципов и методов высокоточных измерений; занимаются разработкой научно-методических основ совершенствования Российской системы измерений; разрабатывают нормативные документы по обеспечению единства измерений.

2. Государственная служба времени, частоты и определения параметров вращения Земли.

Государственная служба времени, частоты занимается межрегиональной и межотраслевой координацией работ по обеспечению единства измерений времени и частот, а также по определению параметров частот вращения Земли. Также она занимается хранением и передачей размеров единиц времени, шкал атомного всемирного и координатного времени, координат полюсов Земли. Измерительную информацию этой службы используют службы навигации и управления судами, самолетами и спутниками, а также единая измерительная служба России.



Рис. 1.2 Основы метрологического обеспечения

3. Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов

Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материала организует создание и применение эталонных образцов состава и свойств веществ и материалов (металлов, сплавов, медицинских продуктов, минерального сырья, почв и т. д.). Служба также разрабатывает средства сравнения стандартных образцов с характеристиками веществ и материалов, которые производятся промышленными, сельскохозяйственными и др. предприятиями для их идентификации и контроля.

4. Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов.

Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов обеспечивает разработку достоверных данных о физических константах, о свойствах веществ и материалах, а также о свойствах минерального сырья. Потребителями такой информации являются организации, создающие новую технику к точности характеристик, которой предъявляют особо высокое требование.

1.12. Передача размеров единиц физических величин

Передача размеров единиц физических величин – это приведение размеров единицы физической величины, хранимой поверяемым средством измерения, к размеру единицы ф. в., хранимой и воспроизводимой эталоном, осуществляемое при их поверке или калибровке. Размер передаётся от более точных средств измерений к менее точным.

Суть поверки и калибровки средств измерений заключается в нахождении погрешности средства измерения и установлении его пригодности к использованию.

Поверка средств измерений – это совокупность операций выполняемых государственной метрологической службой с целью определения и подтверждения соответствия средств измерений установленным техническим требованиям. Поверка носит обязательный характер, и проводится в отношении средств измерений, которые применяются в установленных законом сферах (здравоохранение, охрана окружающей среды, обеспечение обороноспособности страны и т. д.)

Калибровка средств измерений – это комплекс операций, осуществляемых с целью определения и подтверждения действительных характеристик средств измерения и пригодности к применению этих средств

измерений (не подлежащие государственному контролю и надзору). Калибровка носит добровольный характер.

Сопоставление государственного эталона, вторичного эталона и рабочих средств измерений определено государственной поверочной схемой.

Поверочная схема – документ, устанавливающий средства (с помощью чего), методы (каким образом) и точность передачи размеров единиц от государственного эталона к рабочим средствам измерения.

Виды поверок средств измерения

В РФ применяются следующие виды поверки средств измерения:

а) первичная поверка, ей подлежат средства измерений при выпуске из производства, после ремонта, а также средства измерений, ввозимые по импорту.

б) периодическая поверка, такой поверке подлежат средства измерения, находящиеся в эксплуатации или на хранении.

в) внеочередная поверка – осуществляется при эксплуатации и хранении в следующих случаях:

- повреждение поверительного клейма;
- утрата свидетельства о поверке;
- ввод в эксплуатацию средства измерения, длительное время находящегося на хранении (длительность определяется государственной метрологической службой);
- неудовлетворительная работа прибора.

г) инспекционная поверка – ее проводят для подтверждения пригодности к применению средств измерений при проведении государственного метрологического надзора.

д) экспертная поверка – производится при возникновении спорных вопросов по метрологическим характеристикам средств измерений, их исправности и пригодности к применению.

1.13. Государственный метрологический контроль и надзор за средствами измерения

Государственный метрологический контроль и надзор – это деятельность, осуществляемая органами государственной метрологической службы по проверке юридических лиц на соответствие Закону «Об обеспечении единства измерений» и требованиям государственных стандартов и другим нормативным документам в области метрологии.

Государственный метрологический контроль осуществляется путем:

- калибровки средств измерений;
- надзора за состоянием и применением средств измерений, за выполнением методик измерений и контроля мер, применяемых при калибровке (контроль эталонов);
- выдачи обязательных предписаний с целью устранения нарушений метрологических правил и норм;
- проверки своевременности представления средств измерений на испытания для утверждения типа средств измерений, а также на поверку или калибровку

Государственный метрологический контроль включает следующие мероприятия:

1. Утверждение типа средств измерений – необходимо для постановки на производство и выпуска в обращение новых типов средств измерений или при их ввозе по импорту. Процедура утверждения типа предусматривает обязательные испытания средств измерений. Принятие

решения об утверждении типа, ее государственная регистрация и выдача сертификата об утверждении типа средства измерения. На средство измерения утвержденного типа наносится специальное клеймо.

2. Поверка средств измерения, в том числе эталонов, осуществляется органами государственного метрологического контроля и надзора РФ. В отличие от процедуры утверждения типа средства измерения, в котором участвует только одно средство измерения, представляющее тип, поверке подлежит каждое средство измерения.

3. Согласно закону об обеспечении единства измерений деятельность по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений должна подвергаться лицензированию органами государственной метрологической службы.

Лицензия – это документально оформленное решение, выдаваемое органами ГМС юридическому или физическому лицу на осуществление деятельности по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерения. По настоящему законодательству лицензия выдается не более чем на 5 лет.

Государственный метрологический надзор производится на предприятиях и в организациях независимо от подчинённости и форм собственности в виде проверок соблюдения норм в соответствии с Законом «Об обеспечении единства измерений».

Государственный метрологический надзор следит:

- за выпуском, состоянием и применением средств измерения;
- за аттестованными методиками измерений;
- за эталонами единиц ФВ;

- за соблюдением правил и норм, касающихся метрологии на предприятиях;
- за количеством отчуждаемых товаров;
- за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их фасовке и продаже.

Проверки, проводимые органами государственной метрологической службы, могут быть: плановыми, внеплановыми, повторными.

Плановая проверка – не реже одного раза в 3 года.

Внеплановые проверки производятся по инициативе потребителей (общество защиты прав потребителей), налоговой инспекции.

Повторная проверка осуществляется для контроля выполнения предписаний, выданных органами государственной метрологической службы. При этом срок проведения повторных проверок указан в предписании.

2. ОБЪЕКТ, ПРЕДМЕТ И СТРУКТУРА КВАЛИМЕТРИИ

Квалиметрия, зародившаяся и активно развивающаяся в нашей стране, теперь признается и осваивается специалистами зарубежных стран. Так, например, известно, что в США в октябре 1997 г. состоялся международный семинар по обучению менеджеров использованию методологии и способов квалиметрии. При этом преподавались в основном российские наработки по теории квалиметрии, начиная с проведения оценивания качеств.

Итак, к настоящему времени квалиметрия представляет собой относительно новую, но вполне сформировавшуюся науку и учебную дисциплину, знание которых необходимо практическим работникам, занимающимся оценкой и последующим управлением качеством различных объектов. Большой вклад в теорию квалиметрии и практику ее использования внесли наши соотечественники, в частности: Ю. П. Адлер, Г. Г. Азгальдов, В. Г. Белик, Г. Н. Бобровников, А. В. Гличев, В. В. Кочетов, Г. Н. Солод, А. В. Субето, А. Г. Суслов, М. В. Федоров, И. Ф. Шишкин и многие другие ученые и специалисты.

Квалиметрия – это наука об измерении и количественной оценке качества всевозможных предметов и процессов, т. е. объектов реального мира. Квалиметрия является частью **качествоведения** – комплексной науки о качестве, состоящей из **квалинтологии**, т. е. общей теории качества, квалиметрии и учений об управлении качеством, в котором рассматриваются организационные, экономические и иные методы и средства влияния на качество объектов с целью повышения их способности удовлетворять существующие и будущие потребности людей.

Объектом квалиметрии может быть все, что представляет собой нечто цельное, что может быть вычленено для изучения, исследовано и познано.

Предметом квалиметрии является оценка качества в количественном его выражении.

Структура квалиметрии состоит из трех частей:

1 – *общая квалиметрия* или общая теория квалиметрии, в которой рассматриваются проблемы и вопросы, а также методы измерения и оценивания качеств;

2 – *специальные квалиметрии* больших группировок объектов, например, квалиметрии продукции, процессов, услуг, социального обеспечения, среды обитания и т. д. вплоть до качества жизни людей;

3 – *предметные квалиметрии* отдельных видов продукции, процессов и услуг, такие как квалиметрия машиностроительной продукции, строительных объектов, квалиметрия нефтепродуктов, труда, образования и т. д.

Качество, в широком смысле этого понятия, – объективная и наиболее обобщенная характеристика любого объекта.

Качество объекта потребления – это совокупная характеристика его свойств, с помощью которых могут быть удовлетворены и обычно удовлетворяются соответствующие потребности людей. Такое представление о качестве носит прикладной характер и поэтому является более узким и специфичным. Существуют и ограниченные представления о качестве, когда оно оценивается не по всем, а по одному или по нескольким важнейшим для людей характеристикам объекта. Следует отметить, что понятие о качестве объекта потребления включены как объективные свойства, так и субъективные оценки полезности объекта, предназначенного для потребления или уже потребляемого людьми.

2.1. Принципы и задачи квалиметрии

Так как определение качества объектов реального мира есть, по существу, познание их важнейших свойств и по сути, то, следовательно, квалиметрия является методологией с комплексом различных методик, относящихся к гносеологии – теории познания. Квалиметрия считается

прикладной теорией познания качества всевозможных объектов исследования.

Итак, у квалиметрии, как и у всякой научной дисциплины, есть свои методологические принципы, содержание которых состоит в нижеследующем.

1. Квалиметрия обязана давать практике хозяйственной деятельности людей (т. е. экономике) общественно полезные методы достоверной квалифицированной и количественной оценки качества различных объектов исследования.

В отношении оценки качества товарной продукции проблема состоит в том, что у потребителей и производителей продукции разные интересы. Производитель не всегда заинтересован и часто не может создавать качественные товары, а продавать их он стремится по наиболее высокой цене. Потребитель же заинтересован в дешевой, но качественной продукции. Поэтому соответствующие методы оценки качества продукции могут быть разными. Задача квалиметрии – разрабатывать такие методы, приемы и средства оценивания качества продукции, которые учитывают интересы, как производителей, так и потребителей.

2. Приоритет в выборе определяющих показателей для оценки качества продукции всегда на стороне потребителей.

Дело в том, что количественная оценка качества, как правило, осуществляется не по всем возможным показателям, характеризующим свойства продукции, а по нескольким наиболее значимым, определяющим показателям. В силу того, что полезный эффект от продукции достигается при ее эксплуатации или потреблении, то при оценивании качества продукции преимущественно используются те показатели, которые характеризуют способность продукции «удовлетворять определенные потребности с ее назначением». Продукция создается для сферы потребления, поэтому в квалиметрии отдается предпочтение показателям потребительских свойств.

3. Следующий принцип можно сформулировать так: квалиметрическая оценка качества продукции не может быть получена без наличия эталона для сравнения – без базовых значений показателей определяющих свойств и качества в целом.

Абсолютные значения отдельных показателей качества еще не характеризуют качество, не являются оценочными. Для количественной оценки качества необходимо знать значения аналогичных показателей качества других или другого аналогичного образца. Конечным результатом оценки качества исследуемого образца продукции, является относительная величина значений обобщенного показателя его качества и такого же показателя базового, эталонного образца.

4. Показатель любого обобщения, кроме самого нижнего (исходного) уровня, предопределяется соответствующими показателями предшествующего иерархического уровня.

Под самым низким иерархическим уровнем показателей следует принимать единичные показатели простейших свойств, формирующих качество. Показателем качества высшего иерархического уровня является интегральный показатель.

5. При использовании метода комплексной оценки качества продукции все разноразмерные показатели свойств должны быть преобразованы и приведены к одной размерности или выражены в безразмерных единицах измерения.

6. При определении комплексного показателя качества каждый показатель отдельного свойства должен быть скорректирован коэффициентом его весомости.

7. Сумма численных значений коэффициентов весомостей всех показателей качества на любых иерархических ступенях оценки имеет одинаковое значение.

8. Качество целого объекта обусловлено качеством его составных частей.

9. Для количественной оценки качества, особенно по комплексному показателю, недопустимо использование взаимообусловленных и, следовательно, дублирующих показателей одного и того же свойства.

10. Обычно оценивается качество продукции, которая способна выполнять полезные функции в соответствии с ее назначением.

Вышеперечисленные методологические принципы квалиметрии не исчерпывают всех концептуальных положений этой области науки. Однако они являются основополагающими при решении общих и частных вопросов, связанных с методами оценки качества объектов реальности и технической продукции в частности.

2.2. Основные термины и определения, относящиеся к качеству

Продукцией называется результаты производственной деятельности человека, которые имеют материальную ценность и предназначены для удовлетворения его потребностей.

Продукция может быть изделиями или продуктами.

Изделия – результат работы производственного предприятия, который характеризуется величиной исчисляемой в различных единицах счета (шт.).

Продукты – результат работы производственного предприятия, характеризуемый величиной, измеряемой в килограммах, метрах и т. д.

Продукция может разделяться на 2 класса (по способу использования):

Потребляемая продукция – продукция, которая в процессе использования расходуется (электричество, топливо).

Эксплуатируемая продукция – расходует свой ресурс, а ее масса остается практически неизменной в процессе эксплуатации.

Продукция, представляемая этими двумя классами, может быть подразделена на 5 групп:

- 1) сырье и природное топливо;
- 2) материалы и продукты (ткани, пластмассы, искусственное топливо, пищевые продукты);

3) расходные изделия (относятся все упакованные изделия – топливо в бочках, консервы и т. д.);

4) неремонтируемые изделия (ремни ременной передачи, полупроводниковые элементы приборов, крепежные изделия и т. д.);

5) ремонтируемые изделия (оборудование длительного использования – машины).

Каждый вид продукции обладает рядом специфических свойств, благодаря которым данную продукцию можно отличить от продукции какого-либо другого вида.

Свойство продукции – объективная особенность продукции, проявляющаяся при ее создании и использовании.

Признак продукции – качественная или количественная характеристика свойств продукции.

Качество продукции – совокупность свойств продукции способных удовлетворять ее пригодность для потребления в соответствующей ей сфере.

Для оценки качества продукции разработана система показателей качества, а также разработаны методы, позволяющие определять эти показатели.

Отрасль практической деятельности, которая занимается разработкой теоретических основ и разработкой методов, количественные оценки качества называется квалиметрией.

2.3. Показатели качества продукции

Ниже перечисленные показатели качества распространяются на все виды промышленной продукции и способны отображать количественные характеристики свойств продукции, рассматриваемых применительно создания этой продукции или применительно ее использования. В каждую группу показателей качества входят как единичные показатели, так и комплексные.

Единичный показатель качества – отображает одно свойство (грузоподъемность, энергоемкость).

Комплексный показатель качества – отображает несколько свойств продукции.

Разновидностью комплексных показателей является обобщенные показатели качества, которые представляют собой сумму единичных показателей качества, имеющих одну размерность с учетом коэффициента значимости каждого из единичных показателей.

Десять групп показателей качества:

Показатели назначения – характеризуют назначение продукции, ее область применения, конструктивные особенности и т. д. К таким показателям относится производительность, энергоемкость машин и другие.

Показатели надежности – характеризуют свойства изделия выполнять заданные функции, сохраняя значения установленных эксплуатационных параметров. К показателям надежности относятся безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость.

Показатель технологичности – характеризует соответствие изделия и его элементов реальным условиям производства, рациональность использования конструкционных материалов, приспособленность продукции к применению прогрессивных технологических методов производства, возможность максимального использования централизованного производства и рациональной организации ремонта и обслуживания. Одними из важнейших показателей технологичности являются коэффициент сборности изделия, коэффициент использования рациональных материалов, удельная трудоемкость производства и удельная материалоемкость.

Показатели стандартизации и унификации – они характеризуют степень использования в данном изделии стандартизованных и унифицированных деталей (узлов, механизмов, сборочных единиц).

Патент на правовые показатели качества – включают в себя два показателя:

1) показатель патентоспособности – патентоспособным считается изделие, содержащее технические решения, которые могут быть признаны изобретением в одной или нескольких странах;

2) патентная чистота – степень новизны изделия.

Эргономические показатели качества – такие показатели качества оценивают степень приспособленности изделия к взаимодействию с человеком (возможность создания оптимальных условий для эффективного управления машиной для соблюдения необходимых норм гигиены для оператора и окружающей среды).

Эстетические показатели качества – характеризуют внешний вид продукта, степени ее соответствия определенному стилю, гармоничность сочетания отдельных элементов рассматриваемого изделия друг с другом, а также соответствие форм изделия его назначению, цветовое оформление, а также качество отделки внешних поверхностей и качество фурнитуры.

Показатели транспортабельности – характеризуют степень приспособленности изделия к транспортировке, которая не сопровождается его использованием или потреблением; эти показатели выбираются с учетом конкретного вида транспорта и определяют материальные или трудовые затраты на операции, связанные с транспортировкой (упаковка, загрузка, транспортировка, разгрузка).

Показатели безопасности – характеризуют свойство продукции обуславливающие безопасность человека и окружающей среды при ее использовании. К таким показателям относятся: скорость срабатывания защитных устройств, сопротивление изоляции в проводах и т. д.

Показатель экологичности – характеризует степень вредных воздействий на окружающую среду, возникающих при эксплуатации изделия (содержание вредных элементов в составе продукции).

2.4. Методы определения показателей качества

Показатели качества определяют двумя методами:

- инструментальный;
- экспертный.

Инструментальный метод основан на результатах измерений различных параметров, которые характеризуют ту или иную группу показателей качества. Разновидностью инструментального метода являются расчетный (метод основан на вычислениях с использованием значений найденных экспериментально) и субъективный метод, где определение показателей качества основано на решении, принимаемом группой специалистов-экспертов. Этот метод часто применяется для определения комплексных показателей качества.

Экспертный метод делится на два подхода:

- 1) органолептический – основан на определении показателей качества продукции (в баллах) с использованием восприятия окружающей среды органами чувств;
- 2) социологический – основан на сборе и учете мнений фактических или потенциальных потребителей продукции. Этим методом в основном определяют показатели качества товаров широкого потребления.

2.5. Методы оценки качества продукции в целом

Уровень качества продукции в целом – это относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении совокупности показателей ее качества (рассмотренных выше) с соответствующей совокупностью базовых показателей.

Базовый показатель качества – такой показатель качества продукции, который принят за исходный показатель. При сравнительных оценках качества такими показателями являются различные эталоны (длина, вес,

эталонны цвета – как базовые; если стиль, то основные характерные черты этого стиля).

Уровень качества однородной продукции может быть определен тремя различными методами:

Дифференциальный метод оценки уровня качества в целом

Основан на раздельном сопоставлении единичных показателей качества рассматриваемого изделия с аналогичными базовыми показателями. Такие показатели качества (определенные этим методом) не позволяют получить точное численное значение уровня качества продукции, однако благодаря простоте метод широко применяется.

$$Q_i = T_{iб} / T_i,$$

где Q_i – уровень качества;

T_i – показатель качества рассматриваемого изделия (единичный не комплексный);

$T_{iб}$ – единичный базовый показатель.

Комплексный метод

Он предусматривает использование обобщенных показателей качества, в отличие от дифференциального метода его можно использовать для получения однозначной числовой оценки качества.

Обобщенный показатель качества определяется по формуле:

$$Q = 17 \cdot k,$$

$$i=1,$$

где $7i$ – единичный показатель качества, выраженный в баллах.

Каждому такому показателю коэффициент весомости;

K_i – коэффициент весомости;

n – число единичных показателей (рассмотренных).

Смешанный метод

Применяется в тех случаях, когда обобщенный показатель качества, используемый в комплексном методе, недостаточно полно учитывает все

существующие свойства продукции. Он заключается в следующем: единичные показатели качества объединяют в группы, определяют соответствующий им комплексный показатель, а наиболее важные показатели качества, как правило, в группы не сводят и используют как единичный показатель качества.

2.6. Понятие о системе качества

Система качества – такой способ организации производства, который позволяет поставлять потребителю продукцию, отвечающую его требованиям.

Термин *система качества* означает совокупность организационной структуры, методик, процессов, необходимых для общего руководства качеством на всех этапах его формирования. Для потребителя система качества, которую выбрало предприятие, может являться аргументом доверия и гарантом того, что он получит продукцию желаемого качества. В настоящее время используются различные системы управления качеством, и реализуются основные принципы системного подхода к управлению системой качества.

Являются основой для готовящихся обновлений стандартов по управлению качеством ИСО серии 9000 всего 8 принципов:

1. Ориентация на потребителя.
2. Роль руководства в реализации всех принципов управления качеством является определяющей.
3. Вовлечение работников в деятельность по управлению качеством
4. Процессный подход в совокупности с системным подходом к управлению рассматривается в сочетании взаимосвязанных процессов
5. Системный подход.
6. Постоянное улучшение.
7. Принятие решений основанных на фактах.
8. Взаимно выгодные отношения с поставщиками.

В 1995 году была разработана и принята «Система сертификации систем качества и производств», которая получила название «Регистр систем качества» это система добровольной сертификации, однако она является частью государственной системы сертификации ГОСТ-Р, которая является системой обязательной сертификации.

3. СТАНДАРТИЗАЦИЯ КАК НАУКА

Объекты стандартизации (рис. 3.1.) возникли в глубокой древности. К ее первому появлению можно отнести письменность, летоисчисление, появление системы счета, появление денежных единиц, появление единиц мер и весов, такую стандартизацию называют фактической в отличие от официальной осуществляемой осознанно с научным обоснованием.



Рис. 3.1. Объекты стандартизации

В качестве научной дисциплины стандартизация официально зарегистрирована в нашей стране с 1965 года под названием теория стандартизации. Любая отрасль знания признается наукой только в том случае, если имеет свой объект, предмет и методы исследования. И объект, и предмет, и методы не придумываются, а постепенно складываются, вырисовываясь во все более четкое понимание под влиянием практики и внутренней логики. Объект науки может быть общим для ряда других наук.

Так, например, объектом многочисленных медицинских наук является человек.

Под объектом стандартизации понимают совокупность явлений и процессов народного хозяйства. Народное хозяйство является предметом исследования очень широкого спектра научных дисциплин, таких как: экономика, этика и т. д., при этом каждая научная дисциплина исследует данный объект «со своей стороны». Так, экономика исследует экономические отношения людей в процессе производства, распределения и потребления материальных благ. Предмет любой науки отвечает на вопрос «Что исследуется?», а методы определяют «Как?» или «Каким образом?» исследуется этот предмет.

Предметом стандартизации является решение на базе критериев эффективности и качества двух вопросов:

- рациональной совместимости;
- неоправданного разнообразия.

Определение стандартизации в формулировке международной организации по стандартизации:

Стандартизация – это деятельность направления на достижение оптимальной степени упорядочивания в определенной области по средствам установления положений для всеобщего и многократного использования при решении реально существующих или потенциальных задач.

Стандартизация реализует два основных свойства:

- упорядочивание;
- системобразование.

Таким образом, стандартизация представляет собой систему (упорядоченную), которая обеспечивает: совместимость деталей машин, соответствие размеров изделий, размеров тары, размеров транспорта, а также определяет термины, обеспечивающие взаимопонимание, совместимость документов и вычислительной техники.

3.1. Функции и категории стандартизации

1. Экономическая

Она заключается в совершенствовании технологических процессов труда, производства (применяется современное оборудование и материалы, совершенствуются предмет и средства труда, определяется оптимальное разнообразие номенклатуры изделия и т. д.). Все это является движущей силой научно-технологического прогресса. Экономическая функция стандартизации осуществляется за счет введения новых норм и требований, т. е. с помощью нормативных документов, а также с помощью государственных органов контроля и надзора.

2. Информационная

Проявляет себя через создание нормативных документов, каталогов продукции, эталонов мер, образцов продукции, которые являются носителями ценной информации для потребителя.

3. Социальная

Она заключается в том, что по средствам стандартов реализованных в производстве достигаются такие показатели качества продукции и услуг, которые содействуют здравоохранению, охране окружающей среды, охране имущества людей.

4. Коммуникативная

Проявляет себя через достижение взаимопонимания в обществе при обмене информацией. Этому служат стандартизованные термины, символы, трактовки понятий, а также единое правило оформления деловой, конструкторской и технологической документации.

Категории стандартов разделяются на национальные стандарты, стандарт предприятий и организации, а также международные стандарты (рис. 3.2.).



Рис. 3.2. Категории стандартов

3.2. Категории нормативных документов

В этой теме рассмотрены виды нормативных документов, даны их определения и сферы применения.

Нормативный документ о стандартизации – документ, устанавливающий правила (нормы, принципы, характеристики) касающихся объектов стандартизации различных видов деятельности, который доступен широкому кругу пользователей.

Стандарт – нормативный документ по стандартизации, разработанный на основе согласия по основным вопросам большинства заинтересованных стран и принятых официальным органом (государственный стандарт или его подразделения).

Стандарты делятся на: международный, региональный международный стандарт.

Международный стандарт – стандарт, принятый какой-либо

международной организацией по стандартизации. Статус таких стандартов добровольный (носят рекомендательный характер).

Региональный международный стандарт – стандарт, принятый международной, межправительственной, региональной организацией по стандартизации. Статус такого стандарта для стран входящих в это региональное объединение обязательно.

ГОСТ – бывший стандарт СССР, который действует. Межгосударственный стандарт для стран бывших республик.

ГОСТ-Р – стандарт, принимаемый государственным стандартом России или государственным строем. К *объектам* этого стандарта относятся организационно-методические и общетехнические объекты, а также работа, продукция и услуги, имеющие межотраслевое общенародное хозяйственное назначение.

ОСТ – отраслевой стандарт, его *объектами* являются аналогичные с ГОСТ-Р и ГОСТ объекты, имеющие, однако, исключительно отраслевое значение. *Отраслевые стандарты могут устанавливать ограничения* на ГОСТ-Р и ГОСТ, части номенклатуры (перечня), типа размеров и требований, не снижая при этом качества продукции. Такие стандарты называются *ограничителями*. Отраслевые стандарты применяют предприятия или организации употребляющие продукцию данной отрасли.

СТО – стандарты научно-технических и инженерных обществ. *Объектами* этих стандартов являются оригинальные или новые виды продукции и услуг, а также методы испытаний, новые принципы организации и управления.

СТП – стандарты предприятий (организаций). Стандарты, которые применяются на предприятии. *Объектами* этих стандартов являются детали, узлы изготавливаемых изделий, нормы и правила в области организации и управления производством. Эти стандарты могут ограничивать ГОСТ, ГОСТ-Р, ОСТ без ухудшения качества продукции.

Правила по стандартизации – нормативный документ по

стандартизации применяемый ГОСТ-Р. Эти стандарты разрабатываются на конкретные производственные процессы, связанные с решением задач по организации работ по стандартизации, метрологии, сертификации.

Норма – нормативный документ, содержащий положения, устанавливает количественные меры или качественные критерии, которые должны быть удовлетворены в процессе производства.

Рекомендации – нормативный документ, содержащий добровольное для применения правило и методы выполнения работ.

Технические условия – документ, разрабатываемый предприятием или организацией в том случае, когда разрабатывать стандарт нецелесообразно. *Объектом технических условий* может быть пробная продукция или продукция разовой доставки.

3.3. Правовые основы стандартизации

Правовые основы стандартизации обеспечиваются законом «О стандартизации». Этот закон действует во взаимосвязи с другими законодательными актами, такими как «Обеспечение единства измерений», «О сертификации продукции и услуг» и «О защите прав потребителей».

Правовые основы, устанавливаемые законом «о стандартизации», являются обязательными для всех государственных органов управления, для предприятий, предпринимателей, общественных объединений и т. д.

Закон «О стандартизации» регламентирует:

1. Организацию работ по стандартизации в РФ.
2. Международное сотрудничество в области стандартизации.
3. Виды и применение нормативных документов о стандартизации.
4. Информационное обеспечение работ по стандартизации (издание и реализация нормативных документов).
5. Порядок проведения государственного контроля и надзора по стандартизации за соблюдением требований стандартов.
6. Финансирование работ по стандартизации.

7. Ответственность за нарушение положений закона по стандартизации.

8. Экономическое стимулирование применения государственных стандартов.

Стандартизация как практическая деятельность направлена на достижение следующих целей (цели стандартизации):

- безопасность продукции и услуг для жизни и здоровья людей их имущества и для окружающей среды;
- техническая и информационная совместимость;
- обеспечение обороноспособности и мобилизационной готовности страны;
- безопасность хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях (природные или техногенные катастрофы);
- экономия всех видов ресурсов;
- обеспечение единства измерений.

Следует подчеркнуть, что деятельность по стандартизации весьма динамична, она должна отвечать изменениям, происходящим во всех сферах жизни общества, в первую очередь в технике и экономике. Стандартизация стремится успевать и предвосхищать эти изменения с тем, чтобы новые нормы, требования, правила, способствовали успешному развитию сферам производства и услуг.

3.4. Виды стандартов, применяемых в РФ

Понятие «вид стандарта» определяет содержание в зависимости от его назначения. Государственная система стандартизации устанавливает следующие *виды стандартов*:

1. Основополагающие.
2. Стандарты на продукцию и услуги.
3. Стандарты на работы (процессы).

4. Стандарт на методы контроля (на методы испытаний, методы измерений).

Разрабатываются в целях обеспечения взаимопонимания, единства подходов и взаимосвязи деятельности науки и производства. Эти стандарты устанавливают нормы, требования, правила которые рассматриваются в качестве общих и должны содействовать решению общих для науки и производства задач. основополагающие стандарты могут устанавливать научно-техническую терминологию, широко используемую в науке и производстве.

Стандарты на продукцию устанавливают требования либо к конкретному виду продукции, либо к группе однородной продукции, в зависимости от этого делятся на два вида:

- Стандарты технических условий. Содержат требования к конкретной продукции. Эти стандарты касаются производства, поставки, эксплуатации, ремонта и утилизации продукции. Эти стандарты не должны противоречить стандартам общих технических условий и содержать дополнительные (по сравнению со стандартами общих технических условий) требования к продукции.

- Стандарты общетехнических условий. Стандарты, которые содержат общие требования к группам однородной продукции. Они содержат такие границы, как:

1. Классификация.
2. Основные параметры (размеры).
3. Общие требования к качеству.
4. Требования к маркировке.
5. Требования к безопасности для жизни и имущества человека, и для окружающей среды.

Также эти стандарты содержат требования к приемке продукции, методы контроля, транспортирования и хранения.

Они устанавливают требования к конкретным видам работ, которые

осуществляются на разных стадиях существования (проектировка, производство, поставка, эксплуатация, ремонт, утилизация).

Стандарты на работу должны содержать требования по ТБ и ПБ, при работах на всех стадиях жизненного цикла продукции.

Предназначены для обеспечения всестороннего контроля всех обязательных требований к качеству продукции.

3.5. Государственный контроль и надзор за соблюдением требований государственных стандартов

В соответствии с Законом «О стандартизации» осуществляется государственный контроль и надзор за соблюдением субъектами хозяйственной деятельности обязательных требований государственных стандартов. К таким *требованиям относится* – требование по обеспечению безопасности для жизни людей их имущества, для окружающей среды, а также другие требования указанные в законах.

По содержанию контроль и надзор идентичны, различие заключается в полномочиях субъектов, которые осуществляют надзор или контроль.

В случае выявления нарушений обязательных требований государственных стандартов составляется акт проверки, который является основанием для выдачи предписаний и внесения постановления о наложении штрафа. В случае невыполнения субъектами хозяйственной деятельности полученных предписаний государственные инспекторы направляют необходимые материалы в суд в установленном порядке.

3.6. Международное сотрудничество России в области стандартизации

Успешное развитие торгового, экономического и научно-технического сотрудничества различных стран становится невозможным в настоящее время без международной стандартизации. Главной целью международного сотрудничества России в области стандартизации является согласование национальных стандартов с международными.

В настоящее время в мире существует и действует около 400 международных организаций, так или иначе занимающихся стандартизацией, наиболее известной и представительной из них является *Международная Организация по стандартизации (ИСО)*. Была создана в 1946 году по решению ООН. Целью этой организации в соответствии с уставом является содействие развитию стандартизации в мировом масштабе. Для облегчения международного товарообмена.

Среди других международных организаций по стандартизации следует назвать следующие:

1. *Международная организация законодательной метрологии*. Цель существования: международное сотрудничество, согласование работ национальных метрологических служб направленная на обеспечение сопоставимости, правильности, точности результатов измерений.

2. *Европейская организация по качеству*. Цель: повышение качества продукции и услуг.

3. *Европейский комитет по стандартизации*. Устранение в рамках Евросоюза технических барьеров, связанных с различием национальных стандартов европейских стран.

4. *Европейская организация по стандартизации*. Разработка стандартов на электротехническую продукцию.

Необходимо помнить, что международные стандарты *не являются обязательными* в каждой стране, их могут применять полностью, частично, либо вообще не применять. Это не относится к странам, заключившим соответственные договоренности.

3.7. Применение международных и национальных стандартов на территории РФ

Применение международных и национальных стандартов других стран на территории РФ возможно в трех случаях:

- принимается текст международного стандарта в качестве российского стандарта без каких-либо изменений текста. В этом случае стандарт обозначается так *ГОСТ-Р ИСО 2001-96*.

- принимается текст международного стандарта как основной, но вносятся изменения отражающие специфику российских требований. Обозначается *ГОСТ-Р 50321-92 (ИСО 7173:1989)*.

- международный стандарт используется как источник информации. Из него заимствуют отдельные положения. В этом случае в обозначении стандарта международный стандарт не указывается, но упоминается в тексте стандарта как первоисточник.

4. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПО МЕТРОЛОГИИ, КВАЛИМЕТРИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ

В практических занятиях задаются задачи, типовые решения которых рассмотрены в соответствующих разделах пособия, поэтому отдельный пример решения варианта контрольной работы приводить нецелесообразно. Перечень выносимых на итоговую аттестацию вопросов и задач в достаточно исчерпывающем объеме приведен в учебном и учебно-методическом пособиях в виде контрольных вопросов по темам и примеров решения задач.

Часть контрольных заданий носит текстовый характер. В основном это касается вопросов законодательной метрологии, технического регулирования, квалиметрии и стандартизации.

4.1. Вид и метод измерения

4.1.1. Примеры решения задач

Задача 1

Определяется ток в цепи в соответствии с законом Ома $I = U/R$, для чего используются вольтметр для измерения напряжения U и омметр для измерения сопротивления R . Измерения проводятся в одинаковых условиях, т. е. считается, что ЭДС источника питания и все влияющие величины (температура, влажность и т. д.) постоянны в течение времени измерения. Измерение проводится один раз.

Классифицировать вид и метод измерения каждой из величин.

Решение задачи

Измерения U и R – прямые (их значения устанавливаются по индикаторам соответствующих приборов непосредственно в ходе измерительного эксперимента), однократные (измерения проводятся один раз), статические (ЭДС источника и сопротивление постоянны), абсолютные (результаты измерений получаются в соответствующих единицах ФВ).

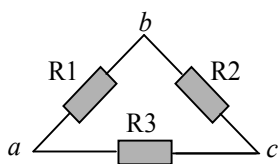
Измерение I – косвенное (определяется на основании известной зависимости по результатам прямых измерений других величин U и R), однократное, статическое, абсолютное.

Так как измерения не связаны с передачей размера единицы ФВ и производятся рабочими СИ, то все измерения технические.

Напряжение и сопротивление измеряются методом непосредственной оценки, т.к. результаты измерений определяются непосредственно по отсчетным устройствам приборов.

4.1.2. Задачи для самостоятельного решения

1) Резисторы R_1 , R_2 , R_3 соединены треугольником (см. рисунок). При измерении этих сопротивлений омметр подключается к точкам a и b , затем к точкам b и c , а далее к точкам a и c . При этом получены следующие значения $R_{ab} = 1,5 \text{ кОм}$, $R_{bc} = 2 \text{ кОм}$, $R_{ac} = 1,8 \text{ кОм}$.



Определить R_1 , R_2 , R_3 , классифицировать вид измерений, применяемый в данном случае.

2) Милливольтметр со шкалой на $N=150$ делений имеет сопротивление $R_V = 10 \text{ Ом}$ и чувствительность к току $S_I = 20 \text{ дел/мА}$.

Определить чувствительность к напряжению S_U , цену деления шкалы прибора ΔU и верхний предел измерений $U_{i\text{шк}}$.

3) Известно, что температурная зависимость электрического сопротивления металлического проводника выражается формулой $R_t = R_0(1 + At + Bt)$. Какой вид измерения необходимо применить для определения величин R_0 , A , B .

4.2. Основы теории погрешностей

4.2.1. Примеры решения задач

Задача 1

В цепи, содержащей идеальный источник напряжения U (внутреннее сопротивление $R_i = 0$) и сопротивление нагрузки R_n , измеряется сила тока амперметром с внутренним сопротивлением R_A . Амперметр измеряет силу тока абсолютно точно.

Определить абсолютную и относительную погрешность измерения тока за счет конечного значения R_A . Классифицировать измерение и погрешность измерения. Определить величину поправки, необходимой для устранения погрешности измерения.

Решение задачи

По определению абсолютная погрешность измерения

$$\Delta I = I_{изм} - I_{ист}.$$

В данном случае видно, что

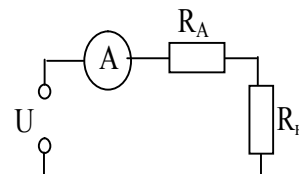
$$I_{изм} = \frac{U}{R_A + R_n},$$

а $I_{ист} = \frac{U}{R_n}$ (ток, который протекал в цепи до включения в нее амперметра), тогда

$$\Delta I = \frac{U}{R_A + R_n} - \frac{U}{R_n} = -\frac{U}{R_n} \cdot \frac{R_A}{(R_A + R_n)}.$$

Относительная погрешность

$$\delta = \frac{\Delta I}{I_{ист}} = -\frac{R_A}{R_A + R_n} = -\frac{1}{1 + \frac{R_n}{R_A}}.$$



Отсюда следует общеизвестный вывод: для обеспечения малой методической погрешности измерения амперметр должен обладать малым сопротивлением, т. е. должно выполняться условие $R_A \ll R_n$.

Погрешность измерения является в данном случае **методической**, т. к. обусловлена неидеальностью метода измерения (по условию задачи амперметр измеряет силу тока абсолютно точно, т. е. инструментальные погрешности отсутствуют); **систематической** (т. к. при многократных измерениях погрешность остается постоянной). Само измерение можно классифицировать как **прямое, непосредственной оценки, абсолютное, однократное, статическое**.

Поправка A_R , необходимая для устранения систематической погрешности, представляет собой абсолютную погрешность, взятую с противоположным знаком, т. е.

$$A_R = -\Delta I = \frac{U}{R_H} \cdot \frac{R_A}{(R_A + R_H)}.$$

Задача 2

Миллиамперметр с пределом измерения $I_{\text{шк}} = 100 \text{ мА}$ показал результат измерения тока $I_{\text{изм}} = 76 \text{ мА}$. При этом известно, что действительное значение $I_{\text{дст}} = 75 \text{ мА}$. Определить абсолютную, относительную и приведенную погрешности измерения.

Решение задачи

Известно, что абсолютная погрешность $\Delta I = I_{\text{изм}} - I_{\text{ист}}$, но т.к. истинное значение ФВ мы никогда не можем знать, то в метрологии истинное значение при всех вычислениях заменяют действительным значением, т. е.

$$\Delta I = I_{\text{изм}} - I_{\text{дст}} = (76 - 75) \text{ мА} = 1 \text{ мА}.$$

Относительная погрешность

$$\delta = \frac{\Delta I}{I_{\text{ист}}} = \frac{\Delta I}{I_{\text{дст}}} = \frac{1}{75} = 0,013 = 1,3 \, \%.$$

Приведенная относительная погрешность по определению:

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{\Delta I}{I_{\text{нормир}}} = \frac{\Delta I}{I_{\text{шк}}} = \frac{1}{100} = 0,01 = 1 \, \%.$$

Задача 3

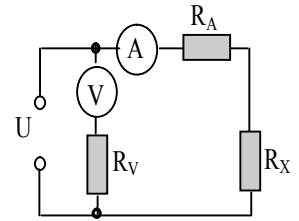
Методом амперметра-вольтметра по приведенной схеме измеряется сопротивление R_X . Показания приборов:

$$I_A = 0,03 \text{ A}; \quad U_V = 9 \text{ В};$$

$$R_A = 3 \text{ Ом}; \quad R_V = 10 \text{ кОм}.$$

Определить:

- 1) результат измерения;
- 2) абсолютную и относительную методические погрешности измерения;
- 3) исправленный результат измерения.



Решение задачи

Результат измерения в соответствии с указанным методом определяется на основании закона Ома по показаниям приборов

$$R_{X \text{ изм}} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{9}{0,03} = 300 \text{ Ом}.$$

Абсолютная методическая погрешность измерения

$$\begin{aligned} \Delta R &= R_{X \text{ изм}} - R_{X \text{ ист}} = \frac{U_V}{I_A} - R_{X \text{ ист}} = \frac{U_A + U_X}{I_A} - R_{X \text{ ист}} = \\ &= \frac{U_A}{I_A} + \frac{U_X}{I_A} - R_{X \text{ ист}} = \frac{U_A}{I_A} + R_{X \text{ ист}} - R_{X \text{ ист}} = \frac{U_A}{I_A} = R_A = 3 \text{ Ом}, \end{aligned}$$

где U_X и U_A – падения напряжения на R_X и R_A соответственно, а I_X – ток через R_X .

Относительная методическая погрешность измерения

$$\delta = \frac{\Delta R}{R_{X \text{ ист}}}.$$

Найдем $R_{X \text{ ист}}$, это исправленный результат измерения с учетом внесенной поправки $A_R = -\Delta R = -R_A = 3 \text{ Ом}$, тогда

$$R_{X \text{ ист}} = R_{X \text{ изм}} + A_R = (300 - 3) \text{ Ом} = 297 \text{ Ом}$$

$$\text{и } \delta = \frac{\Delta R}{R_{X \text{ ист}}} = \frac{3}{297} \cdot 100 \% = 1,01 \%.$$

Задача 4

При обработке результатов измерений напряжения получены следующие оценки погрешности: систематическая погрешность $\Delta U_{\text{сист}} = +20 \text{ мВ}$; среднеквадратическая погрешность $S = 40 \text{ мВ}$. Случайная погрешность распределена по нормальному закону.

Определить вероятность того, что результат измерения отличается от истинного значения ФВ не более чем на $\Delta U = \pm 100 \text{ мВ}$. Решить задачу для двух случаев:

- 1) систематическая погрешность из результата измерения не устраняется;
- 2) систематическая погрешность устраняется.

Решение задачи

1) Первый вариант задачи

Понятно, что истинное значение измеряемой величины имеет погрешность, равную нулю, т. е. необходимо определить вероятность попадания погрешности в интервал $\Delta U_{\text{н}} = -100$, $\Delta U_{\text{г}} = +100 \text{ мВ}$ относительно нуля. Кроме того, известно, что систематическая погрешность представляет собой математическое ожидание реального закона распределения погрешности, т. е. $M[\Delta U] = \Delta U_{\text{сист}} = +20 \text{ мВ}$. Вероятность попадания в требуемый интервал определяется выражением

$$P[\Delta U_{\text{н}} < \Delta U < \Delta U_{\text{г}}] = \int_{\Delta U_{\text{н}}}^{\Delta U_{\text{г}}} p(x) dx,$$

а для нормального закона распределения

$$\begin{aligned} P &= F\left(\frac{\Delta U_{\text{г}} - M}{S}\right) - F\left(\frac{\Delta U_{\text{н}} - M}{S}\right) = \\ &= F\left(\frac{100 - 20}{40}\right) - F\left(\frac{-100 - 20}{40}\right) = F(2) - F(-3), \end{aligned}$$

где F – интегральная функция нормированного нормального распределения. Из соответствующей таблицы П.1 Приложения найдем, что $F(2) = 0,9773$; $F(-3) = 0,00135$, тогда

$$P = 0,9773 - 0,00135 = 0,97595 .$$

2) Второй вариант задачи

При устранении систематической погрешности математическое ожидание становится равным нулю, т. е. $M[\Delta U] = 0$ и интервал становится симметричным, т. е. $\Delta U = \pm 100 \text{ мВ}$. Тогда

$$P = F\left(\frac{+100}{40}\right) - F\left(\frac{-100}{40}\right) = 0,9938 - 0,0062 = 0,9876 .$$

Задача 5

При измерении сопротивления получены следующие оценки результата измерения и погрешностей: $\bar{R} = 152,84 \text{ Ом}$, составляющие НСП $\theta_1 = 1,2 \text{ Ом}$; $\theta_2 = 1,0 \text{ Ом}$; $\theta_3 = 0,8 \text{ Ом}$, составляющие нормально распределенной случайной погрешности $S_1 = 0,8 \text{ Ом}$; $S_1 = 0,6 \text{ Ом}$.

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_d = 0,95$.

Решение задачи

Для определения общей погрешности измерения необходимо просуммировать отдельно составляющие систематической погрешности θ_i , отдельно составляющие случайной погрешности S_i и затем сложить полученные суммарные значения НСП и случайной погрешности в соответствии с правилами суммирования погрешностей. Тогда границы систематической погрешности

$$\begin{aligned} \theta_{\Sigma}(P_d) &= k(P_d) \sqrt{\sum_{i=1}^3 \theta_i^2} = k(0,95) \sqrt{\theta_1^2 + \theta_2^2 + \theta_3^2} = \\ &= 1,1 \sqrt{1,2^2 + 1,0^2 + 0,8^2} = 1,95 \text{ Ом} , \end{aligned}$$

а СКП систематической погрешности

$$S_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \frac{\theta_i^2}{3}} = \sqrt{\frac{1,2^2 + 1,0^2 + 0,8^2}{3}} = \sqrt{\frac{3,08}{3}} = 1 .$$

В условии задачи отсутствует указание величин коэффициента корреляции, следовательно, составляющие случайной погрешности некоррелированы (независимы) и суммарная СКП:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^2 S_i^2} = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} = \sqrt{0,8^2 + 0,6^2} = 1 \text{ Ом}.$$

Границы доверительного интервала случайной погрешности $\varepsilon_{\Sigma} = t_H(P_D) \cdot S_{\Sigma} = 1,96 \cdot 1 = 1,96$, где $t_H(P_D)$ – коэффициент нормального закона распределения.

Далее необходимо сложить систематическую и случайные составляющие погрешности. Сначала определяем соотношение

$$\theta_{\Sigma}/S_{\Sigma} = \frac{1,95}{1} = 1,95, \text{ т.е. } 0,8 < \theta_{\Sigma}/S_{\Sigma} < 8.$$

Тогда

$$\Delta R_{\text{общ}}(P_D) = K_{\Sigma} \cdot S_{\text{общ}}, \text{ где } K_{\Sigma} = \frac{\varepsilon_{\Sigma} + \theta_{\Sigma}}{\varepsilon_{\Sigma} + S_{\theta}} = \frac{1,96 + 1,95}{1 + 1} = 1,95.$$

$$S_{\text{общ}} = \sqrt{S_{\Sigma}^2 + S_{\theta}^2} = \sqrt{1^2 + 1^2} = 1,41 \text{ и}$$

$$\Delta R_{\text{общ}}(0,95) = 1,95 \cdot 1,41 = 2,7495 \text{ Ом}.$$

Результат измерения с учетом правил округления погрешности и результата запишется в следующем виде

$$R = \bar{R} \pm \Delta R_{\text{общ}}, P_D, \text{ т.е. } R = (152,8 \pm 2,7) \text{ Ом}, P_D = 0,95.$$

Задача 6

Проведено 10 измерений емкости конденсатора. Получена оценка математического ожидания $\bar{C} = 125,54 \text{ нФ}$; СКП отдельного измерения $S = 1,2 \text{ нФ}$. Определить границы доверительного интервала погрешности при доверительной вероятности $P_D = 0,95$. Записать результат измерения.

Решение задачи

Границы доверительного интервала погрешности результата многократных измерений при заданной P_D и n определяются выражением

$$\varepsilon_{\bar{X}}(P_D) = t_S(P_D, n) \cdot S_{\bar{X}} = t_S(P_D, n) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}},$$

где $t_S(P_D, n)$ – коэффициент Стьюдента (находится из таблицы П.3 Приложения); $S_{\bar{x}}$ – СКП результата измерения; S – СКП отдельного измерения. Применительно к нашей задаче имеем

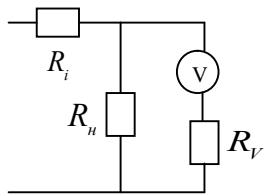
$$\varepsilon_{\bar{C}}(P_D = 0,95) = t_S(0,95; 10) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} = 2,262, \quad \frac{1,2}{\sqrt{10}} = 0,859 \text{ нФ}.$$

Результат измерения может быть записан в следующем виде $C = \bar{C} \pm \varepsilon_{\bar{C}}$; $P_D = \dots$; $n = \dots$, тогда с учетом правил округления погрешности и результата измерения

$$C = (125,5 \pm 0,9) \text{ нФ}; \quad P_D = 0,95; \quad n = 10.$$

4.2.2. Задачи для самостоятельного решения

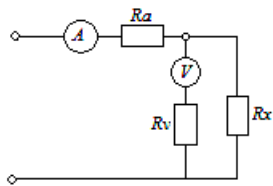
1. В цепи, содержащей источник напряжения U с внутренним сопротивлением R_i и сопротивлением нагрузки R_n ,



измеряется падение напряжения на сопротивлении R_n вольтметром V с внутренним (входным) сопротивлением R_V .

Определить абсолютную и относительную погрешности измерения за счет конечного значения R_V . Классифицировать измерение и погрешность. Определить поправку, необходимую для устранения погрешности.

2. Методом амперметра-вольтметра по приведенной



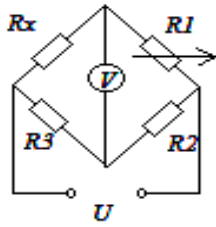
схеме измеряется сопротивление R_X . Показания приборов $U_V = 10 \text{ В}$, $I_A = 1 \text{ А}$, $R_A = 1 \text{ Ом}$, $R_V = 1000 \text{ Ом}$.

Определить результат измерения, абсолютную и относительную погрешности измерения, исправленный результат измерения.

3. Известно, что для случайной погрешности измерения силы тока, равновероятно распределенной с нулевым математическим ожиданием, границы доверительного интервала при доверительной вероятности $P_D = 0,8$ равны $\pm 10 \text{ мА}$.

Определить максимально возможные границы интервала погрешности и среднеквадратическое отклонение погрешности.

4. Сопротивление R_x измеряется мостовым методом.



В четырехплечем мосту номинальные значения резисторов $R_2 = R_3 = 100 \text{ Ом}$. При равновесии моста сопротивление образцового резистора $R_1 = 100,8 \text{ Ом}$. После перемены R_x и R_1 местами (для устранения погрешности за счет отклонения реальных значений R_2 и R_3 от их номинальных значений) равновесие моста достигается при $R_1^* = 100,2 \text{ Ом}$.

Определить действительные значения R_x и соотношения R_2 / R_3 , классифицировать измерение, метод измерения и метод устранения погрешности.

5. При многократных измерениях сопротивления резистора с объемом выборки $n = 12$ получена оценка СКП отдельного измерения $S = 1 \text{ Ом}$. Определить границы доверительного интервала погрешности результата измерений $\bar{R} = 252,73 \text{ Ом}$ при доверительной вероятности $P_d = 0,95$. Записать результат измерения.

6. При измерении напряжения милливольтметром с СКП $S = 1,0 \text{ мВ}$ по результатам 10 наблюдений получены границы доверительного интервала погрешности $\varepsilon_{\bar{U}} = \pm 0,8 \text{ мВ}$. Сколько потребуется наблюдений для обеспечения такой же погрешности при той же доверительной вероятности при использовании другого прибора с СКП $S = 1,5 \text{ мВ}$?

7. При измерении силы тока получено: $\bar{I} = 10,2 \text{ мА}$; составляющие случайной погрешности $S_1 = 0,5 \text{ мА}$, $S_2 = 0,6 \text{ мА}$, $S_3 = 0,4 \text{ мА}$; составляющие систематической погрешности $\theta_1 = 1 \text{ мА}$, $\theta_2 = 0,5 \text{ мА}$. Записать результаты измерения при $P_d = 0,9$.

4.3. Обработка результатов измерений

4.3.1. Примеры решения задач

Задача 1

Измерения напряжения производятся тремя вольтметрами с одинаковым пределом шкалы $U_{шк} = 10 \text{ В}$. Все три вольтметра при измерении показали один и тот же результат $U_{изм} = 7 \text{ В}$. Классы точности приборов различны и обозначены следующим образом: 2,0; $\textcircled{2,0}$; 2,0/1,0.

Определить погрешности измерения напряжения каждым вольтметром и записать результаты измерений.

Решение задачи

Для первого вольтметра абсолютная основная погрешность (границы интервала погрешности) определяется выражением

$$\Delta U_1 = \frac{\gamma_1 \cdot U_{шк}}{100\%} = \frac{2,0 \cdot 10}{100} = 0,2 \text{ В}.$$

Результат измерения запишется как $U_{изм1} = (7 \pm 0,2) \text{ В}$.

Для второго вольтметра погрешность

$$\Delta U_2 = \frac{\gamma_2 \cdot U_{изм}}{100\%} = \frac{2,0 \cdot 7}{100} = 0,14 \text{ В}.$$

А результат $U_{изм2} = (7 \pm 0,14) \text{ В}$.

Для третьего вольтметра относительная погрешность

$$\delta = c + d(U_{шк}/U_{изм} - 1) = 2,0 + 1,0(10/7 - 1) = 2,429\%$$

(c и d имеют размерность %). Абсолютная погрешность

$$\Delta U = \frac{\delta \cdot U_{изм}}{100\%} = \frac{2,429 \cdot 7}{100} = 0,17 \text{ В}.$$

Результат измерения $U_{изм3} = (7 \pm 0,17) \text{ В}$.

Задача 2

При измерении напряжения вольтметр класса точности $\gamma = 1,0$ с пределом шкалы $U_{шк} = 100 \text{ В}$ показал $U_{изм} = 85,92 \text{ В}$. Измерение проводилось при температуре $t^0 = 50^\circ \text{C}$ и напряжении питания прибора $U_{пит} = 240 \text{ В}$.

Из нормативно-технической документации на прибор известно: нормальные условия эксплуатации прибора $t_0^0 = 20^\circ\text{C}$; $U_{\text{ном}} = 220\text{ В}$; дополнительная температурная погрешность не превышает половины основной при изменении температуры на каждые 20°C ; дополнительная погрешность за счет напряжения питания не превышает основной при изменении напряжения питания на каждые 10 В .

Записать результат измерения.

Решение задачи

Запись результата измерения должна содержать сам результат, погрешность результата и вероятность этой погрешности. Результат измерения известен, следовательно, необходимо определить общую (полную, эксплуатационную) погрешность измерения. Она будет состоять из основной погрешности (определяется классом точности) и двух дополнительных погрешностей (за счет отклонения температуры и напряжения питания от нормальных значений).

Основная погрешность, согласно обозначению класса точности,

$$\Delta U_{\text{осн}} = \frac{\gamma \cdot U_{\text{изм}}}{100} = \frac{1,0 \cdot 100}{100} = 1\text{ В}.$$

Дополнительная температурная погрешность

$$\Delta U_{\text{донт}} = K_t \cdot \Delta U_{\text{осн}} \frac{t_{\text{изм}}^0 - t_0^0}{t_{\text{нормир}}^0} = 0,5 \cdot 1 \cdot \frac{50 - 20}{20} = 0,75\text{ В}.$$

Здесь коэффициент влияния $K = 0,5$ (из условия – «половины основной»), $t_{\text{нормир}}^0 = 20^\circ\text{C}$ (из условия – «на каждые 20°C »). Аналогично, дополнительная погрешность за счет напряжения питания

$$\Delta U_{\text{доп,пит}} = K_{\text{пит}} \cdot \Delta U_{\text{осн}} \frac{U_{\text{пит,изм}} - U_{\text{пит}0}}{U_{\text{пит,норм}}} = 1 \cdot 1 \cdot \frac{240 - 220}{10} = 2\text{ В}.$$

Далее необходимо просуммировать все эти составляющие погрешности, чтобы получить общую погрешность измерения. Известно, что основная погрешность, определяемая паспортными характеристиками прибора, представляет собой границы интервала погрешности и считается

распределенной равномерно. В этом случае, согласно правилам суммирования погрешностей, границы интервала полной погрешности определяются выражением $\theta_{\Sigma}(P_D) = k(P_D) \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \theta_i^2}$, где $k(P_D)$ – коэффициент, зависящий от выбранной доверительной вероятности P_D , а θ_i – границы интервалов отдельных составляющих погрешности. Доверительная вероятность нам в условии задачи не задана, следовательно, необходимо воспользоваться известными рекомендациями, считая, что данные измерения представляют собой обычные технические электрорадиоизмерения. Тогда рекомендуемое $P_D = 0,95$ и $k(0,95) = 1,1$.

Применительно к нашей задаче полная погрешность измерения

$$\Delta U_{\text{общ}}(0,95) = k(0,95) \sqrt{\sum_{i=1}^3 \Delta U_i^2} = 1,1 \sqrt{\Delta U_{\text{осн}}^2 + \Delta U_{\text{донт}}^2 + \Delta U_{\text{дон, num}}^2}$$

или

$$\Delta U_{\text{общ}} = 1,1 \sqrt{1^2 + 0,75^2 + 2^2} = 2,5943 \text{ В}.$$

Результат измерения, с учетом правил округления,

$$U_{\text{изм}} = (85,9 \pm 2,6) \text{ В}; P_D = 0,95.$$

Задача 3

При многократных измерениях сопротивления резистора получены следующие результаты: 10; 10,1; 10,2; 9,8; 9,9; 10; 9,9; 10,1; 10,8; 10 Ом.

Записать результат измерения при доверительной вероятности 0,95.

Решение задачи

Подсчитываем количество наблюдений: $n = 10$. Так как при $n < 15 - 20$ невозможно идентифицировать закон распределения, то этот пункт из стандартного алгоритма обработки многократных измерений опускаем. Используем упрощенный алгоритм обработки, который начинается с пункта:

1) Удаление промахов. Условие промаха

$$\left| \frac{X_i - \bar{X}}{S} \right| > t_{\alpha}(P_D, n),$$

где X_i – подозрительный на наличие промаха результат измерения из полученной выборки; $t_{cp}(P_d, n)$ – коэффициент допускаемых нормированных отклонений (границы интервала цензурирования), выбирается при заданных P_d и n из таблицы П.2 Приложения. Определяем для нашей задачи

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^{10} \frac{R_i}{10} = 10,08 \text{ Ом}; \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (R_i - \bar{R})^2}{10-1}} = 0,27 \text{ Ом}.$$

Зададимся доверительной вероятностью $P_d = 0,95$ (рекомендуется брать 0,9–0,99) и из таблицы П.2 Приложения найдем $t_{cp}(0,95; 10) = 2,414$. Промехи удаляют итеративно, по одному. Начинают проверку R_i с величины, наиболее отстоящей от $\bar{R}$. В нашей задаче это $R_i = 10,8$. Тогда

$$\frac{10,8 - 10,08}{0,27} = 2,667 > t_{cp} = 2,414.$$

Условие промаха выполняется, то есть $R_i = 10,8$ – промах. Его удаляем из ряда многократных измерений. Теперь $n = 9$. Продолжаем проверку на наличие промахов. Пересчитываем вновь значения

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^9 \frac{R_i}{9} = 10 \text{ Ом} \text{ и } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^9 (R_i - \bar{R})^2}{9-1}} = 0,123 \text{ Ом}.$$

Опять находим наиболее удаленные от $\bar{R}$ значения R_i . Это 9,8 и 10,2, причем они равноудалены от $\bar{R}$. Проверяем, являются ли они промахами. По таблице определяем новые границы цензорского интервала $t_{cp}(0,95; 9) = 2,349$.

Условие промаха $\left| \frac{10,2 - 10}{0,123} \right| = 1,626 < 2,349$ не выполняется, то есть $R_i = 10,2$, и $R_i = 9,8$ (т. к. цензорский интервал симметричен) не являются промахами. Все остальные R_i расположены к $\bar{R}$ еще ближе, следовательно, тем более не являются промахами, их индивидуальная проверка нецелесообразна.

2) *Результат измерения, погрешность.* За результат измерения принимается среднее арифметическое ряда наблюдений без промахов $\bar{R} = 10$ Ом. Границы доверительного интервала погрешности

$$\varepsilon = t_S(P_D, n) \cdot S_{\bar{R}} = t_S(P_D, n) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}.$$

Здесь $t_S(P_D, n)$ – коэффициент Стьюдента, выбирается из таблицы П.3 Приложения. В нашем случае $t_S(0,95,9) = 2,306$. Тогда

$$\varepsilon = 2,306 \frac{0,123}{\sqrt{9}} = 0,0943 \text{ Ом}.$$

Результат измерения в соответствии с правилами представления результата запишем следующим образом:

$$R_{изм} = (10 \pm 0,09) \text{ Ом}; \quad P_D = 0,95; \quad n = 9.$$

Задача 4

Определить результат и погрешность косвенного измерения напряжения $U = I \frac{(R_1 - R_2)^2}{R_3} - U_0$ по результатам прямых измерений:

$R_1 = (100 \pm 1) \text{ Ом}; \quad R_2 = (51 \pm 0,5) \text{ Ом}; \quad R_3 = 2,4 \text{ Ом}, \quad \delta R_3 = \pm 1 \%$. $U_0 = 2 \text{ В}$ – измерено вольтметром с пределом шкалы $U_{шк} = 3 \text{ В}$, класса точности $\gamma = 1,0$. $I = 9 \text{ мА}$ измерено амперметром класса точности $\gamma = (1,5)$ с пределом шкалы $I_{шк} = 10 \text{ мА}$.

Записать результат измерения.

Решение задачи

Известно, что результат косвенных измерений определяется представленной функциональной зависимостью при подстановке в нее результатов измерений аргументов. В нашем случае

$$U = I \frac{(R_1 - R_2)^2}{R_3} - U_0 = 9 \cdot 10^{-3} \frac{(100 - 51)^2}{2,4} - 2 = 7,0037 \text{ В}.$$

В общем виде погрешность косвенного измерения $\Delta y = \sum_{i=1}^n \frac{\partial F}{\partial X_i} \cdot \Delta X_i$ где

X_i – аргументы функции F , ΔX_i – их абсолютные погрешности, y –

измеряемая косвенным образом величина, $\frac{\partial F}{\partial X_i}$ – частные производные функции по соответствующим аргументам.

Определим абсолютные погрешности аргументов заданной зависимости:

$$\Delta R_1 = \pm 1 \text{ Ом}; \Delta R_2 = \pm 0,5 \text{ Ом}, \quad \Delta R_3 = \frac{\delta R_3 \cdot R_3}{100\%} = \frac{1 \cdot 2,4}{100} = 0,024 \text{ Ом},$$

$$\Delta U = \frac{\gamma_u \cdot U_{\text{шк}}}{100\%} = \frac{1 \cdot 3}{100} = 0,03 \text{ В}, \quad \Delta I = \frac{\gamma_I \cdot I_{\text{изм}}}{100\%} = \frac{1,5 \cdot 9}{100} = 0,135 \text{ мА}.$$

Частные производные:

$$\frac{\partial U}{\partial I} = \frac{(R_1 - R_2)^2}{R_3} = \frac{(100 - 51)^2}{2,4} = 1000,42,$$

$$\frac{\partial U}{\partial R_1} = I \frac{2(R_1 - R_2)}{R_3} = 9 \cdot 10^{-3} \frac{2(100 - 51)}{2,4} = 0,3675,$$

$$\frac{\partial U}{\partial R_2} = -I \frac{2(R_1 - R_2)}{R_3} = -0,3675,$$

$$\frac{\partial U}{\partial R_3} = -I \frac{(R_1 - R_2)^2}{R_3^2} = -9 \cdot 10^{-3} \frac{(100 - 51)^2}{2,4^2} = -3,7516,$$

$$\frac{\partial U}{\partial U_0} = -1.$$

Так как погрешности аргументов заданы границами интервалов, которые определены, в том числе и с помощью измерительных приборов, то можно считать, что эти погрешности распределены равномерно. Тогда, в соответствии с правилами суммирования погрешностей, общая погрешность при заданной доверительной вероятности P_d может быть определена выражением

$$\Delta U(P_d) = \kappa(P_d) \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial U}{\partial X_i} \cdot \Delta X_i \right)^2}.$$

Величина доверительной вероятности в условии задачи не указана. Необходимо воспользоваться известными рекомендациями, в которых для технических электрорадиоизмерений применяется $P_d = 0,95$. Тогда

$$\begin{aligned}\Delta U(0,95) &= k(0,95) \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial I} \Delta I\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial R_1} \Delta R_1\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial R_2} \Delta R_2\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial R_3} \Delta R_3\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial U_0} \Delta U_0\right)^2} = \\ &= 1,1 \sqrt{(1000,42 \cdot 0,135 \cdot 10^{-3})^2 + (0,3675 \cdot 1)^2 + (-0,3675 \cdot 0,5)^2 + (-3,7516 \cdot 0,024)^2 + (-1 \cdot 0,03)^2} = \\ &= 0,4871 \text{ В}.\end{aligned}$$

Запишем результат измерения с учетом правил округления

$$U = (7,0 \pm 0,5) \text{ В}, \quad P_d = 0,95.$$

Задача 5

Емкость $C = C_2 - C_1$ определена по результатам прямых измерений $C_1 = 94,8 \text{ нФ}$, $C_2 = 102,3 \text{ нФ}$. Известно, что неисключенные систематические погрешности $\theta_{C1} = 0,9 \text{ нФ}$, $\theta_{C2} = 1,1 \text{ нФ}$, а среднеквадратические отклонения случайных погрешностей, распределенных по нормальному закону, — $S_{C1} = S_{C2} = 0,5 \text{ нФ}$, коэффициент корреляции $r_{12} = 0$.

Записать результат измерения.

Решение задачи

Результат косвенного измерения определяется подстановкой результатов прямых измерений аргументов в указанную функциональную зависимость, т. е.

$$C = C_2 - C_1 = 102,3 - 94,8 = 7,5 \text{ нФ}.$$

Так как погрешности аргументов содержат и систематическую, и случайную составляющие, то для нахождения общей погрешности измерения необходимо сначала просуммировать отдельно эти погрешности по группам.

Согласно правилам суммирования погрешностей *суммарная систематическая погрешность* косвенного измерения при доверительной вероятности P_d

$$\theta_{\Sigma}(P_d) = k(P_d) \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial X_i} \theta_i\right)^2}.$$

Для нашей задачи при принятой для технических измерений доверительной вероятности $P_d = 0,95$

$$\begin{aligned}\theta_{\Sigma} &= \kappa(0,95) \sqrt{\left(\frac{\partial C}{\partial C_1} \theta_{C1}\right)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial C_2} \theta_{C2}\right)^2} = \\ &= 1,1 \sqrt{(-1 \cdot 0,9)^2 + (1 \cdot 1,1)^2} = 1,563 \text{ нФ}.\end{aligned}$$

Среднеквадратическое отклонение систематической погрешности

$$\begin{aligned}S_{\theta} &= \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^2 \left(\frac{\partial C}{\partial C_i} \theta_{Ci}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{3} [(-1 \cdot 0,9)^2 + (1 \cdot 1,1)^2]} = 0,821 \text{ нФ}.\end{aligned}$$

Суммарная случайная погрешность в общем случае определяется выражением:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial X_i} S_i\right)^2 + 2 \sum_{i < j} \frac{\partial F}{\partial X_i} S_i \frac{\partial F}{\partial X_j} S_j r_{ij}}.$$

Для нашей задачи

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^2 \left(\frac{\partial C}{\partial C_i} S_{Ci}\right)^2} = \sqrt{(-1 \cdot 0,5)^2 + (1 \cdot 0,5)^2} = 0,707 \text{ нФ}.$$

Границы доверительного интервала случайной погрешности

$$\varepsilon_{\Sigma} = t_n(P_D = 0,95) \cdot S_{\Sigma} = 1,96 \cdot 0,707 = 1,386 \text{ нФ}.$$

Здесь $t_n(P_D)$ – коэффициент нормального распределения (согласно условию задачи случайные погрешности C_1 и C_2 распределены нормально, следовательно, и суммарная случайная погрешность также распределена нормально).

Для определения общей погрешности найдем соотношение $\theta_{\Sigma} / S_{\Sigma} = 1,563 / 0,707 = 2,21$. Так как $0,8 < \theta_{\Sigma} / S_{\Sigma} < 8$, то в соответствии с правилами суммирования погрешностей общая погрешность определится как $\Delta C_{\text{общ}}(P_D) = K_{\Sigma} \cdot S_{\text{общ}}$, где

$$S_{\text{общ}} = \sqrt{S_{\Sigma}^2 + S_{\theta}^2} = \sqrt{0,707^2 + 0,821^2} = 1,083 \text{ нФ},$$

$$K_{\Sigma} = \frac{\varepsilon_{\Sigma} + \theta_{\Sigma}}{S_{\Sigma} + S_{\theta}} = \frac{1,386 + 1,563}{0,707 + 0,821} = 1,93.$$

Тогда

$$\Delta C_{\text{общ}}(0,95) = 1,93 \cdot 1,083 = 2,09 \text{ нФ}.$$

Результат измерения можно записать в следующем виде

$$C = (7,5 \pm 2,1) \text{ нФ}, \quad P_d = 0,95.$$

Задача 6

Частота f измеряется косвенно в соответствии с выражением $f = 1/2\pi RC$. Известно, что относительные случайные, нормально распределенные погрешности измерения величин R и C соответственно $\delta R = \pm 1,5\%$, $\delta C = \pm 0,5\%$. Определить значение относительной погрешности δf .

Решение задачи

По определению относительная погрешность $\delta f = \Delta f / f$. Так как доверительные вероятности, при которых оценивались интервалы погрешностей δR и δC в условии задачи не указаны, то можно считать, что эти вероятности одинаковы. Тогда для независимых нормально распределенных случайных погрешностей можно напрямую суммировать границы интервалов погрешностей в соответствии с выражением

$$\Delta f_{cl} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \Delta X_{icl} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial R} \Delta R \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial C} \Delta C \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{2\pi R^2 C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{2\pi RC^2} \right)^2}.$$

Относительная погрешность

$$\begin{aligned} \delta f = \frac{\Delta f}{f} &= \frac{1}{2\pi RC} \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{2\pi R^2 C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{2\pi RC^2} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C} \right)^2} = \\ &= \sqrt{\delta R^2 + \delta C^2} = \sqrt{1,5^2 + 0,5^2} = 1,58\%. \end{aligned}$$

4.3.2. Задачи для самостоятельного решения

1) При измерении силы тока амперметр класса точности $\gamma = 2.0$ с пределом шкалы $I_{шк} = 10 \text{ мА}$ показал $I_{изм} = 7.29 \text{ мА}$. Измерения проводились при температуре $t^0 = 40^\circ \text{C}$. Из паспортных данных прибора известно, что нормальные условия измерения $t_0^0 = 20^\circ \text{C}$ и дополнительная температурная погрешность не превышает половины основной при изменении температуры на каждые 20° . Записать результат измерения.

2) При многократных измерениях ёмкости получены следующие результаты:

40; 40.4; 40.8; 39.2; 39.6; 40; 39.6; 40.4; 44.2; $40n\Phi$.

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.95$.

3) Определить результат и абсолютную погрешность косвенного измерения реактивной мощности $Q = U \times I \sin \varphi$ по результатам прямых измерений:

– показания вольтметра с классом точности 2.5 с пределом измерения 100 В , $U = 75\text{ В}$.

– показания амперметра класса точности $\textcircled{1.0}$ с пределом измерения 10 А , $I = 4\text{ А}$, $\varphi = 30^\circ \pm 1^\circ$.

Записать результат измерения.

4) Измеряемое косвенным методом напряжение определяется выражением $U = I \cdot R_1 \cdot R_2 / R_3$

В результате прямых измерений получено, что $R_1 = (100 \pm 1)\text{ Ом}$, $R_2 = (1000 \pm 10)\text{ Ом}$; $R_3 = 200\text{ Ом}$, $\delta R_3 = \pm 1\%$. Амперметр класса точности $\textcircled{0.5}$ с пределом измерения 30 мА показал $I = 20\text{ мА}$. Записать результат измерения.

5) При многократных измерениях силы тока получены следующие результаты:

20; 20.2; 20.4; 19.6; 19.8; 20; 19.8; 20.2; 18.0; 20 мА .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.9$.

6) Построить графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей от измеряемой мощности для ваттметра с пределом шкалы $P_{\text{шк}} = 100\text{ Вт}$, класса точности 2.5. Количество расчетных точек графика ≥ 4 . Повторить задачу для прибора с классом точности 1.5/0.5.

5. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Контрольная работа состоит из 5 задач (по одной в каждой теме).
Номер варианта выбирается из таблицы 5.1.

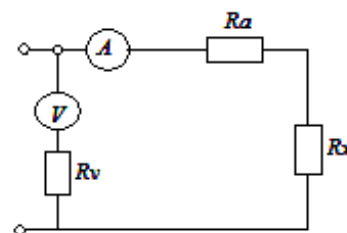
Таблица 5.1

№ раздела	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.2	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
5.3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
5.5	2	3	4	5	6	10	8	7	6	5

№ раздела	Варианты									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5.1	1	2	3	4	5	6	7	78	9	10
5.2	5	4	3	2	1	10	9	8	7	6
5.3	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
5.4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.5	4	3	2	1	7	8	1	9	9	10

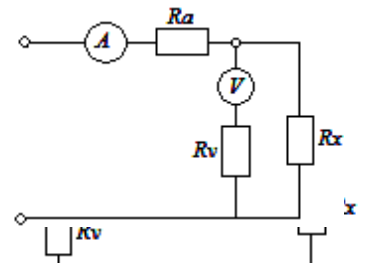
5.1. Систематические и случайные погрешности

1) Методом амперметра-вольтметра измеряется сопротивление R_x (см. рисунок). При этом R_x определяется в соответствии с законом Ома по показаниям амперметра I_A и вольтметра U_V . Известно, что $U_V = 9\text{ В}$, $R_A = 3\text{ Ом}$, $R_V = 10\text{ кОм}$. Определить абсолютную

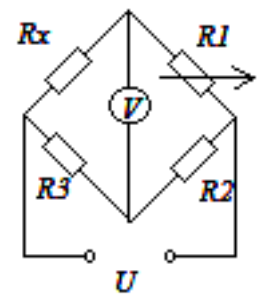


погрешность измерения, величину поправки, исправленный результат измерения, относительную погрешность измерения R_x . Классифицировать вид измерения, погрешность измерения, метод устранения погрешности.

2) Методом амперметра-вольтметра измеряется сопротивление R_X (см. рисунок). При этом R_X определяется в соответствии с законом Ома по показаниям амперметра I_A и вольтметра U_V . Известно, что $I_A = 0,1 \text{ A}$, $U_V = 1 \text{ В}$, $R_A = 10 \text{ Ом}$, $R_V = 1 \text{ кОм}$. Определить абсолютную погрешность измерения, величину поправки, исправленный результат измерения, относительную погрешность измерения R_X . Классифицировать вид измерения, погрешность измерения, метод устранения погрешности.



3) Измерения сопротивления R_X проводятся мостовым методом (см. рисунок). Меняя переменное образцовое сопротивление R_1 , добиваются баланса (равновесия) моста, т.е. нулевых показаний вольтметра. При этом выполняется условие баланса – произведения противоположных плеч моста равны между собой. Для данной конфигурации моста $R_X \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3$. Отсюда, при известных R_1 , R_2 , R_3 , находят R_X . При измерении возникает погрешность, обусловленная отличием сопротивлений вспомогательных плеч R_2 и R_3 от их номинальных значений. Для устранения этой погрешности производят второе измерение, поменяв местами R_X и R_1 . Известно, что номинальные значения $R_2 = R_3 = 1000 \text{ Ом}$. Равновесие моста при первом измерении достигается при $R'_1 = 1000,6 \text{ Ом}$, при втором измерении $R''_1 = 1000,2 \text{ Ом}$. Определить действительные значение R_X и соотношение плеч моста $n = R_2 / R_3$. Классифицировать вид и метод измерения, погрешность и метод устранения погрешности.



4) Случайная погрешность измерения напряжения распределена по нормальному закону. При обработке результатов измерений получены следующие оценки погрешности: систематическая погрешность $\Delta U_c = +20 \text{ мВ}$, случайная погрешность (СКП) – $S = 20 \text{ мВ}$. Определить вероятность того, что погрешность измерения находится в пределах $\Delta U = \pm 60 \text{ мВ}$.

5) Известно, что границы доверительного интервала погрешности измерения частоты равны $\pm 10 \text{ Гц}$ при доверительной вероятности $P_D = 0,75$. Считая, что погрешность распределена по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием, определить границы интервала с доверительной вероятностью $P_D = 0,9$.

6) Методом амперметра-вольтметра измеряется сопротивление R_X (см. рисунок). При этом R_X определяется в соответствии с законом Ома по показаниям амперметра I_A и вольтметра U_V . Известно, что $I_A = 1 \text{ мА}$, $U_V = 1 \text{ В}$, $R_A = 5 \text{ Ом}$, $R_V = 100 \text{ кОм}$. Определить абсолютную погрешность измерения, величину поправки, исправленный результат измерения, относительную погрешность измерения. Классифицировать вид измерения, погрешность измерения, метод устранения погрешности.

7) Известно, что 75 % погрешностей результатов измерения индуктивности не превосходят $\pm 2 \text{ мкГн}$ при доверительной вероятности $P_D = 0,5$. Считая, что погрешность распределена по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием, определить границы интервала с доверительной вероятностью $P_D = 0,95$.

8) Методом амперметра-вольтметра измеряется сопротивление R_X (см. рисунок). При этом R_X определяется в соответствии с законом Ома по показаниям амперметра I_A и вольтметра U_V . Известно, что $I_A = 100 \text{ мА}$, $U_V = 5 \text{ В}$, $R_A = 50 \text{ Ом}$, $R_V = 1000 \text{ Ом}$. Определить абсолютную погрешность измерения, величину поправки, исправленный результат измерения, относительную погрешность измерения R_X . Классифицировать вид измерения, погрешность измерения, метод устранения погрешности.

9) Известно, что границы доверительного интервала погрешности измерения напряжения равны $\pm 25 \text{ мВ}$ при доверительной вероятности $P_D = 0,8$. Считая, что погрешность распределена по равновероятному закону

с нулевым математическим ожиданием, определить границы интервала с доверительной вероятностью $P_D = 0.95$.

10) В результате поверки вольтметра установлено, что 60 % погрешностей результатов измерений, произведенных с его помощью, не превосходит ± 20 мВ. Считая, что погрешность распределена по равномерному закону с нулевым математическим ожиданием, определить среднюю квадратическую погрешность S .

5.2. Суммирование погрешностей

1) При измерении напряжения получено: среднее арифметическое многократных измерений $\bar{U} = 115,7$ мВ; составляющие СКП $S_1 = 1,2$ мВ, $S_2 = 0,8$ мВ, $S_3 = 1,0$ мВ; составляющие НСП $\theta_1 = 0,8$ мВ, $\theta_2 = 0,6$ мВ. Записать результаты измерения при $P_D = 0,9$.

2) При измерении частоты получено: $f = 110,3$ кГц, составляющие СКП $S_1 = 2,0$ кГц, $S_2 = 1$ кГц; составляющие НСП $\theta_1 = 1,2$ кГц, $\theta_2 = 0,8$ кГц, $\theta_3 = 2$ кГц. Записать результат измерения при $P_D = 0,95$.

3) При измерении емкости получены следующие результаты: $C' = 174,5$ пФ; составляющие НСП $\theta_1 = 2,5$ пФ, $\theta_2 = 1,6$ пФ; составляющие СКП $S_1 = 1,0$ пФ, $S_2 = 0,8$ пФ, $S_3 = 1,2$ пФ. Записать результаты измерения при $P_D = 0,9$.

4) При измерении индуктивности получены следующие результаты: $L' = 52,4$ мкГн; составляющие случайной погрешности $S_1 = 2,2$ мкГн, $S_2 = 1,7$ мкГн; составляющие систематической погрешности $\theta_1 = 3,0$ мкГн, $\theta_2 = 2,5$ мкГн, $\theta_3 = 0,8$ мкГн. Записать результаты измерения при $P_D = 0,9$.

5) При измерении напряжения вольтметром класса точности 1,0 с пределом шкалы 100 В получено показание $U = 82,5$ В. Из паспортных данных вольтметра определено, что среднеквадратическая погрешность прибора равна 0,5 В и для рабочих условий измерения дополнительная температурная погрешность не превышает основной, а дополнительная

погрешность за счет напряжения питания равна 0,8 основной погрешности вольтметра. Записать результат измерения.

6) Показания цифрового омметра с пределом шкалы 1000 Ом – $R = 910$ Ом. Из паспортных данных прибора известно, что систематическая погрешность составляет $\pm(0,2\% + \text{стоимость } 1 \text{ единицы младшего разряда кода } R)$, дополнительная температурная погрешность $\Delta R_t = \pm 1$ Ом, среднеквадратическое отклонение случайной погрешности $S = 0,7$ Ом. Записать результат измерения.

7) При измерении напряжения получены следующие результаты: $\bar{U} = 8,95$ В. Составляющие систематической погрешности $\theta_1 = 0,7$ В, $\theta_2 = 0,5$ В. Границы первой составляющей случайной погрешности $\varepsilon_1 = \pm 0,98$ В (при $P_d = 0,9$), границы второй составляющей случайной погрешности $\varepsilon_2 = \pm 1$ В (при $P_d = 0,95$). Случайные погрешности распределены по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием. Записать результат измерения при $P_d = 0,95$.

8) Показания цифрового миллиамперметра с пределом шкалы 100 мА $I = 85,4$ мА. Из паспортных данных прибора известно, что основная погрешность составляет $\pm(0,3\% + \text{стоимость } 1 \text{ единицы младшего разряда кода } I_{изм})$; дополнительная температурная погрешность равна половине основной: среднеквадратическая погрешность $S = 0,15$ мА. Записать результат измерения.

9) При измерении фазового сдвига сигналов получены следующие результаты: $\varphi' = 65,7^\circ$; составляющие случайной погрешности $S_1 = 2,5^\circ$, $S_2 = 1,4^\circ$; систематические погрешности $\theta_1 = 2,5^\circ$, $\theta_2 = 2,1^\circ$. Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_d = 0,9$.

10) При измерении мощности сигнала были получены следующие результаты: $P' = 25,2$ мВт; составляющие систематической погрешности $\theta_1 = 0,4$ мВт, $\theta_2 = 0,3$ мВт; составляющие случайной погрешности в виде границ доверительных интервалов $\varepsilon_{0,95} = 0,15$ мВт, $\varepsilon_{0,9} = 0,1$ мВт. Случайные

погрешности распределены по нормальному закону. Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0,95$.

5.3. Обработка однократных прямых измерений

Погрешности СИ

1) Вольтметр имеет предел измерения $U_{\text{шк1}} = 1\text{ В}$, класс точности $\gamma_1 = 1.0$, входное сопротивление $R_v = 1\text{ кОм}$.

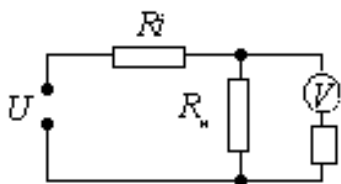
Рассчитать величину и допустимую относительную погрешность добавочного сопротивления, необходимого для изменения предела измерения до $U_{\text{шк2}} = 10\text{ В}$ и достижения общего класса точности $\gamma_2 = 0.5$.

2) Построить графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей от измеряемого фазового сдвига для фазометра с пределом шкалы $\varphi_{\text{шк}} = 180^\circ$, класса точности $1.0/0.5$. Количество расчетных точек графика ≥ 4 .

3) При измерении напряжения вольтметр класса точности $\gamma = 1.0$ с пределом шкалы $U_{\text{шк}} = 10\text{ В}$ показал $U_{\text{изм}} = 8.59\text{ В}$. Измерения проводились при температуре $t_{\text{шк}}^0 = 50^\circ\text{С}$. Из паспортных данных прибора известно, что нормальные условия измерения $t_{\text{норм}}^0 = 20^\circ$ и дополнительная температурная погрешность не превышает половины основной при изменении температуры на каждые 20° .

Записать результат измерения.

4) В электрической цепи (см. рисунок) производится измерение падения напряжения на сопротивлении R_n вольтметром V с внутренним сопротивлением R_v , пределом шкалы $U_{\text{шк}}$, класса точности γ . Известно, что $R_i = 100\text{ Ом}$; $R_n = 1\text{ кОм}$; $U = 10\text{ В}$; $R_v = 10\text{ кОм}$; $U_{\text{шк}} = 10\text{ В}$; $\gamma = 2.0$. Вольтметр показывает $U_{\text{изм}} = 8.3\text{ В}$. Определить абсолютную методическую погрешность, действительное значение падения напряжения. Записать результат измерения.



5) В электрической цепи, содержащей источник напряжения $U = 10 \text{ В}$ и сопротивление нагрузки $R_n = 10 \text{ кОм}$, измеряется ток амперметром с пределом шкалы $I_{\text{шк}} = 1 \text{ мА}$, с классом точности $\gamma = 2.5$, с внутренним сопротивлением $R_A = 1 \text{ кОм}$. Показания прибора $I_{\text{изм}} = 0.98 \text{ мА}$.

Определить абсолютную методическую погрешность и действительное значения тока. Записать результат измерения.

6) При измерении силы тока амперметр класса точности $\gamma = 2.0$ с пределом шкалы $I_{\text{шк}} = 10 \text{ мА}$ показал $I_{\text{изм}} = 7.29 \text{ В}$. Измерения проводились при температуре $t_{\text{шк}}^0 = 40^\circ$. Из паспортных данных прибора известно, что нормальные условия измерения $t_{\text{норм}}^0 = 20^\circ \text{С}$ и дополнительная температурная погрешность не превышает половины основной при изменении температуры на каждые 20° .

Записать результат измерения.

7) Построить графики зависимости абсолютной и относительной погрешностей от измеряемой мощности для ваттметра с пределом шкалы $P_{\text{шк}} = 100 \text{ Вт}$, класса точности 2.5. Количество расчетных точек графика ≥ 4 .

8) Ток полного отклонения в рамке измерительного механизма $I_H = 0.12 \text{ мА}$. Определить сопротивления шунтов R_1 и R_2 , необходимых для установления пределов измерения 5 и 0.15 мА, если сопротивление $R_A = 125 \text{ Ом}$.

9) Определить величину измеряемого тока, если известно, что погрешность измерения $\Delta I = 1.5 \text{ мА}$, а измерения проводились амперметром с пределом шкалы 100 мА, класса точности 2,0/1,0. Повторить решение этой задачи для прибора с классом точности $(2,0)$.

10) Верхний предел измерения миллиамперметра 100мА, внутреннее сопротивление 3,3 Ом, класс точности 2,0. Определить величину и допустимую погрешность сопротивления шунта, необходимого для увеличения предела измерения прибора до 300 мА и достижения класса точности прибора 2.5.

5.4. Обработка многократных измерений

1) При многократных измерениях силы тока получены следующие результаты:

20; 20.2; 20.4; 19.6; 19.8; 20; 19.8; 20.2; 21.6; 20 мА .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.9$.

2) При многократных измерениях ёмкости получены следующие результаты:

40; 40.4; 40.8; 39.2; 39.6; 40; 39.6; 40.4; 43.2; 40 нФ .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.95$.

3) При многократных измерениях напряжения получены следующие результаты:

25; 25.2; 25.4; 24.6; 24.8; 25; 24.8; 25.2; 25.6; 25 мкВ .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.95$.

4) При многократных измерениях частоты получены следующие результаты:

10; 10.1; 10.2; 9.8; 9.9; 10; 9.9; 10.1; 9.2; 10 кГц .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.9$.

5) При многократных измерениях индуктивности получены следующие результаты:

45; 45.4; 45.8; 44.2; 44.6; 45; 44.6; 45.4; 48.2; 45 мкГн .

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.9$.

6) При многократных измерениях сопротивления резистора получены следующие результаты:

10; 10.1; 10.2; 9.8; 9.9; 10; 9.9; 10.1; 10.8; 10 Ом.

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.95$.

7) При многократных измерениях индуктивности получены следующие результаты:

23; 23.2; 23.4; 22.6; 22.8; 23; 22.8; 23.2; 23.6; 23 мГн.

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.99$.

8) При многократных измерениях сопротивления резистора получены следующие результаты:

15; 15.1; 15.2; 14.8; 14.9; 15; 14.9; 15.1; 15.8; 15 Ом.

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.99$.

9) При многократных измерениях частоты получены следующие результаты:

12; 12.1; 12.2; 11.8; 11.9; 12; 11.9; 12.1; 12.9; 12 кГц.

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.9$.

10) При многократных измерениях ёмкости получены следующие результаты:

40; 40.4; 40.8; 39.2; 39.6; 40; 39.6; 40.4; 36.8; 40 нФ.

Записать результат измерения при доверительной вероятности $P_D = 0.95$.

5.5. Обработка косвенных измерений

1) Проведено измерение напряжения по формуле $U = I \left(R_1 + \frac{R_2^2}{R_3} \right)$.

Показание амперметра с пределом измерения 100 мА , класса точности $\textcircled{1.5}$

$$I = 80 \text{ мА}.$$

$$R_1 = 1 \text{ кОм}; \quad \delta R_1 = \pm 2\%; \quad R_2 = (100 \pm 1) \text{ Ом}; \quad R_3 = (91 \pm 1) \text{ Ом}.$$

Определить результат и погрешности косвенного измерения U .
Записать результат измерения.

2) Определить результат и абсолютную погрешность косвенного измерения реактивной мощности $Q = U \times I \sin \varphi$ по результатам прямых измерений:

– показания вольтметра класса точности 2.5 с пределом измерения 100 В , $U = 75 \text{ В}$;

– показания амперметра класса точности $\textcircled{1.0}$ с пределом измерения 10 А , $I = 4 \text{ А}$, $\varphi = 30^\circ \pm 1^\circ$.

Записать результат измерения.

3) Измерение сопротивления осуществляется в соответствии с выражением $R_x = \frac{UR_0}{R_0I - U}$. Известно, что $R_0 = 3.0 \text{ кОм}$; $\delta R_0 = \pm 5\%$. Показание

вольтметра класса точности 2.0 с пределом измерения 10 В , $U = 7.5 \text{ В}$.

Показания амперметра с классом точности с пределом $\textcircled{2.5}$ измерения 30 мА ,

$$I = 18 \text{ мА}.$$

Определить результат и погрешность косвенного измерения R_x .
Записать результат измерения.

4) Измеряемое косвенным методом напряжение определяется выражением $U = I \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$.

$$\text{Известно, что } R_1 = (3.0 \pm 0.03) \text{ кОм}; \quad R_2 = (5.1 \pm 0.08) \text{ кОм}.$$

Амперметр класса точности 0.5 с пределом измерения 100 мА показал 70 мА.

Определить результат и погрешность измерения напряжения. Записать результат измерения.

5) При измерении величины сопротивления применяется формула: $R = \frac{U}{I} + 5R_0$. Показание вольтметра класса точности 2.0 с пределом измерения 1 В, $U = 800$ мВ. Показания амперметра класса точности (1.0) с пределом измерения 10 мА, $I = 8$ мА, $R_0 = 10$ Ом, $\delta R_0 = \pm 5\%$.

Определить абсолютную погрешность косвенного измерения сопротивления. Записать результат измерения.

6) Измеряемое косвенным методом напряжение определяется выражением $U = I \times R_1 \times \frac{R_2}{R_3}$.

В результате прямых измерений получено, что $R_1 = (100 \pm 1)$ Ом, $R_2 = (1000 \pm 10)$ Ом; $R_3 = 200$ Ом, $\delta R_3 = \pm 1\%$.

Амперметр класса точности 0.5 с пределом измерения 30 мА показал $I = 20$ мА.

Определить результат и абсолютную погрешность измерения напряжения. Записать результат измерения.

7) Измерение сопротивления осуществляется в соответствии с выражением: $R = \frac{U - I \times R_0}{I}$. Показание вольтметра класса точности (1.0) с пределом измерения 10 В, $U = 9$ В. Показание амперметра класса точности 2.5 с пределом измерения 10 мА, $I = 5$ мА, $R_0 = 200$ Ом, $\delta R_0 = \pm 1\%$.

Определить результат и абсолютную погрешность измерения сопротивления. Записать результат измерения.

8) Измеряемое косвенным методом напряжение определяется выражением $U = \frac{I \times (R_1^2 + R_2^2)}{R_3}$. Известно, что $R_1 = (100 \pm 2)$ Ом, $R_2 = (200 \pm 4)$ Ом;

$R_3 = 6.8 \text{ кОм}$, $\delta R_3 = \pm 1\%$. Амперметр класса точности 1.5 с пределом измерения 10 мА показал $I = 7 \text{ мА}$.

Определить результат и абсолютную погрешность измерения U .
Записать результат измерения.

9) Измерение частоты осуществляется косвенным методом в соответствии с выражением $f = 1/2\pi RC$ по результатам прямых измерений:

$$R_{\text{изм}} = 100.8 \text{ кОм}, \theta_R = 0.9 \text{ кОм}, S_R = 0.5 \text{ кОм}, P_D = 0.95.$$

$$C_{\text{изм}} = 2.35 \text{ нФ}, \theta_C = 0.05 \text{ нФ}, S_C = 0.03 \text{ нФ}, P_D = 0.95.$$

10) Измерение сопротивления выполняется косвенным методом в соответствии с законом Ома $R_x = U/I$ по результатам прямых измерений:

$$U_{\text{изм}} = 9.25 \text{ В}, \theta_U = 0.2 \text{ В}, S_U = 0.08 \text{ В}, P_D = 0.95.$$

$$I_{\text{изм}} = 7.4 \text{ мА}, \theta_I = 0.3 \text{ мА}, S_I = 0.1 \text{ мА}, P_D = 0.95.$$

5.6. Автоматизация измерений

1. Автономные микропроцессорные цифровые СИ.
2. Измерительные информационные системы. Классификация.
3. Виды обеспечения ИИС, необходимые для ее функционирования.
4. Измерительные системы, их разновидности.
5. Телеизмерительные системы.
6. Системы автоматического контроля.
7. Системы технической диагностики.
8. Системы идентификации.
9. Компьютерно-измерительные системы. Виртуальные измерительные приборы
10. Измерительно-вычислительные комплексы.

5.7. Метрологическое обеспечение

1. Обеспечение единства и точности измерений. Основные положения закона РФ «Об обеспечении единства измерений».
2. Основные принципы обеспечения единства измерений.

3. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ).
4. Понятие метрологического обеспечения (МО). Научные и технические основы МО.
5. Понятие метрологического обеспечения (МО). Правовые и организационные основы МО.
6. Виды и содержание работ по МО. Функции федерального агентства по метрологии, стандартизации и сертификации, научных метрологических институтов, региональных центров метрологии.
7. Метрологические службы государственных органов управления. Задачи и обязанности служб.
8. Метрологические службы юридических лиц. Задачи и обязанности служб.
9. Формы государственного регулирования обеспечения единства измерений.
10. Государственный метрологический надзор.
11. Сферы деятельности, в которых применяется государственное регулирование обеспечения единства измерений.
12. Поверка средств измерения.
13. Калибровка средств измерения.
14. Система воспроизведения единиц ФВ и передачи их размеров рабочим средствам измерения. Технические, организационные и нормативные основы системы.
15. Эталоны.
16. Поверочные схемы и методики поверки.
17. Виды поверки СИ, методы поверки.

5.8. Техническое регулирование

1. Техническое регулирование. Области применения, цели, принципы регулирования.
2. Правовая основа технического регулирования. Основные положения закона РФ «О техническом регулировании».
3. Технические регламенты. Цели принятия, виды технических регламентов.
4. Технические регламенты. Содержание и применение.
5. Порядок разработки, принятия, изменения и отмены технических регламентов.
6. Государственный контроль за соблюдением требований технических регламентов.
7. Ответственность и процедуры, применяемые в случаях несоответствия требованиям технических регламентов.

5.9. Стандартизация

1. Определение понятия стандартизации. Функции, цели, объекты, области и уровни стандартизации.
2. Правовые основы стандартизации в РФ. Основные положения закона РФ «Об основах технического регулирования в РФ».
3. Цели и принципы стандартизации.
4. Виды стандартизации.
5. Методы стандартизации.
6. Государственная система стандартизации (ГСС). Научная и организационная основы стандартизации.
7. Нормативные документы по стандартизации.
8. Виды стандартов.
9. Национальные стандарты. Общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации. Сводные правил.

10. Стандарты общественных научно-технических организаций, стандарты объединений юридических лиц, стандарты коммерческих организаций.

11. Органы и службы стандартизации в РФ.

5.10. Подтверждение соответствия. Сертификация

1. Подтверждение соответствия. Цели и принципы подтверждения соответствия.

2. Добровольное подтверждение соответствия (добровольная сертификация).

3. Обязательное подтверждение соответствия. Объекты и формы обязательного подтверждения соответствия.

4. Обязательная сертификация.

5. Декларирование соответствия.

6. Системы сертификации.

7. Схемы сертификации.

8. Органы по сертификации. Их полномочия, аккредитация.

9. Сертификация средств связи.

10. Сертификация средств измерений.

5.11. Приложение

Статистические таблицы

Таблица П.1 – Интегральная функция нормального распределения

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{t^2/2} \cdot dt$$

<i>z</i>	0.08	0.06	0.04	0.02	0.00
–3.3	0.00036	0.00039	0.00042	0.00045	0.00048
–3.2	0.00052	0.00056	0.00060	0.00064	0.00069
–3.1	0.00074	0.00079	0.00085	0.00090	0.00097
–3.0	0.00104	0.00111	0.00118	0.00126	0.00135
–2.9	0.0014	0.0015	0.0016	0.0017	0.0019

Продолжение таблицы П1

−2.8	0.0020	0.0021	0.0023	0.0024	0.0026
−2.7	0.0027	0.0029	0.0031	0.0033	0.0035
−2.6	0.0037	0.0039	0.0041	0.0044	0.0047
−2.5	0.0049	0.0052	0.0055	0.0059	0.0062
−2.4	0.0066	0.0069	0.0073	0.0078	0.0082
−2.3	0.0087	0.0091	0.0096	0.0102	0.0107
−2.2	0.0113	0.0119	0.0125	0.0132	0.0139
−2.1	0.0146	0.0154	0.0162	0.0170	0.0179
−2.0	0.0188	0.0197	0.0207	0.0217	0.0228
−1.9	0.0239	0.0250	0.0262	0.0274	0.0287
−1.8	0.0301	0.0314	0.0329	0.0344	0.0359
−1.7	0.0375	0.0392	0.0409	0.0427	0.0446
−1.6	0.0465	0.0485	0.0505	0.0556	0.0578
−1.5	0.0571	0.0594	0.0618	0.0643	0.0668
−1.4	0.0694	0.0721	0.0749	0.0778	0.0808
−1.3	0.0838	0.0869	0.0901	0.0934	0.0968
−1.2	0.1003	0.1038	0.1075	0.1112	0.1151
−1.1	0.1190	0.1230	0.1271	0.1314	0.1357
−1.0	0.1401	0.1446	0.1492	0.1539	0.1587
−0.9	0.1635	0.1685	0.1736	0.1788	0.1841
−0.8	0.1894	0.1949	0.2005	0.2061	0.2119
−0.7	0.2177	0.2236	0.2297	0.2358	0.2420
−0.6	0.2483	0.2546	0.2611	0.2678	0.2743
−0.5	0.2810	0.2877	0.2946	0.3015	0.3085
−0.4	0.3156	0.3288	0.3300	0.3372	0.3446
−0.3	0.3520	0.3594	0.3669	0.3745	0.3821
−0.2	0.3897	0.3974	0.4052	0.4129	0.4207
−0.1	0.4286	0.4364	0.4443	0.4522	0.4602

z	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08
+0.0	0.5000	0.5080	0.5160	0.5239	0.5319
+0.1	0.5398	0.5478	0.5557	0.5636	0.5714
+0.2	0.5793	0.5871	0.5948	0.6026	0.6103
+0.3	0.6179	0.6255	0.6331	0.6406	0.6480
+0.4	0.6554	0.6628	0.6700	0.6772	0.6844
+0.5	0.6915	0.6985	0.7054	0.7123	0.7190
+0.6	0.7257	0.7324	0.7389	0.7454	0.7517
+0.7	0.7580	0.7642	0.7704	0.7764	0.7823
+0.8	0.7881	0.7939	0.7995	0.8051	0.8106
+0.9	0.8159	0.8212	0.8264	0.8315	0.8365
+1.0	0.8413	0.8461	0.8505	0.8554	0.8599
+1.1	0.8643	0.8686	0.8729	0.8770	0.8810
+1.2	0.8849	0.8888	0.8925	0.8962	0.8997
+1.3	0.9032	0.9066	0.9099	0.9131	0.9162
+1.4	0.9192	0.9222	0.9251	0.9279	0.9306
+1.5	0.9332	0.9357	0.9382	0.9406	0.9429
+1.6	0.9452	0.9474	0.9495	0.9515	0.9535
+1.7	0.9552	0.9573	0.9591	0.9608	0.9625
+1.8	0.9641	0.9656	0.9671	0.9686	0.9699
+1.9	0.9713	0.9726	0.9738	0.9750	0.9761
+2.0	0.9773	0.9783	0.9793	0.9803	0.9812
+2.1	0.9821	0.9830	0.9838	0.9846	0.9854
+2.2	0.9861	0.9868	0.9875	0.9881	0.9887
−0.0	0.4681	0.4761	0.4840	0.4920	0.5000

Продолжение таблицы П1

+2.3	0.9893	0.9898	0.9904	0.9909	0.9913
+2.4	0.9918	0.9922	0.9927	0.9931	0.9934
+2.5	0.9938	0.9941	0.9945	0.9948	0.9951
+2.6	0.9953	0.9956	0.9959	0.9961	0.9963
+2.7	0.9965	0.9967	0.9969	0.9971	0.9973
+2.8	0.9974	0.9976	0.9977	0.9979	0.9980
+2.9	0.9981	0.9983	0.9984	0.9985	0.9986
+3.0	0.99865	0.99874	0.99882	0.99889	0.99896
+3.1	0.99903	0.99910	0.99915	0.99921	0.99926
+3.2	0.99931	0.99936	0.99940	0.99954	0.99948

Таблица П.2 – Значения допускаемых нормированных отклонений

$$t_{\text{зр}}(P_{\text{д}}, n) = \frac{\max |X_i - \bar{X}|}{S}$$

Число наблюдений	Уровень значимости g (доверительная вероятность P)				
	$g = 0.001$ ($P = 0.999$)	$g = 0.005$ ($P = 0.995$)	$g = 0.01$ ($P = 0.99$)	$g = 0.05$ ($P = 0.95$)	$g = 0.1$ ($P = 0.90$)
3	1.414	1.414	1.414	1.414	1.412
4	1.732	1.730	1.728	1.710	1.689
5	1.994	1.982	1.972	1.917	1.869
6	2.212	2.183	2.161	2.067	1.996
7	2.395	2.344	2.310	2.182	2.093
8	2.547	2.476	2.431	2.273	2.172
9	2.677	2.586	2.532	2.349	2.238
10	2.788	2.680	2.616	2.414	2.294
11	2.884	2.760	2.689	2.470	2.343
12	2.969	2.830	2.753	2.519	2.387

Продолжение таблицы П.2

13	3.044	2.892	2.809	2.563	2.426
14	3.111	2.947	2.859	2.602	2.461
15	3.171	2.997	2.905	2.638	2.494
16	3.225	3.042	2.946	2.670	2.523
17	3.274	3.083	2.983	2.701	2.551
18	3.320	3.120	3.017	2.728	2.577
19	3.361	3.155	3.049	2.754	2.601
20	3.400	3.187	3.079	2.779	2.623
21	3.436	3.217	3.106	2.801	2.644
22	3.469	3.245	3.132	2.823	2.664
23	3.500	3.271	3.156	2.843	2.683
24	3.529	3.295	3.179	2.862	2.701
25	3.556	3.318	3.200	2.880	2.718
26	3.582	3.340	3.220	2.897	2.734
27	3.606	3.360	3.239	2.913	2.749
28	3.629	3.380	3.258	2.929	2.764
29	3.651	3.399	3.275	2.944	2.778
30	3.672	3.416	3.291	2.958	2.792

Таблица П.3 – Значение коэффициента $t_s(P_d, n)$ для различных доверительных вероятностей (распределение Стьюдента)

n	0.8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.999
2	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
3	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
4	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
5	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
6	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
7	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959

Продолжение таблицы П.3

8	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
9	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
10	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
11	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
12	1.363	1.796	2.201	2.718	3.103	4.487
13	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
14	1.350	1.771	2.160	2.850	3.012	4.221
15	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
16	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
17	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
18	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
19	1.330	1.734	2.103	2.552	2.878	3.992
20	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
21	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
22	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
23	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
24	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
25	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
26	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
27	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
28	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
29	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
30	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
31	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
41	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
61	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
121	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

6. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

6.1. Правила выполнения лабораторных работ

Лабораторные работы помогают студентам глубже усвоить изложенный на лекциях теоретический материал и развить навыки экспериментальной и исследовательской работы.

Подготовка к работе

Студент должен подготовиться к лабораторной работе заблаговременно, до начала занятий в лаборатории. При подготовке необходимо ознакомиться с целью работы, повторить соответствующие разделы курса, выяснить ход и предполагаемые результаты работы.

Подготовленность студента проверяет преподаватель в начале занятия. Студенты, не сумевшие ответить на контрольные вопросы предстоящей работы или не оформившие отчет по предыдущей, к выполнению лабораторной работы не допускаются, но во время занятия они должны выполнить то, что не успели сделать дома: подготовить ответы на контрольные вопросы выполняемой работы или оформить отчет по предыдущей. Такие студенты выполняют пропущенную работу в дополнительное, согласованное с преподавателем время.

Порядок выполнения

1. В лаборатории необходимо соблюдать правила внутреннего распорядка и техники безопасности и придерживаться указаний преподавателя.

2. Во время работы каждому студенту необходимо иметь калькулятор и протокол (черновик) эксперимента.

При выполнении работы следует тщательно провести все предусмотренные заданием измерения и расчеты. Результаты эксперимента нужно записывать аккуратно, указывая условия эксперимента и единицы измерений.

3. В начале измерений рекомендуется поочередно устанавливать все возможные значения аргумента, отмечая границы и характер изменяемой функции. При построении графиков следует проводить усредненные плавные кривые, а не соединять отрезками прямых экспериментальные точки, координаты которых строятся по данным таблиц экспериментов.

4. После выполнения всех предусмотренных заданием измерений и расчетов результаты анализируются, сравниваются с ожидаемыми и предъявляются преподавателю. Если они одобрены, студенту разрешается разбирать схему измерений.

5. Задание считается выполненным только после приведения рабочего места в порядок.

Оформление отчета

Отчет каждый студент оформляет самостоятельно до начала следующей работы.

Выполняется он на двойном тетрадном листе, первая страница которого является титульной. Оформляется она по общепринятой форме. Здесь приводятся названия Министерства, ВУЗа, учебной лаборатории или кафедры, номер и название лабораторной работы, список исполнителей (бригады), дата выполнения и фамилия студента, подготовившего отчет.

Содержание отчета определяется соответствующим разделом в методических указаниях к лабораторной работе. В отчете обязательно должна быть сформулирована цель работы, изображены использованные в работе схемы, приведены список использованной аппаратуры (с указанием основных технических характеристик), результаты экспериментов с необходимыми расчетами.

Желательно в конце работы сделать выводы, в которых должны быть проведены сравнения полученных результатов с ожидаемыми, проанализированы причины их расхождения, раскрыта физическая сущность результатов работы.

Защита лабораторной работы

Лабораторные работы студенты защищают индивидуально или в составе бригады в установленный срок, как правило, на следующем занятии.

Для успешной защиты лабораторной работы необходимо знать цель и ход работы, физическую сущность исследуемых процессов, их теоретическое обоснование, уметь объяснить и анализировать полученные в работе результаты.

При защите лабораторной работы в составе бригады каждый студент отвечает на поставленные лично ему вопросы из объема материала, очерченного в разделе «Контрольные вопросы». Как правило, по результатам защиты лабораторной работы выставляется оценка.

6.2. Лабораторная работа 1

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С МНОГОКРАТНЫМИ НАБЛЮДЕНИЯМИ

Цель работы: изучение методики обработки результатов прямых измерений с многократными наблюдениями; приобретение навыков измерения сопротивлений резисторов цифровым омметром.

Описание измерительной схемы цифрового омметра

Измерительной схемой омметра является четырехплечий уравновешенный мост, представляющий собой прибор сравнения, в котором измеряемое сопротивление R_x определяется путем сравнения с известными образцовыми сопротивлениями плеч моста R_2 , R_3 , R_4 (рис. 1.1).

В схеме моста: R_x – измеряемое сопротивление; R_2 – сопротивление плеча сравнения; R_3 и R_4 – сопротивления плеч отношения; СУ – сравнивающее устройство; ИП – источник питания.

Плечи R_2 и R_3 состоят из ограниченного набора точно известных сопротивлений, которые могут переключаться в процессе уравновешивания моста; плечо отношения R_4 – это пятидекадный магазин сопротивлений. СУ

омметра представляет собой усилитель постоянного тока и переключающее устройство со схемой управления уравниванием моста.

При равновесии моста потенциалы точек а и б равны, $U_{ab} = 0$, поэтому на основании второго закона Кирхгофа можно записать:

$$R_x I_1 = R_3 I_3; \quad (1.1)$$

$$R_2 I_1 = R_4 I_3, \quad (1.2)$$

откуда условие равновесия моста можно представить в виде:

$$R_x = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}. \quad (1.3)$$

В цифровом омметре процесс уравнивания моста полностью автоматизирован. Уравнивание начинается с автоматического поиска поддиапазона измерения, при котором определяются необходимые величины сопротивлений R_2 и R_3 . После выбора поддиапазона уравнивание продолжается за счет изменения сопротивления R_4 .

Изменение сопротивления R_4 осуществляется «сверху», т. е. в соответствии с алгоритмом уравнивания сопротивление уменьшается от максимального значения до необходимого. При этом сопротивление отключается, если это приводит к условию:

$$R_x < R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}. \quad (1.4)$$

Величина сопротивлений R_2 и R_3 определяет в цифровом отсчете место десятичной запятой и единицу измерения: Ω – омы, К – килоомы или М – мегомы, а величина сопротивления R_4 – численное значение измеряемого сопротивления.

Весь цикл работы – определение поддиапазона и уравнивание моста – осуществляется за десятки миллисекунд. Информация о результатах измерения может быть использована во внешних устройствах (например, ЭВМ), регистрация результатов измерения при необходимости осуществляется подключаемой к омметру цифropечатающей машинкой.

На передней панели корпуса омметра расположены следующие элементы: а) выключатель (тумблер) «Сеть»; б) кнопка «Пуск»; в) табло отсчетного устройства; г) ручка потенциометра «Время индикации»; д) разъем для подключения измерительного кабеля.

Погрешности измерения цифровым омметром

Источниками погрешностей измерений сопротивлений цифровым омметром могут быть:

- погрешность дискретности, возникающая в связи с тем, что образцовые сопротивления плеч при уравнивании моста изменяются степенями, дискретно;
- неточность изготовления плеч моста;
- погрешность из-за влияния наведенных на измеряемый объект ЭДС переменного тока с частотой питающей сети или больших промышленных импульсных помех;
- погрешность от наличия конечного значения порога чувствительности сравнивающего устройства и его изменения (дрейфа);
- погрешность из-за изменения температуры окружающего воздуха, колебания напряжения питания и т. д.

Указанные погрешности по закономерности подразделяются на систематические и случайные.

Систематическая погрешность при повторных измерениях одной и той же величины остается постоянной или изменяется по известному закону. Случайная погрешность при повторных измерениях одной и той же величины изменяется случайным образом. Примерами систематических составляющих погрешностей могут быть погрешности из-за неточности изготовления резисторов плеч моста, из-за медленных изменений

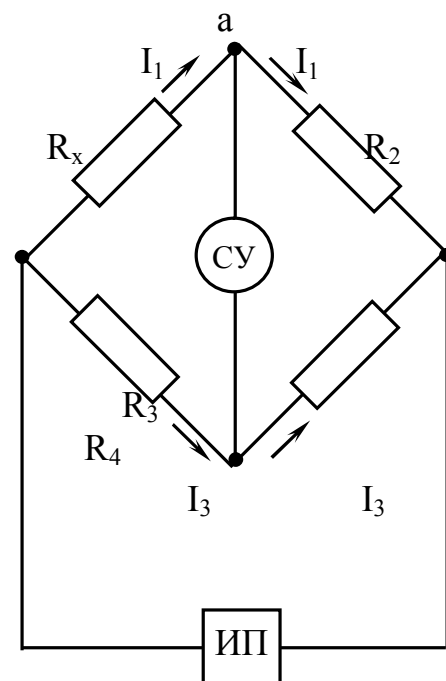


Рисунок 1.1

температуры воздуха. К случайным составляющим погрешности можно отнести погрешность дискретности, погрешность от наличия порога чувствительности сравнивающего устройства и его дрейфа, погрешности из-за влияния наводок, помех, колебаний напряжения питания и т. д.

Систематические погрешности могут быть исключены или существенно уменьшены благодаря устранению самих источников погрешностей (например, точной подгонкой сопротивлений резисторов плеч моста, применением термостабильных элементов и схем), а также путем введения поправок в показания прибора.

Указанные меры позволили в цифровом омметре свести к минимуму систематическую составляющую погрешности, которой можно пренебречь по сравнению со случайной составляющей.

В отличие от систематических погрешностей случайные погрешности не могут быть исключены из результатов измерения, так как возникают вследствие одновременного воздействия многих известных и неизвестных, зависимых и независимых причин, они непостоянны по абсолютной величине и знаку. Единственный путь уменьшения случайных погрешностей – увеличение количества измерений в одинаковых условиях. По полученным значениям определяется среднеарифметическое, которое считается наиболее вероятным значением измеряемой величины.

Для оценки точности результата измерений необходимо знать закон распределения случайных погрешностей. В практике электрических измерений один из наиболее распространенных законов распределения случайных погрешностей – нормальный закон (Гаусса).

Математическое выражение нормального закона распределения случайных погрешностей при измерении сопротивлений имеет вид:

$$P(\Delta R) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta R^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.5)$$

где $P(\Delta R)$ – плотность вероятности случайной погрешности ΔR ; σ – среднеквадратическая погрешность ряда из n наблюдений. Характер кривых, описываемых уравнением (1.1) для двух значений σ , показан на рис. 1.2.

Из кривых следует, что чем меньше σ , тем чаще встречаются малые случайные погрешности, т. е. тем точнее выполнены измерения. Кривые симметричны относительно оси ординат, так как положительные и отрицательные погрешности встречаются одинаково часто. Вероятность P появления погрешности со значениями от ΔR_1 до ΔR_2 определяется площадью заштрихованного участка на рис. 1.2 и вычисляется как определенный интеграл от функции $P(\Delta R)$:

$$P = \int_{\Delta R_1}^{\Delta R_2} P(\Delta R) d\Delta R. \quad (1.6)$$

Значения этого интеграла вычислены для различных пределов $\pm \Delta R$ и сведены в таблицы, приведенные в математических справочниках, а также в табл. 1.3 настоящих методических указаний. Интеграл, вычисленный для пределов от $\Delta R_1 = -\infty$ до $\Delta R_2 = +\infty$, равен единице, т. е. вероятность появления случайной погрешности в интервале от $-\infty$ до $+\infty$ равна единице. Это естественно, так как все погрешности имеют конечные значения.

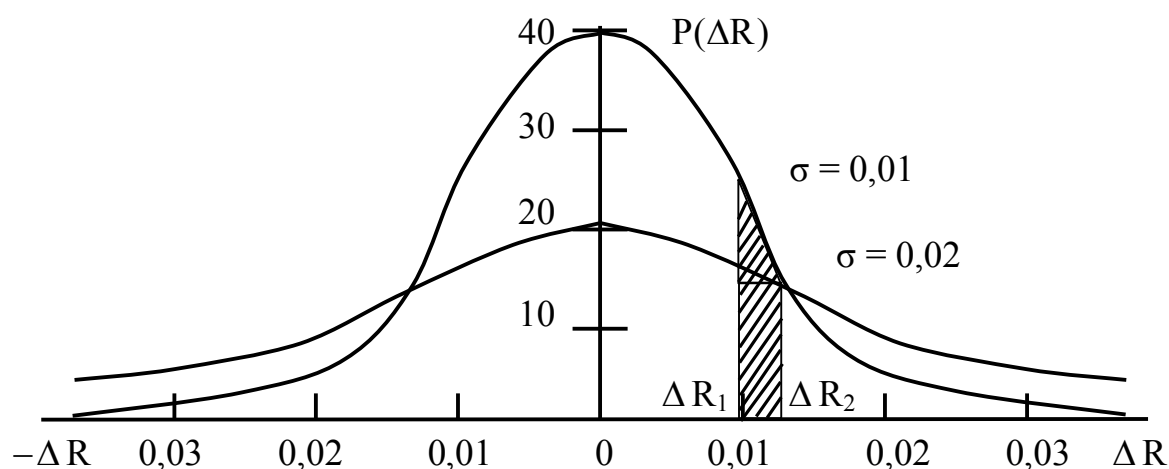


Рисунок 1.2

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с описанием метода измерения и измерительной схемы прибора. При работе омметра не допускается прикосновения оператора к контактам измерительного кабеля и контактам измеряемых резисторов.
2. Включить кабель питания омметра в сеть напряжений 220 В, частотой 50 Гц.
3. Выключатель сети поставить в положение «Сеть», ручку потенциометра «Время индикации» – в положение «Ручн.».
4. Дать омметру прогреться в течение 10 мин.
5. Произвести предварительный контроль исправности омметра, для чего при разомкнутой цепи измерительного кабеля необходимо нажать кнопку «Пуск». На отсчетном устройстве должно появиться показание «999,90 МОм». При замкнутой цепи измерительного кабеля на отсчетном устройстве должны появиться показания, соответствующие остаточному нулевому сопротивлению, величина которого не должна быть более «00,010 Ω».
6. Измерительный кабель омметра подключить к измеряемому резистору, указанному преподавателем.
7. Осуществить ручной запуск омметра, для чего нажать кнопку «Пуск».
8. Поставить омметр в режим автоматического запуска, для чего ручку потенциометра «Время индикации» вывести из положения «Ручн.» в направлении часовой стрелки и установить необходимое время индикации (5–7 с). Результаты 30–50 наблюдений (их количество указывается преподавателем) записать в табл. 1.1.
9. Отключить омметр и приступить к обработке результатов многократных наблюдений.

Таблица 1.1

Измеренные значения $R_i, \text{МОм}$	Остаточные погрешности $\Delta R_i = R_i - R_{\text{ср}}, \text{МОм}$	Квадраты остаточных погрешностей $\Delta R_i^2, \text{МОм}^2$	$\sigma, \text{МОм}$	$\sigma_A, \text{МОм}$	Результат i-го наблюдения $R_{oi}, \text{МОм}$	Результат измерения $R_0, \text{МОм}$

Обработка результатов наблюдений

Определение результата измерения

По результатам n -кратных наблюдений определить среднее арифметическое значение $R_{\text{ср}}$, которое принимается равным результату

измерения: $R_{\text{ср}} = \frac{\sum R_i}{n}$.

Вычисленное значение $R_{\text{ср}}$ записать в табл.1.1.

Определение среднеквадратической погрешности ряда наблюдений

1. Вычислить остаточные погрешности ΔR_i , представляющие собой разности между результатами отдельных наблюдений R_i и среднеарифметическим значением $R_{\text{ср}}$: $\Delta R_i = R_i - R_{\text{ср}}$.

2. Для контроля предыдущих расчетов просуммировать остаточные погрешности и убедиться в том, что алгебраическая сумма остаточных погрешностей практически равна нулю, т. е. $\sum \Delta R_i \cong 0$.

3. Определить квадраты остаточных погрешностей ΔR_i^2 .

4. Предполагая, что погрешности измерения распределены по нормальному закону, найти среднеквадратическую погрешность ряда наблюдений σ через остаточные погрешности ΔR_i :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta R_1^2 + \Delta R_2^2 + \dots + \Delta R_n^2}{n - 1}}. \quad (1.8)$$

Величина σ характеризует «в среднем» меру приближения результата отдельного наблюдения к среднему арифметическому, т. е. результату измерения. Остаточные погрешности, бóльшие 3σ , считаются промахами и при обработке результатов наблюдений не учитываются. Результаты расчетов пп.1–4 внести в табл.1.1.

Определение среднеквадратической погрешности результата измерения

Вычислить значение среднеквадратической погрешности результата измерения, т. е. погрешности σ_A , с которой определено среднеарифметическое значение R_{cp} : $\sigma_A = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Результаты вычисления включить в табл. 1.1.

При этом обратить внимание на то, что при увеличении числа наблюдений в n раз среднеквадратическая погрешность результата измерения уменьшается в $\sqrt{n}$ раз по сравнению с погрешностью отдельного наблюдения.

Построение гистограммы распределения погрешностей

Указанное построение проводится для качественной проверки соответствия закона распределения погрешностей, полученных при многократных наблюдениях, нормальному закону распределения. Построение гистограммы провести в следующем порядке.

1. Выбрать величину интервала статистического ряда погрешностей a (рис. 1.3), для чего по табл. 1.1 найти

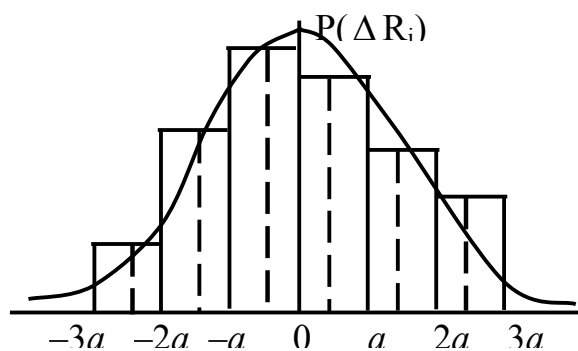


Рисунок 1.3

наибольшие по величине остаточные погрешности ΔR_i разных знаков, по их разности определить диапазон наблюдаемых погрешностей b , разделить его на число интервалов r . Тогда интервал $a = b/r$. Принять $r = 6$. Если b не делится на r точно, то частное округлить до одной-двух значащих цифр.

2. Заполнить таблицу статистического ряда (табл. 1.2). Для этого по табл. 1.1 подсчитать число S_j остаточных погрешностей, лежащих в интервале $0 - a$, $a - 2a$, $2a - 3a$ отдельно с плюсом и минусом. Числа S_j записать в табл. 1.2. В ту же таблицу внести частоты появления погрешностей, определяемые для каждого интервала как отношение числа погрешностей S_j к общему числу погрешностей n . Погрешности, точно совпадающие по значению с границей интервала, могут быть отнесены либо к $j-1$ интервалу, либо к j интервалу. Например, если таких погрешностей две, то их целесообразно разделить между смежными интервалами. Для определения высот прямоугольников гистограммы (см. рис. 1.3) нужно частоты появления погрешностей разделить на величину интервалов. Вычисленные значения S_j/na внести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Интервалы	$0 - a$		$a - 2a$		$2a - 3a$	
Знак погрешностей	+	–	+	–	+	–
Число остаточных погрешностей S_j						
Частоты появления погрешностей S_j / n						
Высоты прямоугольников гистограммы S_j / na						
Середины интервалов ΔR_i						
$P(\Delta R_i)$						

3. Построить гистограмму, для чего по оси абсцисс отложить численные значения интервалов $\pm a$, $\pm 2a$, $\pm 3a$. На каждом интервале, как на основании построить прямоугольник, площадь которого равна частоте появления погрешностей, лежащих в данном интервале. Значения высот

прямоугольников взять из табл. 1.2. Площадь гистограммы равна единице (из построения).

4. Построить на том же графике теоретическую кривую нормального распределения в соответствии с уравнением (1.1). Значения $P(\Delta R_i)$ определить для точки $\Delta R_i = 0$ и середин интервалов $\Delta R_i = \pm a/2, \pm 3a/2, \pm 5a/2$. Полученные значения занести на построенную гистограмму. Соединить нанесенные точки плавной кривой. Сравнить гистограмму с теоретической кривой нормального распределения.

Вычисление доверительного интервала погрешности результата наблюдения и результата измерения

1. Пользуясь табл. 1.3, в которой рассчитаны для нормального закона вероятности P , соответствующие различным нормированным (отнесенным к σ) погрешностям $Z_i = \Delta R_i / \sigma$, определить вероятности появления случайных погрешностей внутри интервалов $Z_i = 1,0$ ($\Delta R_i = \pm \sigma$, при этом погрешность находится внутри интервала от $-\sigma$ до $+\sigma$); $Z_i = 2,0$ ($\Delta R_i = \pm 2\sigma$), $Z_i = 3,0$ ($\Delta R_i = \pm 3\sigma$), $Z_i = 4,0$ ($\Delta R_i = \pm 4\sigma$).

Значения P , представляющие вероятности появления случайных погрешностей внутри заданных интервалов, внести в табл. 1.4.

Рассчитать вероятности Q появления случайной погрешности за границами указанных интервалов: $Q = 1 - P$. Определить число измерений K (целое число), из которых только в одном появляется случайная погрешность за пределами интервала $\Delta R_i > Z_i \sigma$ ($K = 1/Q$). Полученные значения Q и K внести в табл. 1.4.

Таблица 1.3

Z_i	P	Z_i	P	Z_i	P	Z	P
0,0	0,000	1,0	0,683	2,0	0,954	3,0	0,9973
0,1	0,080	1,1	0,729	2,1	0,964	3,1	0,9980
0,2	0,159	1,2	0,770	2,2	0,972	3,2	0,9986

Продолжение таблицы 1.3

0,3	0,236	1,3	0,806	2,3	0,978	3,3	0,9990
0,4	0,311	1,4	0,838	2,4	0,983	3,4	0,9993
0,5	0,383	1,5	0,866	2,5	0,987	3,5	0,9995
0,6	0,451	1,6	0,890	2,6	0,991		
0,7	0,516	1,7	0,911	2,7	0,993		
0,8	0,576	1,8	0,928	2,8	0,995		
0,9	0,632	1,9	0,943	2,9	0,996	4,0	0,99993

Таблица 1.4

Параметры	Значения нормированных погрешностей Z_i			
	1	2	3	4
P				
Q				
K				

2. Для заданной доверительной вероятности $P = 0,997$ найти интервал, в котором лежит истинное значение измеряемой величины R_{oi} , т. е. доверительный интервал. Расчет выполнить для результата отдельного наблюдения (номер наблюдения R_{oi} указывается преподавателем) по формуле $R_{oi} = R_i \pm Z_i \sigma$, а также для результата измерения: $R_o = R_{cp} \pm Z_i \sigma_A$.

Для доверительной вероятности $P = 0,9973$ доверительный интервал погрешности изменяется в диапазоне от -3σ до $+3\sigma$. Вероятность появления погрешности большей $\pm 3\sigma$, равна $1 - 0,9973 = 0,0027 \approx 1/370$. Такая доверительная вероятность означает, что из 370 случайных погрешностей только одна погрешность по абсолютному значению будет больше 3σ . Поэтому значение 3σ считается максимально возможной случайной погрешностью (в этом заключается «правило 3σ »). Погрешности, бóльшие 3σ , считаются промахами и при обработке результатов измерений не учитываются.

Запись результата отдельного наблюдения и результата измерения

1. Представить результат i -го наблюдения в виде измеренного значения R_i и случайной погрешности измерения, определенной с доверительной вероятностью $P = 0,997$ (систематической погрешностью пренебречь):

$$R_{oi} = R_i \pm 3\sigma, \quad (P = 0,997).$$

Выразить результат i -го наблюдения в цифровой форме, приняв погрешность округления числа, выражающего погрешность измерения, не более 15 %. Это означает, что абсолютные погрешности, имеющие в старшем разряде цифры 1 или 2, должны записаться двумя цифрами, например: 0,12; 2,5; 0,016, погрешности, имеющие в старшем значащем разряде цифры 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, должны записываться одной цифрой, например: 4; 3; 0,4; 0,08. Число, выражающее наиболее достоверное значение R_{oi} , записать таким количеством значащих цифр, которое соответствует погрешности измерения. Например, при $R_i = 101,595$ Ом; $Z_i\sigma = \pm 0,3$ Ом; $R_{oi} = (101,6 \pm 0,3)$ Ом. При этом погрешность округления R_i будет всегда, по крайней мере, на порядок меньше погрешности наблюдения.

2. Представить результат измерения R_o в цифровой форме в виде:

$$R_o = R_{cp} \pm 3\sigma_A, \quad (P = 0,997). \quad (1.9)$$

Сравнить результаты i -го наблюдения и результат измерения, внести их в табл. 1.1.

Оформление отчета

В отчете должны быть приведены: принципиальная электрическая схема измерительного моста омметра (см. рис. 1.1); таблицы экспериментальных данных (табл. 1.1, 1.2, 1.4); построенные по данным табл. 1 кривые распределения погрешностей (см. рис. 1.3).

Контрольные вопросы:

1. Объясните принцип действия цифрового омметра.
2. Запишите условие равновесия одинарного моста.

3. Укажите возможные источники погрешностей измерений сопротивлений цифровым омметром.
4. Дайте определение систематической и случайной погрешности измерения.
5. Назовите способы уменьшения систематической и случайной погрешностей.
6. Какая разница между абсолютной и относительной погрешностью измерения?
7. Как определить результат измерения при многократных наблюдениях?
8. Что собой представляет остаточная погрешность?
9. В чем состоит отличие между среднеквадратической погрешностью результата наблюдения и результата измерения?

Библиографический список рекомендуемой литературы

1. Основы метрологии и электрические измерения / под ред. Е. М. Душина. – Л: Энергоатомиздат, 1987, С. 27–35, 253, 420–423.
2. Малиновский В. Н. Электрические измерения. – М.: Энергоатомиздат, 1985. С. 45–61, 227–230.
3. Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М.: Высшая школа, 1982, С. 22–27, 169–171.

6.3. Лабораторная работа 2

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ

Цель работы: ознакомиться с принципом действия и схемами включения магнитоэлектрического механизма; приобрести навыки поверки микроамперметра и определения его класса точности; научиться расширять пределы измерения приборов по току и напряжению; приобрести навыки работы с цифровым вольтметром; ознакомиться с методикой выбора

измерительных приборов для измерения тока или напряжения с заданной погрешностью.

Состав лабораторной установки:

- измерительный прибор комбинированный аналоговый типа 43101;
- измерительный прибор комбинированный цифровой типа Щ4300;
- регулируемый источник напряжения постоянного тока;
- генератор синусоидальных колебаний;
- панель элементов и соединений.

Задание и порядок выполнения работы:

1. Изучите пояснения к лабораторной работе.
2. Ознакомьтесь с паспортными данными и инструкцией по эксплуатации измерительных приборов и генераторов напряжений, используемых в данной лабораторной работе, и подготовьте их к выполнению работы.
3. Установите на выходе регулируемого источника любое значение постоянного напряжения в диапазоне от 1 до 10 В. Подайте это напряжение на резистивную цепочку R_1, R_2, R_3 .
4. Для выбранного напряжения рассчитайте по номинальным значениям сопротивлений резисторов ожидаемую величину падений напряжений на каждом из резисторов R_1, R_2, R_3 .
5. Выбрав наиболее подходящие пределы измерений приборов 43101 и Щ4300, измерьте падение напряжений на резисторах R_1, R_2, R_3 вначале прибором 43101, затем прибором Щ4300. Показания приборов занесите в табл. 2.1.
6. По паспортным данным приборов 43101 и Щ4300 оцените пределы допустимой основной абсолютной погрешности измерения напряжений на резисторах R_1, R_2 и R_3 .
7. Учитывая, что ток полного отклонения в измерительном механизме прибора 43101 составляет 50 мкА, оцените величину входного

сопротивления прибора при измерении напряжений постоянного тока на пределах 10 В, 5 В и 1 В.

8. Оцените методическую погрешность измерения напряжений на резисторах R_1 , R_2 , R_3 , обусловленную влиянием входного сопротивления прибора 43101.

9. Оцените методическую погрешность измерения напряжения на резисторах R_1 , R_2 , R_3 прибором Щ4300.

10. С учетом поправок занесите в табл. 2.1 скорректированные значения измеренных напряжений и окончательные результаты измерений.

11. Установите на выходе генератора синусоидальных колебаний напряжение 3 В с частотой 2 кГц. Подайте это напряжение на резистивную цепочку R_1 , R_2 , R_3 . Выбрав наиболее подходящие пределы измерений, поочередно измерьте падение напряжений на резисторе R_2 приборами 43101 и Щ4300. Показание приборов занесите в табл. 2.2.

12. Не изменяя выходного напряжения генератора, измените частоту колебаний, задав её равной 6 кГц. Новые результаты эксперимента также занесите в табл. 2.2.

13. Оцените пределы основной, дополнительной и результирующей абсолютной погрешностей при измерении напряжений на частоте 2 кГц и 6 кГц приборами 43101 и Щ4300. Результаты расчетов занесите в табл. 2.2.

14. Установите на выходе генератора синусоидальных колебаний напряжение 4 В с частотой 100 Гц. Подключая к выходу генератора приборы 43101 и Щ4300 и изменяя частоту генератора, определите зависимость показаний этих приборов от частоты. Результаты эксперимента занесите в табл. 2.3 и постройте графики этой зависимости.

15. Выделите на графиках для приборов 43101 и Щ4300 участки, соответствующие нормальной области частот и рабочей области частот. По результатам эксперимента оцените значения дополнительной частотной погрешности за пределами нормальной частотной области.

16. Составьте отчет о проделанной работе с приведением формул, использованных при обработке результатов измерений.

Таблица 2.1

Измерение напряжения постоянного тока на участке электрической цепи комбинированными приборами

Участок цепи	Показания приборов, В		Пределы основной инструментальной погрешности, В		Методическая погрешность, В		Скорректированное значение показаний приборов, В			Результаты измерения, В
	43101	Щ4300	3101	Щ4300	3101	Щ4300	43101	Щ4300	43101	Щ4300
R_1										
R^2										
R_3										

Таблица 2.2

Измерение напряжения переменного тока на участке электрической цепи комбинированными приборами

Участок цепи	Показания приборов, В		Пределы основной инструментальной погрешности, В		Методическая погрешность, В		Скорректированное значение показаний приборов, В			Результаты измерения, В
	43101	Щ4300	3101	Щ4300	3101	Щ4300	43101	Щ4300	43101	Щ4300
R_1										
R^2										
R_3										

Таблица 2.3

Зависимость показаний приборов 43101 и Щ4300 от частоты

Частота измеряемого напряжения, кГц	1	0,2	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
Показания прибора 43101, В									
Показания прибора Щ4300, В									

Пояснения к лабораторной работе

При выполнении измерений наряду с основной погрешностью средств измерений могут возникнуть дополнительные инструментальные погрешности из-за того, что не соблюдались указанные в паспорте нормальные условия эксплуатации данного измерительного прибора, а также методические погрешности, обусловленные взаимным влиянием измерительного прибора и цепи, в которой производилось измерение. Эти погрешности могут во много раз превышать основные инструментальные погрешности и при недостаточно продуманном эксперименте совершенно исказить результат даже при использовании весьма точных средств измерения.

Дополнительные инструментальные погрешности, возникающие при выходе условий эксплуатации за пределы нормальных (но остающихся в пределах рабочей области), указываются в паспорте измерительного прибора.

Методические же погрешности оцениваются исходя из технических характеристик прибора и особенностей устройства, в котором производились измерения. Основное отличие методических погрешностей в том, что они не

могут быть указаны в паспорте прибора, а должны оцениваться самим экспериментатором при организации методики измерения.

Оценка методической погрешности, возникающей при измерении тока в электрической цепи

Как известно из теоретической электротехники, электрическую схему любой сложности можно представить в виде эквивалентного генератора ЭДС – E_{Γ} с внутренним сопротивлением – R_i . Схема измерения амперметром силы электрического тока на некотором участке цепи представлена на рис. 2.1.

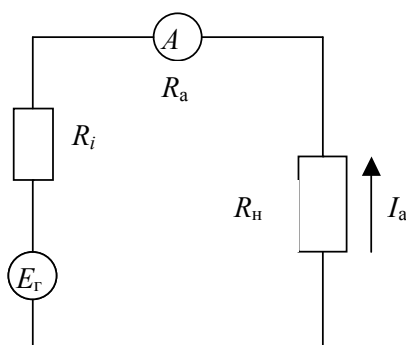


Рис.2.1. К определению методической погрешности при измерении силы тока

Здесь E_{Γ}, R_i – соответственно ЭДС и внутреннее сопротивление эквивалентного генератора, которым можно представить всю остальную часть электрической цепи; I – ток, протекающий через сопротивление R_n до включения в цепь амперметра; I_a – ток, протекающий через сопротивление R_n после включения в цепь амперметра; R_a – внутреннее сопротивление амперметра.

При включении амперметра в электрическую цепь ток в этой цепи изменяется, поскольку сопротивление амперметра R_a всегда имеет некоторую конечную величину. Это изменение тока при включении в цепь измерительного прибора и является абсолютным значением методической

погрешности измерения электрического тока $\Delta = I_a - I$, которая добавляется к инструментальной составляющей погрешности и увеличивает общую погрешность измерения. Поэтому для практических измерений амперметры должны выбираться с таким расчетом, чтобы их внутреннее сопротивление было в сотни раз меньше сопротивления цепи, в которую они включаются.

Абсолютное значение методической погрешности при измерении электрического тока может быть определено по формуле

$$\Delta_M = I_a - I = \frac{E_r}{R_i + R_a + R_H} - \frac{E_r}{R_i + R_H} = E_r \cdot \frac{-R_a}{(R_i + R_H)(R_i + R_H + R_a)}.$$

Относительное значение методической погрешности при этом выразится формулой

$$\delta_M = \frac{\Delta_M}{I} \cdot 100 \% = -\frac{R_a}{R_i + R_H + R_a} \cdot 100 \% = -\frac{1}{1 + \frac{R_{BX}}{R_a}} \cdot 100 \%,$$

где $R_{BX} = R_H + R_i$ – сопротивление цепи до подключения прибора.

$$\text{При } R_i \ll R_H \quad \delta_M = -\frac{1}{1 + \frac{R_H}{R_a}} \cdot 100 \%.$$

Поскольку методическая погрешность измерения силы тока является систематической, то при известных сопротивлениях цепи и прибора она может быть исключена. Скорректированное значение тока определяется по формуле

$$I = I_a \left(1 + \frac{R_a}{R_{BX}} \right).$$

Следует учитывать, что в этом выражении R_a содержит в себе и сопротивление шунта, подключаемого к измерительному механизму при расширении предела измерения. Поэтому на заданном пределе измерения

$R_a = \frac{R_{a0}}{n}$, где R_{a0} – собственное внутреннее сопротивление прибора без

подключения шунтирующих резисторов, т. е. на минимальном пределе измерений, а n – коэффициент расширения предела.

В измерительном приборе 43101, используемом в лабораторной работе, минимальный предел измерения равен 0,05 мА. При полном отклонении стрелки падение напряжения на приборе равно 0,075 мВ. Следовательно,

$$R_{a0} = \frac{U_0}{I_0} = \frac{75 \cdot 10^{-3} \text{ В}}{0,05 \cdot 10^{-3} \text{ А}} = 1,5 \text{ кОм.}$$

При измерении силы тока этим прибором на

шкале 100 мА – $n = \frac{100 \text{ мА}}{0,05 \text{ мА}} = 2000$. В этом случае $R_A = \frac{1500 \text{ Ом}}{2000} = 0,75 \text{ Ом}.$

В измерительном приборе Щ4300 минимальный предел измерения равен 0,2 мА. При этом падение напряжения на его входных зажимах равно 210 мВ. Следовательно, для него входное сопротивление на пределе 0,2 мА

$$R_{a0} = \frac{U_0}{I_0} = \frac{210 \cdot 10^{-3} \text{ В}}{200 \cdot 10^{-6} \text{ А}} = 1,05 \cdot 10^3 \text{ Ом} = 1,05 \text{ кОм}.$$

На пределе 200 мА $n = 1000$, следовательно $R_a = 1,05 \text{ Ом}.$

Оценка методической погрешности, возникающей при измерении падения напряжения на некотором участке электрической цепи

Схема измерения вольтметром напряжения между двумя точками некоторой электрической цепи представлена на рис. 2.2.

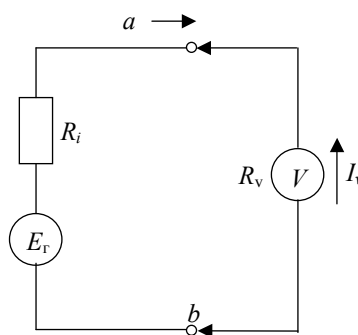


Рис. 2.2. К определению методической погрешности при измерении напряжения

Здесь E_{Γ} , R_i – ЭДС и внутреннее сопротивление эквивалентного генератора, представляющего электрическую цепь, на участке которой осуществляется измерение падения напряжения; R_v – входное сопротивление вольтметра; I_v – электрический ток, протекающий через вольтметр, при подключении его к измеряемой цепи в процессе измерения; a , b – точки подключения вольтметра.

До подключения вольтметра напряжение между точками a и b электрической цепи будет равно E_{Γ} . После подключения вольтметра через него потечет ток I_v , определяемый его входным сопротивлением R_v , который создает падение напряжения на сопротивлении R_i .

Следовательно, при подключении измерительного прибора, измеряемое напряжение между точками a и b изменится и станет равным $U_{ab} = E_{\Gamma} - I_v R_i$. Это уменьшение измеряемого напряжения $U_{ab} - E_{\Gamma} = -I_v R_i$ и составляет абсолютную методическую погрешность Δ_m напряжения, измеряемого реальным вольтметром. Чем больше будет входное сопротивление, вольтметра R_v , тем меньше будет он влиять на истинное значение измеряемого напряжения. При измерении напряжений следует использовать вольтметры с входным сопротивлением в сотни раз превышающим эквивалентное выходное сопротивление электрической цепи, к которой он подключается.

Абсолютное значение методической погрешности может быть оценено следующим образом:

$$\Delta_m = -I_v R_i = -\frac{E_{\Gamma}}{R_i + R_v} \cdot R_i = -\frac{E_{\Gamma}}{(1 + R_v / R_i)}.$$

Относительная методическая погрешность будет при этом определяться по формуле:

$$\delta_m = \frac{\Delta_m}{E_{\Gamma}} \cdot 100 \% = -\frac{1}{(1 + R_v / R_i)} \cdot 100 \%.$$

При известных сопротивлениях цепи R_i и прибора R_v методическая погрешность как погрешность систематическая может быть исключена.

Скорректированное значение измеряемого напряжения можно определить по формуле

$$E_r = U_{ab} (1 + R_v / R_i),$$

где U_{ab} – показание вольтметра.

Значение внутреннего сопротивления комбинированного прибора 43101 при измерении напряжений можно определить по формуле

$$R_v = \frac{U_{\max}}{I_{\text{ном}}},$$

где $U_{\max}$ – выбранный экспериментатором предел измерений;

$I_{\text{ном}} = 50$ мкА – номинальный ток измерительного механизма в приборе 43101, при котором происходит отклонение его подвижной части на полный угол, соответствующий пределу измерений.

Входное сопротивление прибора типа Щ4300 при измерении напряжений не зависит от выбранного предела и составляет около 10 МОм.

Содержание отчета:

- цель работы;
- формулы, используемые при обработке результатов.
- таблицы и графики с результатами вычислений и измерений;
- выводы.

Контрольные вопросы:

1. В каком случае методическая погрешность измерения напряжения между двумя точками электрической цепи будет больше:

- а) при использовании прибора 43101;
- б) при использовании прибора Щ4300?

2. В каком случае методическая погрешность измерения силы тока в электрической цепи будет больше:

- а) при использовании прибора 43101;
- б) при использовании прибора Щ4300?

3. Может ли методическая погрешность при измерении напряжений быть одинаковой на разных пределах используемого вольтметра?

4. Как выходное сопротивление электрической цепи влияет на показание вольтметра, включенного в эту цепь?

5. Допускается или не допускается применение измерительного прибора за пределами нормальных условий эксплуатации, оговоренных в его технических характеристиках?

6. Чем можно объяснить возникновение дополнительных погрешностей при измерении значений переменных напряжений и токов?

Библиографический список рекомендуемой литературы

1. Основы метрологии и электрические измерения / под ред. Е. М. Душина. – Л., Энергоатомиздат, 1987, С. 58–61, 101–102, 385–394.

2. Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М.: Высш. шк., 1982. С. 16 – 18, 20 – 21, 36 – 41, 113 – 114, 120 – 121.

6.4. Лабораторная работа 3

ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ КОМБИНИРОВАННОГО ПРИБОРА

Цель работы: ознакомление с принципом действия, применением комбинированного прибора; приобретение практических навыков измерения постоянных и переменных токов, напряжений, параметров электрической цепи с оценкой погрешностей измерений.

Особенности схем включения комбинированного прибора

Приступая к выполнению работы, студент должен знать, что комбинированный измерительный прибор – ампервольтметр (авометр) является универсальным многопредельным прибором, с помощью которого возможны измерения токов, напряжений в цепях постоянного и переменного тока частотой от 20 Гц до 20 кГц, сопротивлений постоянному току. Отдельные типы авометров позволяют измерять также емкость, относительный уровень переменного напряжения в децибелах, некоторые параметры транзисторов.

В приборе применяют измерительный механизм магнитоэлектрической системы.

Следует иметь в виду, что при измерении постоянного тока параллельно измерительному механизму включаются многоступенчатые шунты, а при измерении постоянного напряжения последовательно с измерительным механизмом – добавочные резисторы. Таким образом, в режиме измерения постоянного тока и напряжения авометр работает как многопредельный магнитоэлектрический амперметр и вольтметр.

При измерении переменных токов и напряжений звуковых частот прибор включается по схеме многопредельного выпрямительного амперметра или вольтметра.

Необходимо знать, что выпрямительный прибор представляет собой сочетание полупроводниковых выпрямителей и магнитоэлектрического измерительного механизма. В авометрах практическое применение находят мостовые цепи двухполупериодного выпрямителя с двумя диодами и двумя резисторами (рис. 3.1). Выпрямленный ток

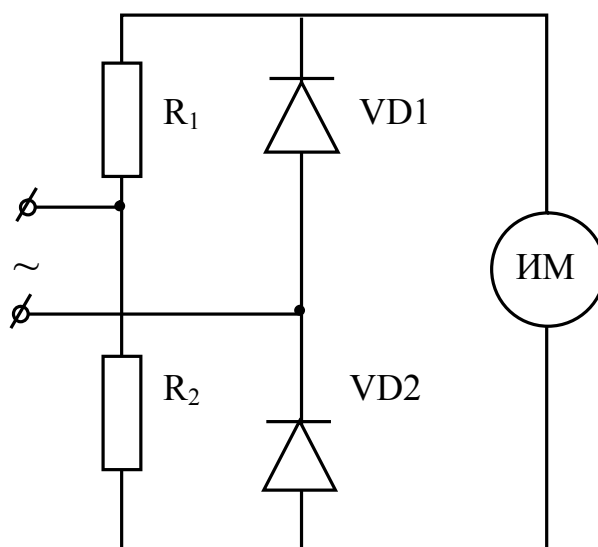


Рисунок 3.1.

проходит через измерительный механизм (ИМ) в течение обоих полупериодов в одном направлении. За один полупериод ток протекает по цепи VD1, ИМ, R₂, причем часть тока ответвляется через сопротивление R₁, за другой – по цепи R₁, ИМ, VD2, в этом случае часть тока ответвляется через сопротивление R₂. По сравнению с мостовой схемой с четырьмя диодами данная схема имеет большую температурную стабильность, однако обладает меньшей чувствительностью в результате того, что в каждый полупериод через ИМ ответвляется лишь часть (30 – 40 %) выпрямленного тока.

Уравнение шкалы выпрямительного прибора:

$$\alpha = S_i I_{\text{ср.}} \quad (3.1)$$

где S_i – чувствительность к току, показывает, что отклонение подвижной части пропорционально среднему значению тока.

Так как в цепях переменного тока обычно нужно знать действующее значение тока (напряжения), шкалы выпрямительного прибора градуируют в действующих значениях синусоидального тока (напряжения):

$$\alpha = S_i I / K_{\Phi} = S_i I / 1,11. \quad (3.2)$$

где K_{Φ} – коэффициент формы кривой (для синусоиды $K_{\Phi} = 1,11$). Если же форма кривой отлична от синусоидальной, в показаниях прибора появляется погрешность.

Измерение сопротивлений авометром следует производить по последовательной и параллельной схемам магнитоэлектрического омметра (рис. 3.2, а, б соответственно).

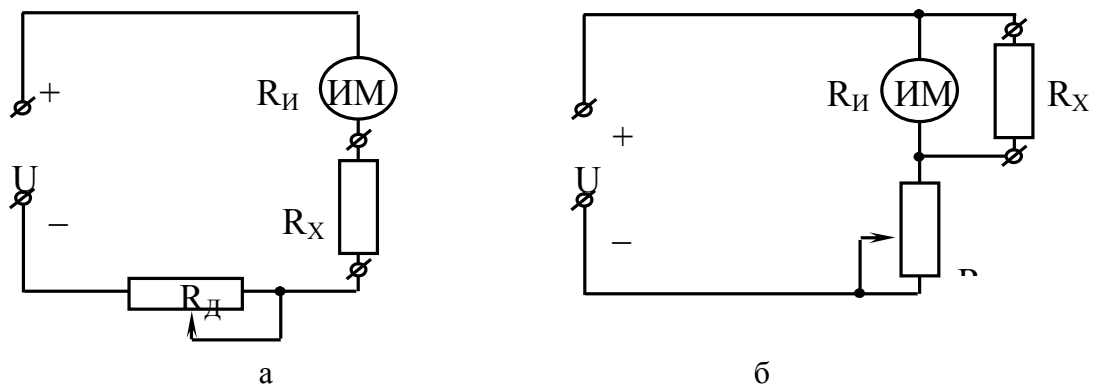


Рисунок 3.2

В последовательной схеме омметра измеряемое сопротивление R_x следует включать последовательно с измерительным механизмом, в параллельной – параллельно. Уравнение шкалы омметра с последовательной схемой

$$\alpha = S_i I = \frac{S_i U}{R_{\text{д}} + R_{\text{и}} + R_{\text{х}}}, \quad (3.3)$$

для омметра с параллельной схемой

$$\alpha = \frac{S_i U}{R_d + R_{\text{и}} + \frac{R_d \cdot R_{\text{и}}}{R_x}}. \quad (3.4)$$

Из уравнений вытекает, что при постоянном напряжении источника питания $U = \text{const}$ показания будут определяться значением измеряемого сопротивления R_x . Следовательно, шкала может быть отградуирована в единицах сопротивления. Из уравнений следует, что шкалы омметров неравномерные, обратные для последовательной схемы и прямые – для параллельной. Омметры с последовательной схемой более пригодны для измерения больших сопротивлений ($10^3 - 10^8 \text{ Ом}$), а с параллельной – малых ($0,1 - 10^3 \text{ Ом}$). В качестве источника питания обычно применяют сухую батарею. С течением времени напряжение батареи падает, и условие $U = \text{const}$ не выполняется. Ввести поправку на изменение U , как видно из уравнений, можно путем соответствующей регулировки резистора R_d , который выполняется переменным. Для регулировки омметра с последовательной схемой перед измерением следует замкнуть накоротко его зажимы, и в том случае, если стрелка не установлена на отметке «0», перемещать ее до этой отметки с помощью резистора R_d . Регулировку омметра с параллельной схемой нужно производить при отключенном резисторе R_x . Величину R_d необходимо установить такой, чтобы указатель находился на отметке шкалы $R_x = \infty$.

Опыт 1. Измерение параметров блока питания

В опыте проводят прямые измерения токов и напряжений, а также косвенные измерения мощности и некоторых параметров блока питания, который включает в себя источник переменного напряжения (ИП), трансформатор Tr , выпрямитель, фильтр, стабилизатор и сопротивление нагрузки R_n (рис. 3.3).

Трансформатор Tr преобразует напряжение U_1 источника ИП до нужной величины U_2 . Выпрямитель, выполненный по двухполупериодной схеме на диодах $\text{VD1} - \text{VD4}$, преобразует переменное напряжение в

пульсирующее. Фильтр нижних частот, состоящий из резистора R_1 и конденсаторов C_1 , C_2 , включается для уменьшения пульсаций (переменной составляющей) выпрямленного напряжения. Стабилизатор напряжения, выполненный на резисторе R_2 и кремниевом стабилитроне VD_5 , предназначен для обеспечения постоянства напряжения на нагрузке R_H при изменении питающего напряжения. Тумблеры T_1 , T_2 , T_3 позволяют размыкать токовые цепи для измерения тока амперметром, который включают в разрыв цепи.

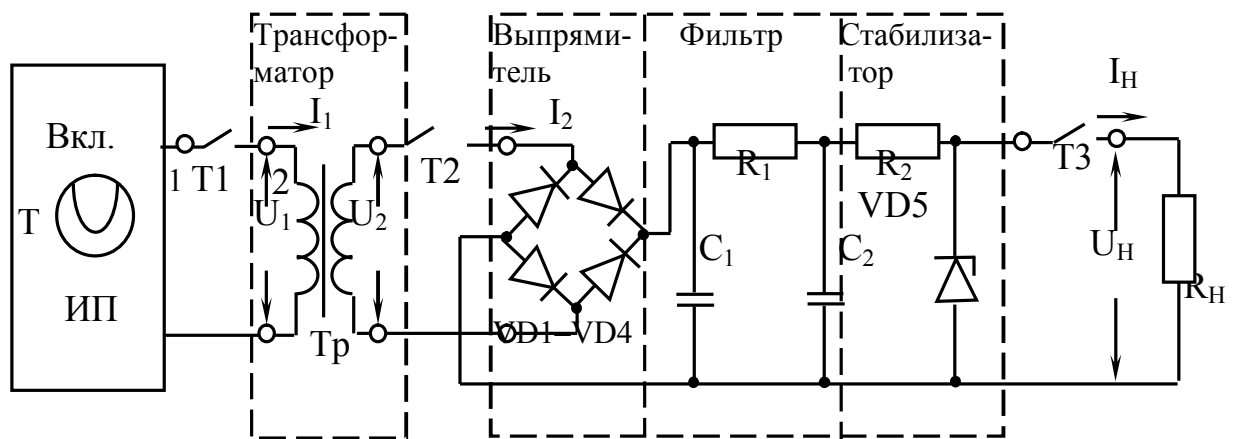


Рисунок 3.3

В опыте необходимо произвести прямые измерения переменных напряжений U_1 и U_2 , переменных токов I_1 и I_2 , постоянного напряжения и тока нагрузки U_H , I_H , а также косвенные измерения коэффициента трансформации $K_T = U_{10}/U_{20}$ (в режиме холостого хода трансформатора), первичной и вторичной полной мощности трансформатора $S_1 = U_1 I_1$ и $S_2 = U_2 I_2$, мощности и сопротивления нагрузки $P_H = U_H I_H$ и $R_H = U_H / I_H$.

Наряду с измерением указанных величин следует оценить наибольшую погрешность измерения. Погрешностью взаимодействия при измерении токов, напряжений в данной работе можно пренебречь, поскольку собственное потребление комбинированного прибора намного меньше

мощности цепей блока питания, в которых производят измерения. В этом случае наибольшую относительную погрешность прямых измерений определяют по максимальной аппаратурной погрешности δ_a

$$\delta_a = \gamma_m \cdot \frac{A_m}{A_x}, \quad (3.5)$$

где γ_m – класс точности прибора; A_m – предел шкалы; A_x – показание прибора.

В случае косвенных измерений, результат которых определяют по результатам нескольких прямых измерений $X = F(X_1, X_2, \dots, X_n)$, абсолютная погрешность ΔX может быть определена выражением:

$$\Delta X = X - X_0 = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial X_1}\right)^2 \Delta X_1^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial X_2}\right)^2 \Delta X_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial X_n}\right)^2 \Delta X_n^2}, \quad (3.6)$$

где X – результат косвенного измерения;

X_0 – действительное значение измеряемой величины;

$\frac{\partial F}{\partial X_n} \Delta X_n$ – частные погрешности результата косвенных измерений;

$\frac{\partial F}{\partial X_n}$ – коэффициенты влияния погрешности ΔX_n на погрешность

результата косвенных измерений.

Так, например, величина наибольшей абсолютной погрешности косвенного измерения сопротивления методом амперметра-вольтметра $r = U/I$ может быть найдена из выражения:

$$\Delta r = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial r}{\partial U}\right)^2 \Delta U^2 + \left(\frac{\partial r}{\partial I}\right)^2 \Delta I^2} = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{I}\right)^2 \Delta U^2 + \left(\frac{U}{I^2}\right)^2 \Delta I^2}. \quad (3.7)$$

Порядок выполнения опыта

1. Ознакомиться со структурной схемой блока питания на макете работы.

2. Измерить переменные напряжения U_{10} и U_{20} трансформатора в режиме холостого хода, для чего:

2.1. Переключатель рода работы авометра установить в положение «~». Переключатель пределов измерения авометра установить в положение, соответствующее максимальному измеряемому напряжению (так как порядок измеряемого напряжения неизвестен).

2.2. Включить тумблер Т1 макета и отключить тумблер Т2 (для обеспечения режима холостого хода трансформатора).

2.3. Включить источник питания тумблером Т. Включить авометр в исследуемую цепь зажимами «*» и «UI, +Ω, -кΩ», по шкале с обозначением «~» определить порядок измеряемого напряжения. Выбрать пределы измерения, обеспечивающие минимальную аппаратурную погрешность.

2.4. Измерить напряжения U_{10} и U_{20} на выбранных пределах, результаты записать в табл. 3.1. В той же таблице указать пределы измерения авометра и класс точности в режиме измерения переменных напряжений.

Таблица 3.1

Изме- ряемая вели- чина напря- жения и тока	Откло- нение по шкале деле- ний	Вели- чина напря- же- ния, тока, A_x	Пре- дел изме- рения, A_m	Класс точ- ности, γ_m	Наибольшая аппаратурная погрешность $\Delta A =$ $= \pm \gamma_m \cdot A_m / 100$	Дейст- витель- ное зна- чение измеря- емой величи- ны, $A_0 =$ $= A_x - \Delta A$
---	--	--	---	---------------------------------------	---	---

Продолжение таблицы 3.1

U_{10}						
U_1						
U_{20}						
U_2						
I_1						
I_2						
U_H						
I_H						

2.5. Отключить источник питания. Рассчитать наибольшую абсолютную погрешность измерения напряжений ΔU_1 и ΔU_2 . Результат измерения U_{10} и U_{20} записать с указанием погрешности в табл. 3.1. Наибольшие погрешности измерения, вычисленные по классу точности, могут быть с одинаковой вероятностью как положительными, так и отрицательными (перед числом ставится знак $\pm$).

2.6. Пользуясь указанной методикой, измерить напряжения U_1 и U_2 при подключенной нагрузке (тумблеры Т2 и Т3 замкнуты). Результаты измерений и расчета записать в табл. 3.1.

3. Измерить переменные токи I_1 и I_2 , протекающие в первичной и вторичной обмотках трансформатора, для чего:

3.1. Переключатель рода работы авометра поставить в положение «~». Переключатель пределов измерения авометра установить в положение, соответствующее наибольшему значению измеряемого тока.

3.2. Включить авометр к точкам 1 и 2 блока питания, отключить тумблер Т1.

3.3. Включить тумблеры Т2 и Т3 макета, замыкающие цепь нагрузки трансформатора.

3.4. Включить источник питания тумблером Т. Определить по отклонению стрелки на шкале с обозначением «~» порядок измеряемого тока и выбрать предел измерения, обеспечивающий минимальную аппаратную погрешность. Измерить ток I_1 на выбранном пределе, результат записать в табл. 3.1. В той же таблице указать предел измерения тока и класс точности прибора в режиме измерения переменных токов.

3.5. Аналогично произвести измерение тока I_2 .

3.6. Отключить источник питания. Рассчитать наибольшую погрешность измерения токов I_1 и I_2 и записать результаты измерения с указанием погрешности в табл. 3.1.

4. Измерить постоянные напряжения и ток нагрузки U_H , I_H , для чего:

4.1. Переключатель рода работы авометра поставить в положение «—». Переключатель пределов измерения авометра установить в положение, соответствующее ожидаемому значению измеряемого напряжения или тока.

4.2. Включить авометр в цепь нагрузки сначала по схеме вольтметра, затем — по схеме амперметра. Измерить напряжение и ток нагрузки. Отсчет измеряемой величины произвести по шкале с обозначением «—».

4.3. Результаты измерений записать в табл. 3.1. В той же таблице указать пределы измерений и класс точности авометра в режиме измерения постоянных токов и напряжений.

4.4. Отключить источник питания.

4.5. Рассчитать наибольшие погрешности измерения напряжения и токов нагрузки и записать в табл. 3.1 результаты измерений с указанием погрешностей.

5. Определить результаты косвенных измерений коэффициента трансформации K_T , мощностей S_1 , S_2 , P_H , сопротивления нагрузки R_H и оценить погрешность их измерений, для чего:

5.1. По результатам прямых измерений токов и напряжений произвести расчет указанных величин, результаты расчета записать в табл. 3.2.

5.2. Пользуясь общим выражением для абсолютной погрешности косвенных измерений, вывести аналитические выражения для погрешностей измерения ΔK_T ; ΔS_1 ; ΔS_2 ; ΔP_H ; ΔR_H ;

5.3. По результатам и погрешностям прямых измерений (табл. 3.1) определить числовые значения погрешностей косвенных измерений и записать их в табл. 3.2. В ту же таблицу произвести запись результатов косвенных измерений с указанием погрешностей.

Таблица 3.2

Величины, подлежащие косвенным измерениям	Числовые значения результатов косвенных измерений	Общие выражения для погрешностей косвенных измерений	Числовые значения погрешностей косвенных измерений	Результаты косвенных измерений с указанием погрешностей
$K_T = U_{10}/U_{20}$				
$S_1 = U_1 I_1$				
$S_2 = U_2 I_2$				
$P_H = U_H I_H$				
$R_H = U_H / I_H$				

Опыт 2. Измерение сопротивлений

В работе производят измерение нескольких сопротивлений резисторов на различных пределах авометра, работающего в режиме омметра, и оценивают погрешность измерения. При этом следует учитывать, что в отличие от амперметров и вольтметров магнитоэлектрические омметры имеют существенно неравномерные шкалы, для которых приведенная погрешность γ_m нормируется в процентах от длины шкалы L и может быть вычислена по формуле:

$$\gamma_m = \frac{S_R \cdot \Delta R_x}{L} \cdot 100\% . \quad (3.8)$$

где S_R – чувствительность к сопротивлению, представляющая собой длину l участка шкалы в точке отсчета на единицу измеряемой величины, например, 1 мм/кОм; 0,8 мм/Ом; ΔR_x – абсолютная погрешность измерения сопротивления.

Длину l находят путем измерения линейного участка шкалы между двумя ближайшими к точке измерения отметками и затем делят на разность отсчетов, соответствующих указанным отметкам. Отсчеты должны быть выражены в тех же единицах, в которых выражена погрешность ΔR_x . Класс точности при нормировании погрешности в процентах от длины шкалы следует обозначать одним числом в процентах, помещенном между двумя линиями, расположенными под углом, например, 0,5.

При измерении сопротивлений необходимо учитывать, что относительная погрешность омметра возрастает как при увеличении, так и при уменьшении R_x и минимальна в середине шкалы. Источником питания омметра служит постоянное напряжение плюс 4,5 В, получаемое от батареи сухих элементов КБС–Л–0,50 или от стабилизированного выпрямителя. Следует использовать омметр на пределах 300 Ом и 5; 50; 500 кОм. Предел 0–5 МОм в наших опытах не используется, так как при измерении сопротивлений в указанном диапазоне требуется дополнительный источник питания напряжением 34–44 В.

Порядок выполнения опыта

1. Получить указание преподавателя о том, какие сопротивления подлежат измерению.

2. Определить порядок измеряемых сопротивлений на максимальном пределе авометра 0 – 500 кОм, для чего:

2.1. Нажать кнопку «кΩ». Переключатель пределов измерения омметра установить в положение «кΩ*100». Подключить провода к зажимам прибора и замкнуть их накоротко. Ручкой установки нуля омметра установить стрелку на нулевую отметку шкалы «кΩ».

2.2. Провода разомкнуть и подключить к измеряемому сопротивлению.

2.3. Устанавливая переключатель резисторов на макете в положение, заданное преподавателем, определить по шкале «кΩ» приближённые значения измеряемых сопротивлений.

2.4. Данные последовательных измерений записать в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Номера резисторов	Порядок измеряемых сопротивлений	Положение переключателя пределов измерений омметра	Отсчет по шкале омметра, Ом, кОм	Расстояние между делениями в точке измерения, l , мм	Разность отсчетов, R_A , Ом, кОм	Чувствительность, $S_R = l/R_A$	Наибольшая погрешность измерения сопротивлений $\Delta R_x = \pm \gamma_m \cdot l / 100 \cdot S_R$	Действительное значение сопротивлений, $R_0 = R_x - \Delta R_x$, Ом(кОм)

3. Произвести более точные измерения указанных сопротивлений и оценить погрешность измерения, для чего:

3.1. По табл. 3.3 определить необходимые пределы омметра, обеспечивающие наиболее точные измерения сопротивлений (стрелка должна находиться ближе к середине шкалы). Необходимые положения переключателя омметра указать в табл. 3.3.

3.2. По методике, указанной в пунктах 2.1–2.6, произвести измерение больших сопротивлений (свыше 300 Ом). В табл. 3.3 внести результаты измерения сопротивлений, а также расстояния между ближайшими к точке измерения отметками и разность отсчетов, соответствующих указанным отметкам.

3.3. При измерении сопротивления до 300 Ом нажать одновременно кнопки «←» и «кΩ» омметра, что соответствует «Ω». Переключатель пределов измерения омметра установить в положение «Ω». Ручкой установки нуля омметра установить стрелку на отметку «∞» шкалы «Ω». Присоединить к зажимам прибора измеряемое сопротивление. Результаты измерения R_x , а также величины, необходимые для определения чувствительности S_R записать в табл. 3.3.

3.4. Кнопки «←» и «кΩ» вернуть в исходное состояние, снять провода омметра с измеряемого сопротивления.

3.5. Вычислить наибольшие абсолютные погрешности измерения сопротивлений и записать в табл. 3.3. В ту же таблицу записать действительные значения сопротивлений с указанием погрешности измерения.

Опыт 3. Исследование логических элементов

Приступая к выполнению работы, следует знать, что логические элементы (ЛЭ) широко применяют в цифровых измерительных приборах (ЦИП), электронных вычислительных машинах, устройствах автоматики.

Логические элементы ИЛИ, И, НЕ реализуют логические функции сложения, умножения, отрицания. Входными и выходными величинами этих элементов являются переменные, принимающие только два значения «1» и «0».

Необходимо учитывать, что состоянию логической единицы соответствует более высокий потенциал (например, 2,5В), логическому нулю – близкий к 0 (например, 0,03В).

Логический элемент ИЛИ, реализующий функцию логического сложения (дизъюнкцию), имеет несколько входов $X_1, X_2, \dots, X_n$ и один выход Y (рис. 3.4 а).

Переменная Y принимает значение «1», если хотя бы одна из входных переменных ($X_1, X_2, \dots, X_n$) принимает значение «1». Переменная Y принимает значение «0», если все входные переменные равны «0».

В качестве примера цепи, реализующей функцию ИЛИ, можно привести параллельное соединение замыкающих контактов нескольких реле. Цепь, в которую входят эти контакты, будет замкнута, если сработает хотя бы одно реле.

Необходимо знать, что логический элемент И, реализующий функцию логического умножения, также имеет несколько входов ($X_1, X_2, \dots, X_n$) и один выход (Y) (рис. 3.4 б). Переменная Y принимает значение «1», если все переменные ($X_1, X_2, \dots, X_n$) имеют значение «1». Переменная Y равна «0», если хотя бы одна из переменных ($X_1, X_2, \dots, X_n$) равна «0». Функцию «И» реализуют, например, соединенные последовательно замыкающие контакты нескольких реле. Цепь в этом случае будет замкнута, если сработают все реле.

Следует помнить, что логический элемент НЕ (рис. 3.4,в) реализует функцию логического отрицания (инверсию). Он имеет один вход X и один выход Y . Если $X = 1$, то $Y = 0$, если $X = 0$, то $Y = 1$. Примером цепи, реализующей функцию НЕ, может служить размыкающий контакт реле. При срабатывании реле цепь, в которую входит такой контакт, будет размыкаться.

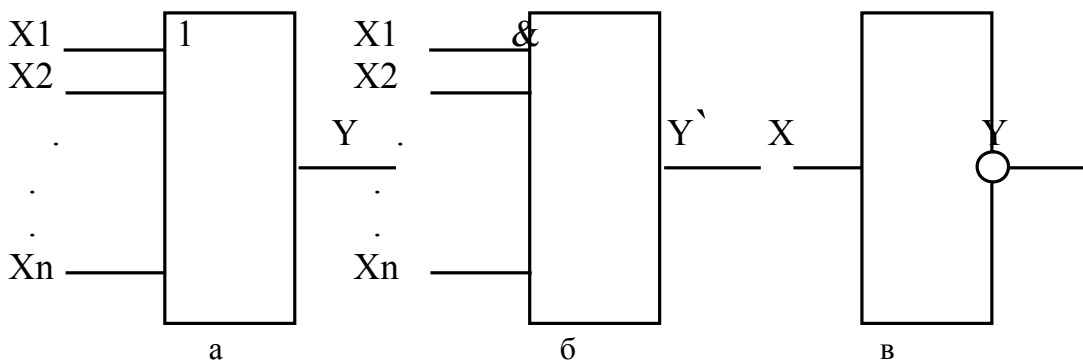


Рисунок 3.4

В данной работе исследуются логические элементы, выполненные на интегральных микросхемах. При этом для определения правильности функционирования ЛЭ применяется авометр в режиме измерения постоянных напряжений.

Порядок выполнения опыта

1. Переключатель рода работы авометра установить в положение «—», переключатель пределов измерения – в положение, соответствующее значению напряжения 5 В.

2. Принимая потенциал логического нуля за 0, определить потенциал, соответствующий логической единице. Подключить провода авометра к точкам Лог. «1» и Лог. «0», измерить напряжение, выбрать нужный предел измерения вольтметра.

3. Проверить функционирование схемы ИЛИ, для чего подключить вольтметр к выходу системы, а на входы подать поочередно напряжения, соответствующие логическому «0» и «1», как указано в табл. 3.4.

Состояние схемы определить по величине напряжения на выходе, заполнить таблицу состояний ЛЭ ИЛИ (см. табл. 3.4).

4. Проверить правильность функционирования схемы И и заполнить табл. 3.4.

5. Проверить функционирование схемы НЕ и заполнить табл. 3.5

Таблица 3.4

X ₁	X ₂	X ₃	Схема ИЛИ		Схема И	
			Y		Y	
			Логический уровень	Напряжение, В	Логический уровень	Напряжение, В
0	0	0				
0	0	1				
0	1	0				
1	0	0				

Таблица 3.5

X	Y	
	Логический уровень	Напряжение, В
0		
1		

6. Сделать вывод о правильности функционирования логических элементов.

Оформление отчета

В отчете привести схемы рис. 3.1, 3.2, 3.4, таблицы 3.1–3.5 с результатами измерений и расчетов, расчетные формулы.

Контрольные вопросы:

1. Для каких измерений предназначены комбинированные измерительные приборы?
2. Какой измерительный механизм используется в авометрах?
3. По каким измерительным схемам включаются авометры?
4. В чем заключаются особенности схем авометров для измерения малых и больших сопротивлений?
5. Что собой представляет класс точности омметров?
6. Как вычисляется погрешность косвенных измерений?
7. На каком принципе основана работа логических элементов ИЛИ, И, НЕ?
8. Какова связь между относительной и приведенной погрешностью прибора?

Библиографический список рекомендуемой литературы

1. Основы метрологии и электрические измерения / под ред. Е. М. Душина. – Л., Энергоатомиздат, 1987, С. 120–121, 147–150, 234.
2. Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М.: Высшая школа, 1982, С. 36–45, 113–114, 126, 163–165.

6.5. Лабораторная работа 4

ИЗУЧЕНИЕ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦВЕТОВЫХ РАЗЛИЧИЙ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Цель работы:

- а) ознакомление с измерением цвета и цветовой координатной системой;
- б) построение оптоэлектронных датчиков для контроля цветовых различий нефтепродуктов;
- в) исследование принципа работы фотоколориметров.

Краткие теоретические сведения

Цвет полупрозрачных жидкостей (нефтепродуктов: бензина, масла, автола, мазута и т. п.), выпускаемых нефтеперерабатывающей промышленностью, является значимым показателем их качества.

Концентрацию одного нефтепродукта в другом определяют по интенсивности окраски их смеси на основании закона Бугера–Ламберта–Бера:

$$\Phi_{\lambda} = \Phi_{0\lambda} e^{-k_{\lambda} C d}, \quad (4.1)$$

где Φ_{λ} – поток монохроматического излучения с длиной волны λ , после прохождения через нефтепродукт;

$\Phi_{0\lambda}$ – первоначальный поток монохроматического излучения, попадающий в нефтепродукт;

k_{λ} – коэффициент поглощения, зависящий от длины волны излучения, природы растворенного нефтепродукта и температуры;

C – концентрация растворенного вещества;

d – толщина поглощающего слоя.

Преобразованием данного уравнения можно получить основные фотометрические величины, применяемые в практике. Это – оптическая плотность D , светопропускание T_λ , светопоглощение A_λ . В зависимости от коэффициента поглощения k_λ и толщины слоя d , можно определить концентрацию растворенного вещества C .

В практических решениях, преобразовывая световые потоки $\Phi_{0\lambda}$ и Φ_λ с помощью оптоэлектронных преобразователей в соответствующие электрические сигналы Y_0 и Y , можно по их величине определить те или иные оптические характеристики нефтепродуктов. При работе оптоэлектронного преобразователя на линейном участке световой характеристики, когда

$$\Phi = K_x Y, \quad (4.2)$$

где K_x – коэффициент пропорциональности.

Учитывая (4.11) можно записать:

$$D = \lg \frac{\Phi_\lambda}{\Phi_{0\lambda}} = \frac{Y}{Y_0} = K_\lambda C d; \quad (4.3)$$

$$D = \lg \frac{\Phi_\lambda}{\Phi_{0\lambda}} \cdot 100 \% = \frac{Y}{Y_0} \cdot 100 \%; \quad (4.4)$$

$$A_\lambda = \frac{\Phi_0 - \Phi}{\Phi} \cdot 100 \% = \frac{Y_0 - Y}{Y} \cdot 100 \%. \quad (4.5)$$

Из этих уравнений видно, что оптическая плотность D прямо пропорциональна концентрации вещества в растворе. Если изменение концентрации C раствора красителя или любого химического компонента вызывает изменение K_λ , то будем иметь отклонение от закона Бугера–Ламберта–Бера.

Для оценки разрешающей способности колориметрического метода контроля за цветом образцов необходимо снять их спектральные характеристики в видимом диапазоне 0,38–0,78 мкм (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Нефтепродукты	Цвет	Спектральная область, мкм
бензин А-72	розовый	0,6–0,64
бензин А-76	желтый	0,56–0,59
бензин А-93	оранжево-красный	0,61–0,67
мазут М-40	желто-красный	0,56– 0,7

Контроль цветовых параметров нефтепродуктов, протекающих через трубу, связан с некоторыми трудностями, вызванными условиями технологического процесса. В частности, тем, что контроль цвета в упомянутых приборах производится, в основном, по двухканальной схеме. Эти методы основаны либо на сравнении исследуемого вещества с набором светофильтров, либо на измерении поглощения проходящего через нефтепродукт света на отдельных длинах волн. Недостатком существующих приборов является применение светофильтров, что снижает надежность, и, кроме того, возможность их использования только в лабораторных условиях.

Цветовые параметры определяются как объективное свойство предметов, проявляющееся в спектральном составе исходящего от них (пропускаемого, отражаемого) излучения и воспринимаемое как осознанное зрительное ощущение. В этом определении даны два аспекта – физический и психофизиологический, неразрывно связанные друг с другом.

Современная теория распознавания цвета основана на однозначно установленном факте трихроматности зрения человека, т.е. зрительный аппарат содержит три вида рецепторов, каждый из которых реагирует преимущественно на красный, зеленый или синий цвет.

Согласно этому, цветовой параметр математически выражается вектором в трехмерном цветовом пространстве, причем начало этого вектора совпадает с началом цветовой координатной системы (ЦКС). Если в качестве

основных цветов использовать единичные векторы трех цветов красного r_n , зеленого g_n и синего b_n , то любой цвет можно выразит в виде:

$$\text{Ц} = R_{r_n} + G_{g_n} + B_{b_n}, \quad (4.6)$$

где Ц – цвет;

R, G, B – качества соответствующих цветов.

На рис. 4.1 *а, б* показаны кривые сложения цветов систем RGB и XYZ. RGB-система называется эмпирической, она используется в качестве основных цветов чистого спектрального излучения красного ($\lambda = 700$ нм), зеленого ($\lambda = 546,1$ нм) и синего ($\lambda = 435,8$ нм) цветов. XYZ называется феноменологической системой. Смысл этих систем заключается в том, что спектрально чистый цвет с $\lambda = 600$ нм воспринимается глазом как состоящий из красного и зеленого компонентов в соотношении 14:3, излучение с $\lambda = 450$ нм воспринимается в виде соотношения 7,5:1:35 красного, зеленого и синего цветов соответственно.

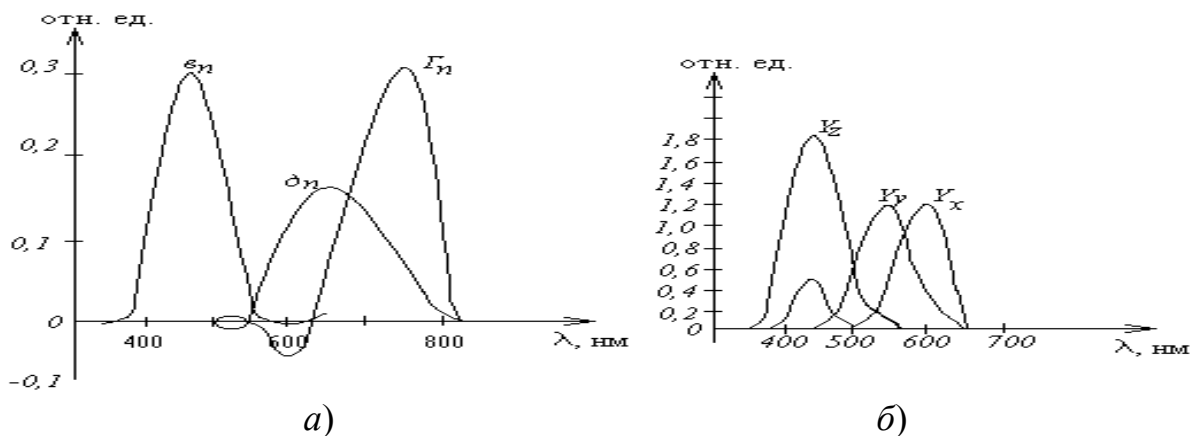


Рис. 4.1. Кривые сложения цветовых систем: а) RGB; б) XYZ

В системе RGB кривые красного r_n , зеленого g_n и синего b_n построены так, что для каждого из трех основных цветов они отличаются от нуля лишь ординатой одной кривой. Принципиальный недостаток этих кривых сложения заключается в наличии отрицательного участка у кривой. При

измерении цветовых координат вычитание цвета реализовать невозможно, поэтому в колориметрии эта система не применяется.

Таким образом, задача контроля цветовых параметров на основе XYZ системы осуществляется тремя способами. Первый – это визуальное сопоставление измеряемого цвета с эталонным. Эталон выбирается из заранее составленного цветового атласа или компьютерным программированием каждого из цветов. Второй – это спектрофотометрирование, наблюдение излучения и расчет координат X , Y , Z . Третий – это непосредственное измерение координат X , Y , Z при использовании трех эталонных приемников оптического излучения, спектральные функции чувствительности которых в точности соответствуют кривым Y_x , Y_y , Y_z . Этот способ, несомненно, является наиболее перспективным, так как он удовлетворяет требованиям технологического процесса.

Для разработки по этому способу устройство должно выполнить следующие операции:

- выделение анализирующего излучения на трех длинах волн (красный, зеленый и синий);
- прием прошедших через объект потоков излучения и преобразование в фотоэлектрический сигнал;
- обработка фотоэлектрического сигнала.

На рис. 4.2 *а, б* показаны блок-схема и конструктивное выполнение устройства для контроля цветовых параметров нефтепродуктов. Устройство состоит из кварцевого кювета с исследуемым контролируемым объектом (КО), компенсационного (СИД₁) и измерительного (СИД₂) светоизлучающих диодов, двух идентичных эталонных приемников оптического излучения (ФП₁ и ФП₂), источника питания (Е), регулятора нагрузки R_n , и измерительного прибора (ИП).

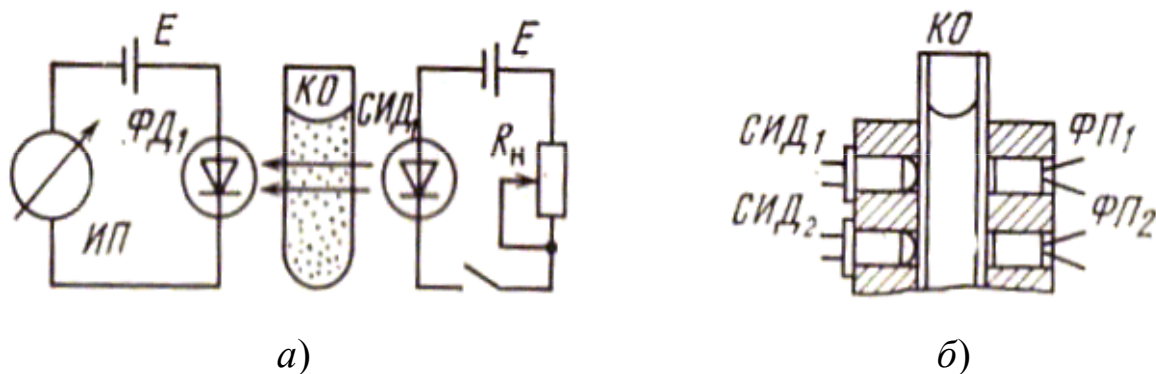


Рис. 4.2. Конструктивное выполнение (а) и блок-схема (б) устройства измерительного прибора

Устройство работает следующим образом.

Потоки излучения, проходящие через слой контролируемого нефтепродукта, поступают на светочувствительную поверхность приемников оптического излучения. Фотоэлектрические сигналы с выхода приемников оптического излучения, соответствующие красному и инфракрасному, зеленому и инфракрасному, синему и инфракрасному потокам, подаются на измерительный прибор для анализа соответствующих цветовых параметров.

Назначение каждой оптопары поясняется следующим образом: контролируемая жидкость облучается двумя световыми потоками с длинами волн λ_1 и λ_2 , один из которых является измерительным, а другой компенсационным. Согласно закону Бугера – Ламберта – Бера, проходящие потоки излучения через слой контролируемой жидкости на компенсационной и измерительной длинах волн имеют вид:

$$\Phi_{\lambda_1} = \Phi_{0\lambda_1} e^{-\kappa_1 C d}; \quad \Phi_{\lambda_2} = \Phi_{0\lambda_2} e^{-\kappa_1 C d} e^{-\kappa_2 C d}, \quad (4.7)$$

где Φ_{λ_1} и Φ_{λ_2} – световые потоки после прохождения через слой контролируемой жидкости;

$\Phi_{0\lambda_1}$ и $\Phi_{0\lambda_2}$ – световые потоки до прохождения через слой контролируемой жидкости;

κ_1 – коэффициент рассеяния;

κ_2 – коэффициент поглощения, зависящий от цвета контролируемой жидкости;

C – концентрация вещества, влияющая на цвет;

e – основание натурального логарифма;

d – толщина слоя контролируемой жидкости.

Выровняв начальные потоки излучения $\Phi_{0\lambda_1} = \Phi_{0\lambda_2}$, получим:

$$\frac{\Phi_{\lambda_1}}{\Phi_{\lambda_2}} = e^{\kappa_2 C d} \quad (4.8)$$

Из этих выражений видно, что при, $d = \text{const}$, отношение проходящего потока излучения на компенсационной и измерительной длинах волн через слой контролируемой жидкости пропорционально цвету контролируемого нефтепродукта.

Порядок выполнения опыта:

1. Собрать схему по рис. 4.2.
2. Снять и построить характеристики $J_\Phi (\Phi_{01})$ без кюветы.
3. Снять и построить характеристики $\Phi_1(K)$ с кюветой с жидкостью α .

Контрольные вопросы:

1. Объясните закон Бугера–Ламберта–Бера.
2. Как различают оптические методы анализа?
3. Расскажите о фотометрическом методе анализа.
4. На каких законах основан принцип работы фотоколориметров?

Библиографический список рекомендуемой литературы

1. Ермаков, О. Н. Прикладная оптоэлектроника / О. Н. Ермаков. – М.: Техносфера, 2004. – 416 с.
2. Рахимов, Н. Р. Оптический контроль в нефтеперерабатывающем производстве: монография / Н. Р. Рахимов. – Фергана: Техника, 2004. – 91 с.
3. Рахимов, Н. Р. АФН-пленки и их применение: монография / Н. Р. Рахимов, А. Н. Серьёзов. – Новосибирск: СибНИА, 2005. – 64 с.

4. Мухитдинов, М. Светоизлучающие диоды и их применение / М. Мухитдинов, Э. С. Мусаев. – М.: Радио и связь, 1988. – 78 с.
5. Мешков, В. В. Основы светотехники / В. В. Мешков. – М.: Энергия, 1979.
6. Юстова, Е. Н. Вопросы измерения и стандартизации света: дис. на соискание ученой степени д. т. н. / Е. Н. Юстова. – Л., 1974.

6.6. Лабораторная работа 5

ИЗУЧЕНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ТРАКТА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ НЕФТЯНОЙ ОТРАСЛИ

Цель работы:

- а) ознакомление с основными элементами волоконно-оптических датчиков;
- б) построение зависимости сигнала от длины волокна;
- в) получение динамометрических характеристик оптоволокон.

Краткие теоретические сведения

Оптоэлектроника – это довольно новая область науки и техники, которая появилась на стыке оптики и электроники. Следует заметить, что в развитии радиотехники с самого начала XX века постоянно прослеживалась тенденция освоения электромагнитных волн все более высокой частоты. Важным моментом в развитии оптоэлектроники является создание оптических волокон. Особенно интенсивными исследования стали в конце 1960-х годов, а разработка в 1970 г. американской фирмой «Корнинг» кварцевого волокна с малым затуханием (20 дБ/км) явилась эпохальным событием и послужила стимулом для увеличения темпов исследований и разработок на все 1970-е годы. Оптическое волокно обычно бывает одного из двух типов: одномодовое, в котором распространяется только одна мода (тип распределения передаваемого электромагнитного поля), и многомодовое – с передачей множества (около сотни) мод. Конструктивно эти типы волокон

различаются только диаметром сердечника – световедущей части, внутри которой коэффициент преломления чуть выше, чем в периферийной части – оболочке. В нефтяном приборостроении используются как многомодовые, так и одномодовые оптические волокна. Многомодовые волокна имеют большой (примерно 50 мкм) диаметр сердечника, что облегчает их соединение друг с другом. Но поскольку групповая скорость света для каждой моды различна, то при передаче узкого светового импульса происходит его расширение (увеличение дисперсии). По сравнению с многомодовыми у одномодовых волокон преимущества и недостатки меняются местами: дисперсия уменьшается, но малый (5...10 мкм) диаметр сердечника значительно затрудняет соединение волокон этого типа и введение в них светового луча лазера.

Вследствие этого одномодовые оптические волокна нашли преимущественное применение в линиях связи, требующих высокой скорости передачи информации (линии верхнего ранга в иерархической структуре линий связи), а многомодовые чаще всего используются в линиях связи со сравнительно невысокой скоростью передачи информации. Имеются так называемые когерентные волоконно-оптические линии связи, где пригодны только одномодовые волокна. В многомодовом оптическом волокне когерентность принимаемых световых волн падает, поэтому его использование в когерентных линиях связи непрактично, что и предопределило применение в подобных линиях только одномодовых оптических волокон. Напротив, хотя при использовании оптических волокон для датчиков вышеуказанные факторы тоже имеют место, но во многих случаях их роль уже иная. В частности, при использовании оптических волокон для когерентных измерений, когда из этих волокон формируется интерферометр, важным преимуществом одномодовых волокон является возможность передачи информации о фазе оптической волны, что неосуществимо с помощью многомодовых волокон. Следовательно, в данном случае необходимо только одномодовое оптическое волокно, как и в

когерентных линиях связи. Тем не менее, на практике применение одномодового оптического волокна при измерении нетипично из-за небольшой его дисперсии. Короче говоря, в сенсорной оптоэлектронике, за исключением датчиков-интерферометров, используются многомодовые оптические волокна. Это обстоятельство объясняется еще и тем, что в датчиках длина используемых оптических волокон значительно меньше, чем в системах оптической связи.

Необходимо отметить общие достоинства оптических волокон:

- широкополосность (предполагается до нескольких десятков терагерц);
- малые потери (минимальные 0,154 дБ/км);
- малый (около 125 мкм) диаметр;
- малая (приблизительно 30 г/км) масса;
- эластичность (минимальный радиус изгиба 2 ММ);
- механическая прочность (выдерживает нагрузку на разрыв примерно 7 кг);
- отсутствие взаимной интерференции (перекрестных помех типа известных в телефонии «переходных разговоров»);
- безындукционность (практически отсутствует влияние электромагнитной индукции, а следовательно, и отрицательные явления, связанные с грозовыми разрядами, близостью к линии электропередачи, импульсами тока в силовой сети);
- взрывобезопасность (гарантируется абсолютной неспособностью волокна быть причиной искры);
- высокая электроизоляционная прочность (например, волокно длиной 20 см выдерживает напряжение до 10000 В);
- высокая коррозионная стойкость, особенно к химическим растворителям, маслам, воде.

В практике использования волоконно-оптических датчиков имеют наибольшее значение последние четыре свойства. Достаточно полезны и такие свойства, как эластичность, малые диаметр и масса. Широкополосность же и малые потери значительно повышают возможности оптических волокон, но далеко не всегда эти преимущества осознаются разработчиками датчиков. Однако, с современной точки зрения, по мере расширения функциональных возможностей волоконно-оптических датчиков в ближайшем будущем эта ситуация понемногу исправится.

Как будет показано ниже, в волоконно-оптических датчиках оптическое волокно может быть применено просто в качестве линии передачи, а может играть роль самого чувствительного элемента датчика. В последнем случае используются чувствительность волокна к электрическому полю (эффект Керра), магнитному полю (эффект Фарадея), к вибрации, температуре, давлению, деформациям (например, к изгибу). Многие из этих эффектов в оптических системах связи оцениваются как недостатки, в датчиках же их появление считается скорее преимуществом, которое следует развивать.

Современные волоконно-оптические датчики позволяют измерять почти все. Например, давление, температуру, расстояние, положение в пространстве, скорость вращения, скорость линейного перемещения, ускорение, колебания, массу, звуковые волны, уровень жидкости, деформацию, коэффициент преломления, электрическое поле, электрический ток, магнитное поле, концентрацию газа, дозу радиационного излучения, на использовании пучков таких волокон основывается вся техника эндоскопии.

Если классифицировать волоконно-оптические датчики с точки зрения применения в них оптического волокна, то, их можно грубо разделить на датчики, в которых оптическое волокно используется в качестве линии передачи, и датчики, в которых оно используется в качестве чувствительного элемента. В датчиках типа «линии передачи» используются в основном

многомодовые оптические волокна, а в датчиках сенсорного типа чаще всего – одномодовые.

С помощью волоконно-оптических датчиков с оптоволоконном в качестве линии передач можно измерять следующие физические величины:

- датчиком проходящего типа: температуру (на основе измерения изменения постоянной люминесценции в многомодовых волокнах, в диапазоне 0...70 °C с точностью $\pm 0,04$ °C);
- датчиком отражательного типа: концентрацию кислорода в крови (происходит изменение спектральной характеристики, детектируется интенсивность отраженного света, оптоволоконно – пучковое, с доступом через катетер).

В последние годы, когда стало возможным получение волоконных световодов с потерями меньше 1 дБ/км (в диапазоне длин волн 1–1,8 мкм) и были разработаны высокоэффективные полупроводниковые источники (светоизлучающие диоды, лазерные диоды и т. д.), а также ПОИ (фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, ПЗС-структуры, АФН-приемники и т. д.), были преодолены основные препятствия к широкому применению световодов в различных отраслях науки и техники.

Наряду с уже имеющимся широким использованием в линиях передачи информации в настоящее время волоконные световоды (ВС) находят все большее применение в оптоэлектронных системах, измеряющих ускорение, угловые перемещения, температуру, деформацию (давление), оптические параметры жидких сред и т. п.

Применение ВС в оптоэлектронных системах дает уникальные возможности увеличения чувствительности датчиков путем обеспечения большой длины взаимодействия световода с контролируемым объектом. Кроме того, они обладают и рядом дополнительных преимуществ – высокой помехозащищенностью от электромагнитных полей, малым объемом, весом и др. К другим преимуществам, которые, несмотря на свой консерватизм, оценит промышленность, относятся: повышенная информационная емкость,

высокая чувствительность, а также возможность миниатюризации. Повышенная чувствительность достигается использованием волоконных или объемных интерферометров (Меха–Цендера, Михельсона, Фабри–Перо) и поляриметрических оптоволоконных датчиков. Чувствительность зависит от двух факторов: избирательность чувствительной системы и изменение оптической длины пути для данного изменения измеряемой величины. Оптоэлектронные датчики на основе оптоволокна с применением двулучепреломляющих кристаллов имеют тенденцию к снижению чувствительности из-за более короткой оптической длины пути через кристалл.

В данной работе изложена методика и приведены результаты экспериментального исследования волоконно-оптического тракта для разработки оптоэлектронной системы неразрушающего контроля.

Исследуются три типа полимерных световодов:

- а) оптоволокно круглого сечения в защитной оболочке, диаметр сердцевины $d_c = 0,4$ мм, диаметр отражающей оболочки $d_o = 0,6$ мм;
- б) оптоволокно круглого сечения без защитной оболочки, диаметр сердцевины $d_c = 0,4$ мм, диаметр отражающей оболочки $d_o = 0,5$ мм;
- в) оптоволокно круглого сечения без защитной оболочки, диаметр сердцевины $d_c = 0,2$ мм, диаметр отражающей оболочки $d_o = 0,4$ мм.

Длина всех трех исследованных волокон составила 1 м.

Рабочее задание:

1. Собрать схему по рис. 5.1 для исследования соединения «излучатель – разъем – оптоволокно – разъем – кабель – разъем – ПОИ». Из блока питания (БП) через переменный резистор R подается ток на СИД. В качестве СИД использован светодиод АЛ-107Б мощностью излучения до 10 мВт и длиной волны 0,85–1,2 мкм. Излучение СИД через разъем подается на исследуемое оптоволокно, и далее через разъем на оптический кабель. Из оптического кабеля через разъем световой поток попадает на светочувствительную поверхность ПОИ. В качестве ПОИ использован

фотодиод ФД-11К. Сигнал с ПОИ регистрируется в оптическом тестере (ОТ) «Электроника-6».

2. Собрать схему по рис. 5.2 для исследования зависимости сигнала от длины волокна. Результаты измерений записать и построить характеристики мощности сигнала мВт (L), как на рис. 5.3.

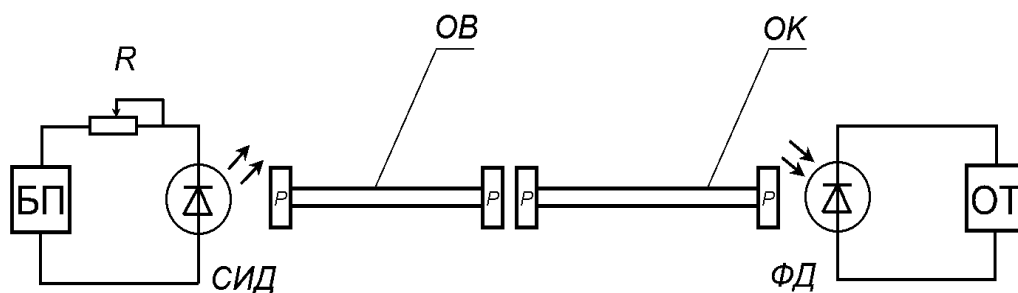


Рис. 5.1. Схема экспериментальной установки для снятия характеристики «излучатель – разъем – оптоволокно – разъем – кабель – разъем – ПОИ»,

где БП – блок питания; R – регулировочный резистор;

СИД – светоизлучающий диод; P – разъем; ОВ – оптоволокно;

ОК – оптический кабель; ФД – фотодиод; ОТ – оптический тестер

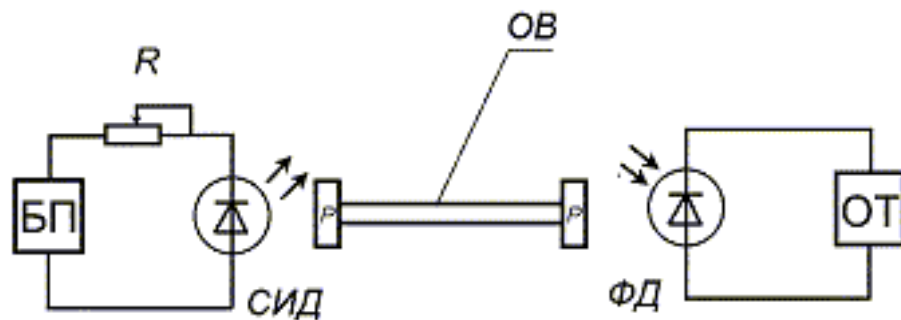


Рис. 5.2. Схема экспериментальной установки
для исследования зависимости сигнала от длины волокна

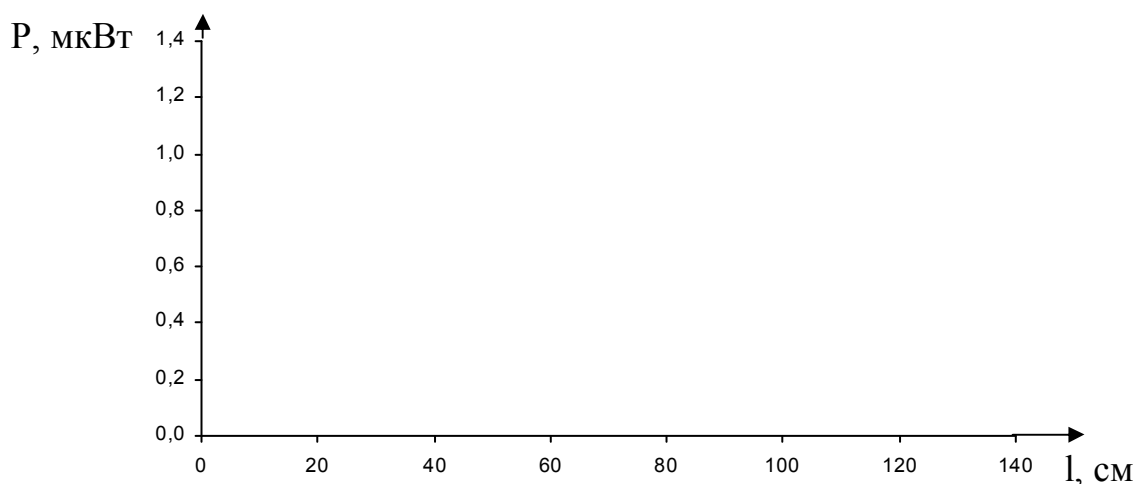


Рис. 5.3. Зависимость сигнала от длины волокна

3. Для проведения статических испытаний оптоволокна собрать установку, как на рис. 5.4. В состав установки входят следующие элементы: блок питания (БП), переменный резистор (R), лазерный диод (ЛД), исследуемое оптоволокно (ОВ), динамометрическая установка (ДУ), фотодиод (ФД) и оптический тестер (ОТ). Из блока питания через переменный резистор R на лазерный диод подается питающий ток. Излучение ЛД, проходя через исследуемое оптоволокно, попадает на светочувствительную поверхность фотодиода. Сигнал с фотодиода измеряется с помощью оптического тестера. В качестве ЛД использован излучатель ИЛПН-301-1 с длиной волны 0,81–0,89 мкм, способный работать

в непрерывном и импульсном режиме. В качестве датчика использован полимерный световод круглого сечения в защитной оболочке с диаметром сердцевины $d_c = 0,4$ мм и диаметром отражающей оболочки $d_o = 0,6$ мм. Прочность таких световодов значительно меньше 50 МПа, однако обращаться с ними гораздо удобнее, так как они не боятся случайных резких изгибов. Основной недостаток этих световодов – это повышение на 2–3 порядка, по сравнению с кварцевыми, затухания. Динамометрическая установка, форма которой показана на рис. 9.4, изготовлена из твердого металла. Данная установка способна взвесить груз массой до 40 кг с разрешающей способностью и точностью $\approx 1\%$.

Результаты измерений записать и построить характеристики $\mu W(\text{кг})$.

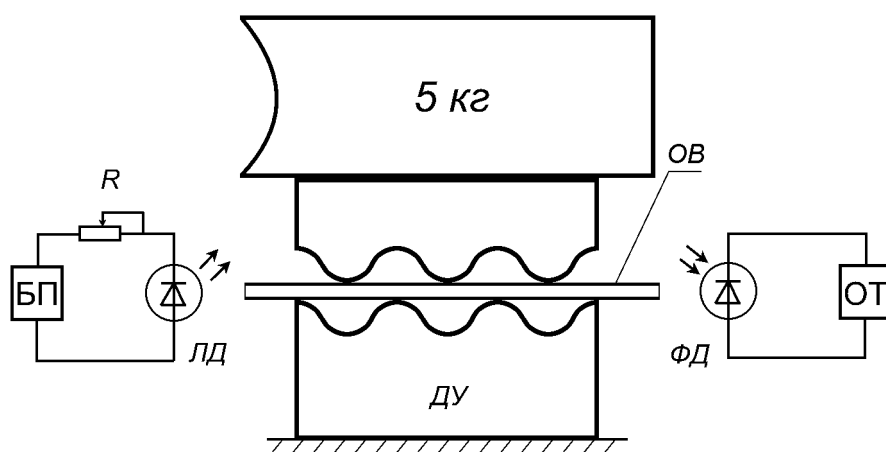


Рис. 5.4. Схема экспериментальной установки

для снятия динамометрических характеристик оптоволоконна.

На схеме: БП – блок питания; R – регулировочный резистор;

ЛД – лазерный диод; ОВ – оптоволоконно; ДУ – динамометрическое устройство;

ФД – фотодиод; ОТ – оптический тестер

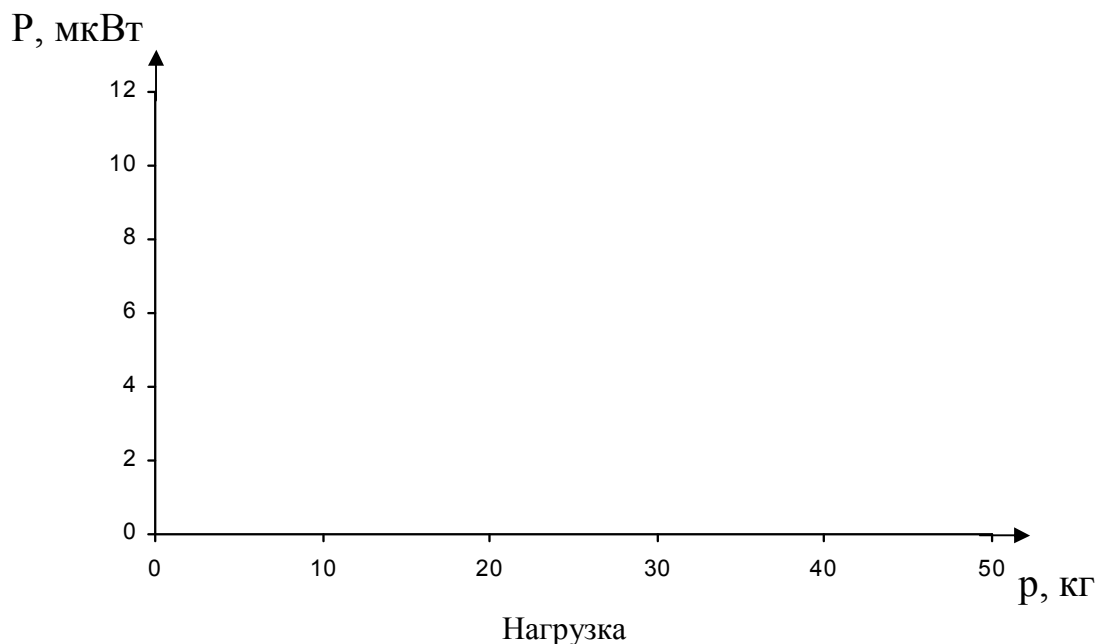


Рис. 5.5. Характеристика «нагрузка – ослабление сигнала»

Контрольные вопросы и задания для самостоятельной работы:

1. Назовите основные элементы волоконно-оптических датчиков.
2. Чем отличается одномодовый волоконный световод от многомодового?
3. Что такое числовая апертура волокна?
4. Опишите опыт Тиндаля.

Библиографический список рекомендуемой литературы

1. Ямамото Хисааки. Оптоволоконные датчики и их применение. // Отомэсён. Automation. – 1987. – Vol. 32, № 5. – С. 31–35.
2. Бусурин, В. И. Волоконно-оптические датчики: физические основы, вопросы расчёта и применения / В. И. Бусурин, Ю. Р. Носов. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Скляров, О. К. Современные волоконно-оптические системы передачи. Аппаратура и элементы / О. К. Скляров. – М.: Солон-Р, 2001. – 237 с.

4. Гребнев, А. К. Оптоэлектронные элементы и устройства / А. К. Гребнев, В. Н. Гридин, В. П. Дмитриев. – М.: Радио и связь, 1998. – 336 с.

5. Верещагин, И. К. Введение в оптоэлектронику / И. К. Верещагин, Л. А. Косяченко, С. М. Кокин. – М.: Высшая школа, 1991. – 192 с.

6. Берлин Б. З., Брискер А. С., Иванов В. С. Волоконно-оптические системы связи на ГТС: справочник / Б. З. Берлин, А. С. Брискер, В. С. Иванов. – М.: Радио и связь, 1994. – 160 с.

7. Рахимов, Н.Р. Волоконно-оптические системы передачи: учебник / Н. Р. Рахимов, А. М. Расулов. – Ташкент: ТУИТ, 2008. 128 с.

6.7. Лабораторная работа 6

ИЗУЧЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОГО ТЕСТЕРА ТИПА «ЭЛЕКТРОНИКА 01-6»

Цель работы:

а) изучение устройства и принципа работы тестера для измерения затухания в волоконно-оптических световодах и кабелях;

б) построение зависимости сигнала с оптическими разъемами и без разъемов;

в) исследование волоконно-оптического модуля оптического тестера.

Краткие теоретические сведения

Тестер оптический универсальный «Электроника 01-6» (в дальнейшем именуемый тестер) предназначен для измерения уровня средней мощности оптического излучения, генерирования оптического излучения и организации двухсторонней голосовой связи по оптическому волокну. К прибору прилагается руководство по эксплуатации, в котором описано устройство прибора, принцип работы и т. д.

Основные области применения:

- монтаж, наладка и эксплуатация волоконно-оптических систем передачи (ВОСП);

- производство компонентов ВОСП.

Нормальные и рабочие условия эксплуатации тестера приведены в табл. 6.1.

Питание тестера осуществляется:

- от встроенного электрохимического источника тока (аккумуляторной батареи);
- от сети переменного тока напряжением 220 ± 22 В, частотой 50 ± 1 Гц с подключением через блок питания, входящий в комплект тестера.

В основе работы оптического тестера «Электроника 01-6» лежит принцип преобразования электрического сигнала в оптический и оптического сигнала после прохождения через оптоволоконно в электрический сигнал с измерением его величины.

Таблица 6.1

Условия эксплуатации	Температура воздуха, К (°C)	Относительная влажность воздуха, %	Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	Напряжение, В	Частота, Гц
нормальные	293 ± 5 (20 ± 5)	40–80 при 298 К (25 °C)	86,6–106,7 (630–800)	$220 \pm 4,4$	$50 \pm 0,5$
рабочие	283 – 308 (10 – 35)	до 80 при 298 К (25 °C)	то же	220 ± 22	50 ± 1

Принципиальная электрическая схема тестера (рис. 6.1) реализована на полупроводниковых приборах и интегральной схеме. В качестве ПОИ, использован фотодиод ФД-11к в фотовентельном включении (без смещения).

Сигнальный ток фотодиода поступает на вход преобразователя «ток–напряжение», выполненного на интегральном операционном усилителе D 140 УД12 в инвертирующем включении. Двухтактный эмиттерный

повторитель на транзисторах V12 и V13 служит для увеличения нагрузочной способности операционного усилителя D и для согласования его выходного сопротивления с сопротивлением цепи обратной связи и сопротивлением индикатора P1. Напряжение с выхода преобразователя через переключатель рода работы S2 и потенциометры R29 и R30 поступает на стрелочный индикатор P1, в качестве которого использован микроамперметр М906, ГОСТ 8711-75, со шкалами, градуированными непосредственно в микроваттах и децибаллах.

Для компенсации входного тока утечки операционного усилителя используется цепочка R9, R10, R18, R20 и VT1. Резистор R23 используется для балансировки операционного усилителя.

Переключателем пределов измерений S1.1 осуществляется коммутация резисторов R1–R8, R11–R13, R17–R28 в цепи обратной связи преобразователя «ток–напряжение», при этом чувствительность преобразователя меняется с шагом 5 дБ.

Питание тестера осуществляется от однополярного источника напряжения – 6 В, в качестве которого используется либо батарея гальванических элементов G1–G4, либо внешний стабилизированный источник питания, который подключается к тестеру через разъем X1.

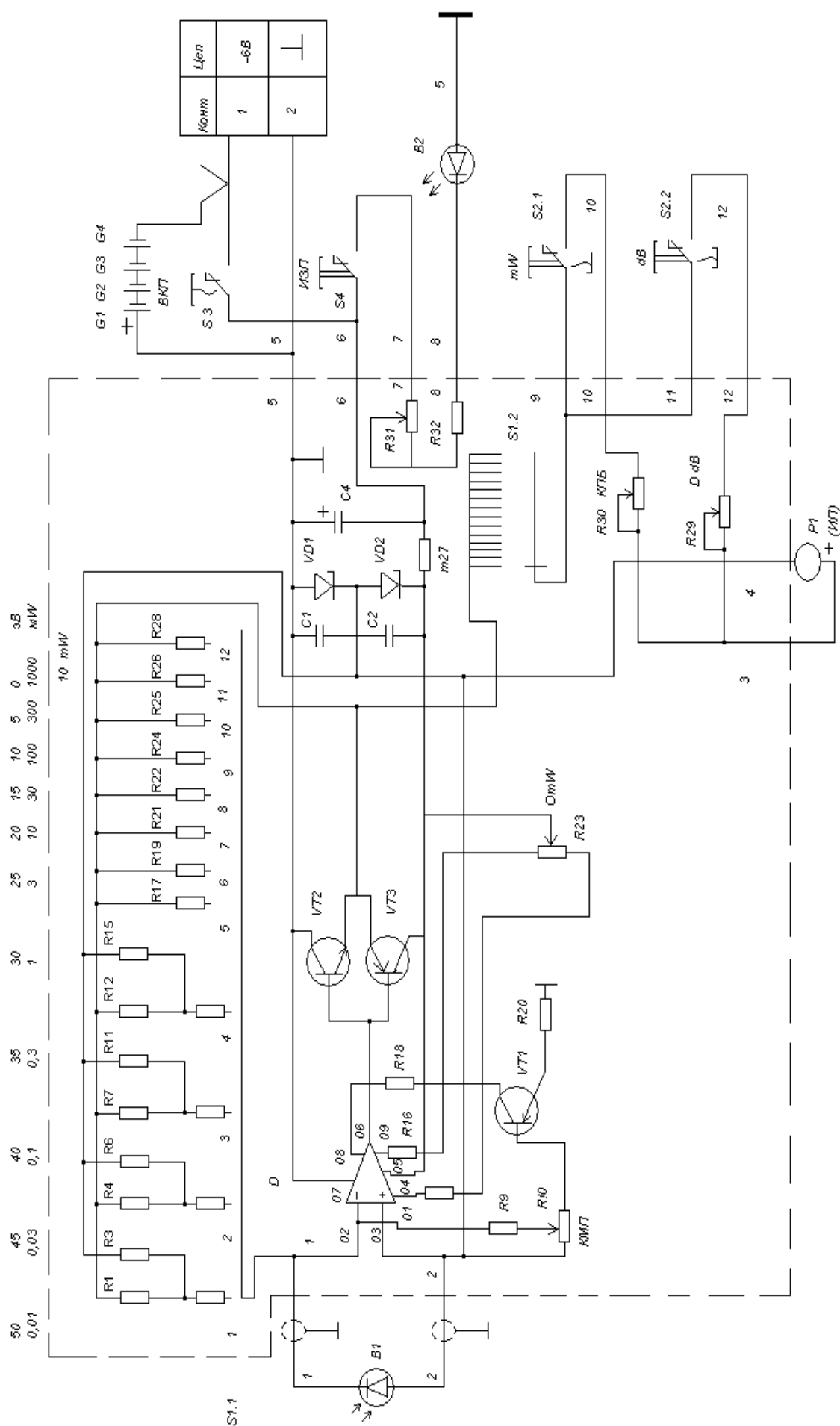


Рис.6.1. Принципиальная электрическая схема тестера «Электроника 01-6»

В качестве излучателя В2 в тестере используется лазерный диод ИЛПН-301-1. Ток накачки излучателя $I_n = 70 \text{ mA}$ устанавливается подстроечным резистором R31.

Конструктивно тестер выполнен в сборном металлическом каркасе, состоящем из крышки и корпуса (рис. 6.2). Крышка тестера является панелью управления, на которой расположены органы управления тестером.



Рис. 6.2. Общий вид прибора

Волоконно-оптический модуль тестера «Электроника 01-6» предназначен для эффективного подавления мод оболочки и не основных мод излучения сердечника лазерного диода. Это необходимо для возбуждения измеряемого световода излучением со стационарным модовым составом.

Волоконно-оптический модуль конструктивно представляет собой отрезок волоконно-оптического кабеля длиной $L = 5 \text{ м} + 5 \text{ м} = 10 \text{ м}$, окан-

чивающийся оптическими разъемами с повышенными требованиями к юстировке наконечников оптических разъемов.

Измерение оптических вносимых потерь оптической вилкой проводится следующим образом:

- ▶ выбрать рабочую длину волны оптического излучения встроенного источника оптического излучения;
- ▶ с помощью оптической, вилки, входящей в комплект тестера, соединить оптические розетки «(→» и «←)» тестера;
- ▶ включить оптическое излучение встроенного источника оптического излучения;
- ▶ считать результат измерения P_o , дБм, с индикатора тестера;
- ▶ оптический полюс вилки, подключенный к оптической розетке «(→)» тестера, отключить от последней и подключить с помощью оптической розетки к одному из оптических полюсов оптической вилки, оптические вносимые потери которого измеряют, а другой оптический полюс – к оптической розетке «←)» тестера;
- ▶ считать результат измерения P_1 , дБм с индикатора тестера;
- ▶ вычислить оптические вносимые потери оптическим полюсом оптической вилки, V_1 , дБ, по формуле

$$V_1 = P_o - P_1; \quad (6.1)$$

- ▶ изменить подключение проверяемой оптической вилки на противоположное и считать результат измерения P_2 , дБм, с индикатора тестера;
- ▶ вычислить оптические вносимые потери оптическим полюсом оптической вилки, V_2 , дБ по формуле

$$V_2 = P_o - P_2; \quad (6.2)$$

- ▶ вычислить оптические вносимые потери оптической вилкой, V , дБ по формуле

$$V = V_1 + V_2. \quad (6.3)$$

Измерение оптических вносимых потерь оптическим волокном (оптическим кабелем) проводится следующим образом:

- ⇒ выбрать рабочую длину волны оптического излучения встроенного источника оптического излучения;
- ⇒ с помощью оптической вилки, входящей в комплект тестера, соединить оптические розетки «(→» и «←→)» тестера;
- ⇒ включить оптическое излучение встроенного источника оптического излучения;
- ⇒ считать результат измерения P_0 , дБм, с индикатора тестера;
- ⇒ оптический полюс вилки, подключенный к оптической розетке «←→)» тестера, отключить от последней и подключить с помощью адаптера обнаженного волокна (далее по тексту адаптера) и оптической розетки к одному из оптических полюсов оптического волокна, оптические вносимые потери которого измеряют, а другой оптический полюс также с помощью адаптера – к оптической розетке «←→)» тестера;
- ⇒ считать результат измерения P_1 , дБм, с индикатора тестера;
- ⇒ вычислить оптические вносимые потери оптическим волокном (оптическим кабелем), В, дБ, по формуле (6.1).

Порядок выполнения опыта

Внимание: оптическое излучение, генерируемое встроенным источником оптического излучения тестера, представляет опасность при облучении глаз прямым или зеркально отраженным излучением!

1. Подробно изучите расположение органов управления и основных узлов на внешнем виде тестера (рис. 6.2).
2. Установите ноль стрелочного индикатора механическим корректором.
3. Включите питание тестера кнопкой «Ø» и дайте прибору прогреться в течение 1 мин.

4. Переключатель пределов измерений установите в положение $1\ 000\ \mu\text{W}$, нажмите кнопку « μW », установите нуль стрелочного индикатора электрическим корректором «Установка нуля μW », расположенным на панели управления.

5. Переключатель пределов переведите в положение $0,01\ \mu\text{W}$ и при необходимости установите ноль стрелочного индикатора, вращая ручку потенциометра «КМП».

6. Измерения проводите по схеме, приведенной на рис. 8.3. Определите потери в стыковках соединений и напишите показания прибора до и после стыковки.

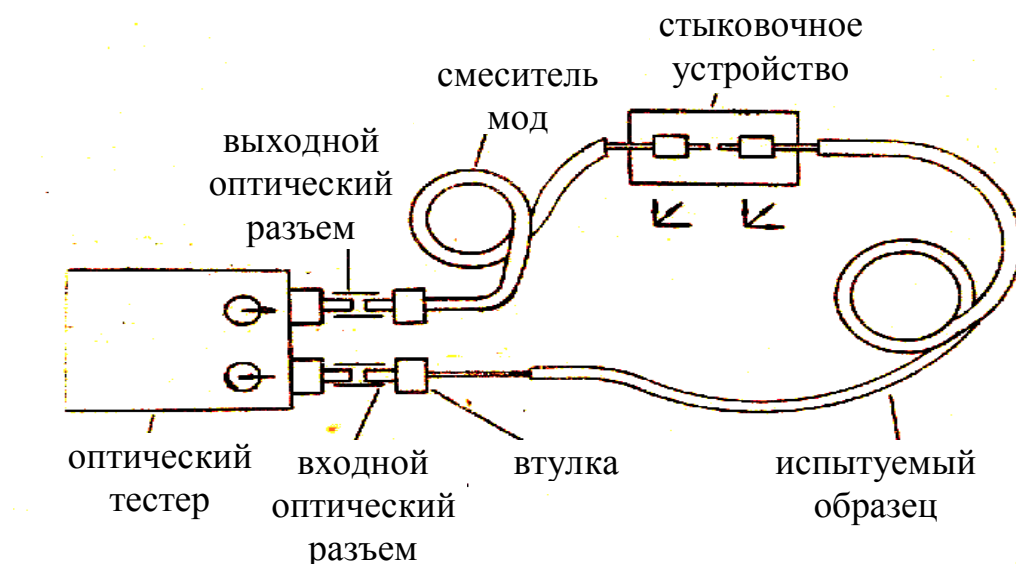


Рис. 6.3. Схема эксперимента

Контрольные вопросы и задания для самостоятельной работы:

1. Объясните принцип работы оптического тестера «Электроника 01-6».
2. Что такое эмиттерный повторитель?
3. Как устроен волоконно-оптический модуль тестера?

Библиографический список рекомендуемой литературы

1. Ямамото Хисааки. Оптоволоконные датчики и их применение / Ямамото Хисааки // Отомэсён. Automation. – 1987. – Vol. 32, № 5. – С. 31–35.

2. Бусурин, В. И., Носов Ю. Р. Волоконно-оптические датчики: физические основы, вопросы расчёта и применения / В. И. Бусурин, Ю. Р. Носов. – М. Энергоатомиздат, 1990.
3. Скляр, О. К. Современные волоконно-оптические системы передачи. Аппаратура и элементы / О. К. Скляр. – М.: Солон-Р, 2001. – 237 с.
4. Многоканальные системы передачи: учебник для вузов / Н. Н. Баева и др. – М.: Радио и связь, 1996. – 560 с.
5. Гребнев, А. К. Оптоэлектронные элементы и устройства / А. К. Гребнев, В. Н. Гридин, В. П. Дмитриев. – М.: Радио и связь, 1998. – 336 с.
6. Верещагин, И. К. Введение в оптоэлектронику / И. К. Верещагин, Л. А. Косяченко, С. М. Кокин. – М.: Высшая школа, 1991. – 192 с.
7. Берлин, Б. З. Волоконно-оптические системы связи на ГТС: Справочник / Б. З. Берлин, А. С. Брискер, В. С. Иванов. – М.: Радио и связь, 1994. – 160 с.
8. Рахимов, Н. Р. Волоконно-оптические системы передачи: учебник / Н. Р. Рахимов, А. М. Расулов. – Ташкент: ТУИТ, 2008. 128 с.
9. Рахимов, Н. Р. Метрология: учебное пособие / Н. Р. Рахимов. – Уфа: УГНТУ, 2016. – 80 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамичное развитие экономики России невозможно без повышения конкурентоспособности отечественных товаров и услуг как на внутреннем, так и на внешнем рынке. Ориентация только на ценовую конкуренцию в современных условиях решающего успеха уже не гарантирует. Определяющим для потребителей во всех странах мира стало качество. Очевидно, что производители должны знать требования, предъявляемые к качеству выпускаемых ими товаров, изучать их. Эти требования, как правило, не одинаковы для различных групп потребителей и отличаются в зависимости от покупательной способности населения, уровня конкуренции, климатических условий, культурных традиций и многих других факторов. А это означает, что качеством продукции и услуг необходимо управлять, уметь количественно оценивать и анализировать их показатели, варьировать влияющими на них процессами.

Дисциплина «Метрология, квалиметрия и стандартизация» помогает студентам изучить основы теории и практики метрологии, системы метрологического обеспечения, квалиметрии и стандартизации.

В данной книге рассмотрены лишь некоторые задачи метрологического обеспечения, квалиметрии и стандартизации, встречающиеся на практике метрологических измерений.

Разумеется, в рамках отдельной дисциплины невозможно охватить все многообразие физических величин, измерительных задач и приборов, с которыми может встретиться специалист в области нефтяной и газовой отрасли.

Данное учебно-методическое пособие позволяет организовать самостоятельную работу студентов при решении конкретных практических задач по дисциплине «Метрология, квалиметрия и стандартизация». В пособии рассмотрены примеры решения задач по основным темам курса. Это

позволяет студенту успешно выполнить приведенные контрольные работы при условии проработки теоретического материала по этим темам.

Основной упор сделан на обработку экспериментальных данных с целью определения результатов и погрешностей для наиболее часто встречающихся на практике видов измерений – прямых однократных, многократных и косвенных.

В контрольных работах задаются задачи, типовые решения которых рассмотрены в соответствующих разделах пособия, поэтому отдельный пример решения варианта контрольной работы приводить нецелесообразно. Перечень выносимых на итоговую аттестацию вопросов и задач в достаточно исчерпывающем объеме приведен в учебном и учебно-методическом пособиях в виде контрольных вопросов по темам и примеров решения задач.

Часть контрольных заданий носит текстовый характер. В основном это касается вопросов законодательной метрологии, технического регулирования, стандартизации и сертификации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы метрологии и электрические измерения / под ред. Е. М. Душина. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1987. – 423 с.
2. Малиновский В. Н. Электрические измерения / В. Н. Малиновский. – Москва: Энергоатомиздат, 1985. – 230 с.
3. Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин / Э. Г. Атамалян. – Москва: Высшая школа, 1982. – 171 с.
4. Основы метрологии и электрические измерения / под ред. Е. М. Душина. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1987. – 394 с.
5. Ермаков О. Н. Прикладная оптоэлектроника / О. Н. Ермаков. – Москва: Техносфера, 2004. – 416 с.
6. Рахимов Н. Р. Метрология: учебное пособие / Н. Р. Рахимов. – Уфа: УГНТУ, 2016. – 80 с.
7. Рахимов Н. Р. Оптический контроль в нефтеперерабатывающем производстве: монография / Н. Р. Рахимов. – Фергана: Техника, 2004. – 91 с.
8. Рахимов Н. Р. АФН-пленки и их применение: монография / Н. Р. Рахимов, А. Н. Серьёзов. – Новосибирск: СибНИА, 2005. – 64 с.
9. Мухитдинов М. Светоизлучающие диоды и их применение / М. Мухитдинов, Э. С. Мусаев. – Москва: Радио и связь, 1988. – 78 с.
10. Мешков В. В. Основы светотехники / В. В. Мешков. – Москва: Энергия, 1979.
11. Юстова, Е. Н. Вопросы измерения и стандартизации света: дис. на соискание ученой степени д. т. н. / Е. Н. Юстова. – Л., 1974.
12. Ямамото Хисааки. Оптоволоконные датчики и их применение. // Отомэсён. Automation. – 1987. – Vol. 32, № 5. – С. 31–35.
13. Бусурин, В. И. Волоконно-оптические датчики: физические основы, вопросы расчёта и применения / В. И. Бусурин, Ю. Р. Носов. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

14. Складов, О. К. Современныe волоконно-оптические системы передачи. Аппаратура и элементы / О.К. Складов. – М.: Солон-Р, 2001. – 237 с.
15. Гребнев, А. К. Оптоэлектронные элементы и устройства / А. К. Гребнев, В. Н. Гридин, В. П. Дмитриев. – М.: Радио и связь, 1998. – 336 с.
16. Верещагин, И. К. Введение в оптоэлектронику / И. К. Верещагин, Л. А. Косяченко, С. М. Кокин. – М.: Высшая школа, 1991. – 192 с.
17. Берлин Б. З., Брискер А. С., Иванов В. С. Волоконно-оптические системы связи на ГТС: справочник / Б. З. Берлин, А. С. Брискер, В. С. Иванов. – М.: Радио и связь, 1994. – 160 с.
18. Рахимов Н. Р. Волоконно-оптические системы передачи: учебник / Н. Р. Рахимов, А. М. Расулов. – Ташкент: ТУИТ, 2008. – 128 с.
19. Рахимов Н. Р. Методика проведения практических занятий по дисциплине «Метрология, квалиметрия и стандартизация» / Рахимов Н. Р., Умарова Г. А. Материалы Международной научно-методической конференции «Актуальные вопросы высшего образования». – Уфа, УГНТУ – 2019 (6 ноября 2019 г.). С. 172–176.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТРОЛОГИИ, КВАЛИМЕТРИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ	7
1.1. Основные понятия и определения метрологии	7
1.2. Измерение физических величин	9
1.3. Классификация погрешностей измерения	12
1.4. Эталоны единиц физических величин	13
1.5. Измерение физических величин	13
1.6. Классификация измерений	14
1.7. Методы измерения физических величин	16
1.8. Понятие о средстве измерений	17
1.9. Метрологические характеристики средств измерений и контроля	19
1.10. Правовые основы метрологии	21
1.11. Метрологические службы, обеспечивающие единство измерений	23
1.12. Передача размеров единиц физических величин	25
1.13. Государственный метрологический контроль и надзор за средствами измерения	27
2. ОБЪЕКТ, ПРЕДМЕТ И СТРУКТУРА КВАЛИМЕТРИИ	30
2.1. Принципы и задачи квалиметрии	31
2.2. Основные термины и определения, относящиеся к качеству	34
2.3. Показатели качества продукции	35
2.4. Методы определения показателей качества	38
2.5. Методы оценки качества продукции в целом	38
2.6. Понятие о системе качества	40
3. СТАНДАРТИЗАЦИЯ КАК НАУКА	42

3.1. Функции и категории стандартизации	44
3.2. Категории нормативных документов	45
3.3. Правовые основы стандартизации	47
3.4. Виды стандартов, применяемых в РФ	48
3.5. Государственный контроль и надзор за соблюдением требований государственных стандартов	50
3.6. Международное сотрудничество России в области стандартизации	50
3.7. Применение международных и национальных стандартов на территории РФ	52
4. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПО МЕТРОЛОГИИ, КВАЛИМЕТРИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ	53
4.1. Вид и метод измерения	53
4.1.1. Примеры решения задач	53
4.1.2. Задачи для самостоятельного решения	54
4.2. Основы теории погрешностей	55
4.2.1. Примеры решения задач	55
4.2.2. Задачи для самостоятельного решения	61
4.3. Обработка результатов измерений	63
4.3.1. Примеры решения задач	63
4.3.2. Задачи для самостоятельного решения	71
5. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА	73
5.1. Систематические и случайные погрешности	73
5.2. Суммирование погрешностей	76
5.3. Обработка однократных прямых измерений	78
5.4. Обработка многократных измерений	80
5.5. Обработка косвенных измерений	82
5.6. Автоматизация измерений	84
5.7. Метрологическое обеспечение	84

5.8. Техническое регулирование	86
5.9. Стандартизация	86
5.10. Подтверждение соответствия. Сертификация	87
5.11. Приложение	87
6. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	93
6.1. Правила выполнения лабораторных работ	93
6.2. Лабораторная работа 1	95
6.3. Лабораторная работа 2	107
6.4. Лабораторная работа 3	117
6.5. Лабораторная работа 4	133
6.6. Лабораторная работа 5	140
6.7. Лабораторная работа 6	150
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	159
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	161

Учебное издание

Рахимов Неъматжон Рахимович, Умарова Гулчехра Абитовна

Метрология, квалиметрия и стандартизация

Технический редактор А.А. Зиннуров

Подписано в печать 15.06.2020. Формат 60 × 84 1/16.
Усл. печ. л. 9,68. Тираж 300 экз. Заказ 1341.

Издательство

Уфимского государственного нефтяного технического университета

Адрес издательства: 450062, Республика Башкортостан,
г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

Отпечатано в Октябрьском информационном центре –
филиале ГУП РБ Издательский дом «Республика Башкортостан».
Адрес: 452607, Республика Башкортостан, г. Октябрьский,
ул. Чапаева, 18.