

МВД России  
Санкт-Петербургский университет

*Д. И. Якушев, В. С. Потехин, А. И. Примакин, А. И. Локнов*

## **ОСНОВЫ ЭЛЕКТРО-, РАДИОИЗМЕРЕНИЙ**

Учебное пособие

Санкт-Петербург  
2021

УДК 006.91:53.08:621.317

ББК 30.10

Я 49

**Я 49 Основы электро-, радиоизмерений:** учебное пособие. — Санкт-Петербург: Изд-во СПб ун-та МВД России, 2021. — 68 с.

**Авторский коллектив:**

**Якушев Денис Игоревич**, доктор технических наук — введ., глава 1;

**Потехин Владимир Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент, почетный работник науки и техники Российской Федерации — § 2.4, 2.7, закл.;

**Примакин Алексей Иванович**, доктор технических наук, профессор — § 2.2, 2.3;

**Локнов Алексей Игоревич**, кандидат технических наук — § 2.1, 2.5, 2.6

ISBN 978-5-91837-377-4

Учебное пособие соответствует программе дисциплины «Основы электро-, радиоизмерений».

В содержании рассмотрены принципы, методы измерения электрических величин и структурные схемы измерительных приборов, принципиальные основы работы современных автоматизированных средств измерений, методы представления информации в аналоговых и цифровых каналах связи, основы теории погрешностей измерений, методы обработки результатов измерений.

Предназначено для обучающихся по специальности 10.05.05 — «Безопасность информационных технологий в правоохранительной сфере».

**УДК 006.91:53.08:621.317**  
**ББК 30.10**

**Рецензенты:**

**Алексеев В. В.**, доктор технических наук, профессор (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина));

**Думачев В. Н.**, кандидат физико-математических наук (Московский университет МВД России им. В. Я. Кикотя);

**Заломов С. Г.**, начальник ИЦ ГУ МВД России по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области

ISBN 978-5-91837-377-4

© Санкт-Петербургский университет  
МВД России, 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТРОЛОГИИ.....	9
§ 1.1. Обзор истории измерений.....	9
§ 1.2. Международная система единиц СИ.....	12
§ 1.3. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ).....	17
§ 1.4. Воспроизведение единиц величин и передача их размеров...	19
§ 1.5. Погрешности измерений и формы представления результатов измерений.....	23
§ 1.6. Нормирование погрешностей средств измерений.....	32
2. СРЕДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	35
§ 2.1. Методы измерений.....	35
§ 2.2. Средства измерений силы тока.....	45
§ 2.3. Средства измерений напряжения.....	53
§ 2.4. Средства измерений параметров линейных элементов электрических цепей.....	55
§ 2.5. Средства измерений частоты электромагнитных колебаний.....	57
§ 2.6. Цифровые средства измерений (ЦСИ).....	58
§ 2.7. Подготовка к процессу производства измерений.....	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	65
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	66

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГИБДД	Государственная инспекция безопасности дорожного движения
ГСИ	Государственная система обеспечения единства измерений
ЕСКД	Единая система конструкторской документации
МВИ	Методика выполнения измерений
МИ	Методическая инструкция
МХ	Метрологическая характеристика
ПР	Правила
ПМГ	Правила межгосударственные
РД	Руководящий документ
РМГ	Рекомендации межгосударственные
СИ	Международная система единиц
СКО	Среднее квадратическое отклонение
ЦСИ	Цифровое средство измерений

## ВВЕДЕНИЕ

*Наука начинается с тех пор, как начинают измерять.  
Точная наука немыслима без меры.*

Д. И. Менделеев

Достоверные данные об окружающем мире, на основе которых формируется информация, лежащая в основе наших представлений и суждений, являются одной из основ нашего существования.

Пример задачи семейного масштаба: ребенок бежит за мячом, выкатившимся на дорогу. И если он неправильно оценивает свою скорость, скорость приближающегося автомобиля и расстояние до него — быть беде.

Пример учрежденческого масштаба: если руководство компании недооценивает риски, связанные с кибератаками на ее цифровую инфраструктуру — компания рискует понести большие финансовые убытки, если вообще сможет оправиться от нанесенного ущерба.

Пример задачи государственного масштаба: несоответствие представлений руководства СССР о планах гитлеровской Германии в отношении нападения на Советский Союз привела к катастрофе начального периода Великой Отечественной войны.

Таким образом, информация, соответствующая окружающей действительности, жизненно важна, причем не только для отдельного человека, но и для общества в целом. Это утверждение в полной мере относится и к измерительной информации, что зафиксировано в п. «р» ст. 71 Конституции Российской Федерации, который устанавливает, что в ведении Российской Федерации находятся «стандарты, эталоны, метрическая система и исчисление времени».

Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» развивает положения п. «р» ст. 71 Конституции Российской Федерации. Он «регулирует отношения, возникающие при выполнении измерений, установлении и соблюдении требований к измерениям, единицам величин, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, применении стандартных образцов, средств измерений, методик (методов) измерений, а также при осуществлении деятельности по обеспечению единства измерений, предусмотренной законодательством Российской Федерации об обеспечении единства измерений, в том числе при выполнении работ и оказании услуг по обеспечению единства измерений» (ч. 2 ст. 1).

«Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений распространяется на измерения, к которым в целях, предусмотренных частью 1 настоящей статьи, установлены обязательные метрологические требования и которые выполняются при:

- 1) осуществлении деятельности в области здравоохранения;
- 2) осуществлении ветеринарной деятельности;
- 3) осуществлении деятельности в области охраны окружающей среды;
- 4) осуществлении деятельности в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, обеспечения пожарной безопасности, безопасности людей на водных объектах;
- 5) выполнении работ по обеспечению безопасных условий и охраны труда;
- 6) осуществлении производственного контроля за соблюдением установленных законодательством Российской Федерации требований промышленной безопасности к эксплуатации опасного производственного объекта;
- 7) осуществлении торговли, выполнении работ по расфасовке товаров;
- 8) выполнении государственных учетных операций и учете количества энергетических ресурсов;
- 9) оказании услуг почтовой связи, учете объема оказанных услуг электросвязи операторами связи и обеспечении целостности и устойчивости функционирования сети связи общего пользования;
- 10) осуществлении деятельности в области обороны и безопасности государства;
- 11) осуществлении геодезической и картографической деятельности;
- 12) осуществлении деятельности в области гидрометеорологии, мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды;
- 13) проведении банковских, налоговых, таможенных операций и таможенного контроля;
- 14) выполнении работ по оценке соответствия продукции и иных объектов обязательным требованиям в соответствии с законодательством Российской Федерации о техническом регулировании;
- 15) проведении официальных спортивных соревнований, обеспечении подготовки спортсменов высокого класса;
- 16) выполнении поручений суда, органов прокуратуры, государственных органов исполнительной власти;

17) осуществлении мероприятий государственного контроля (надзора);

18) осуществлении деятельности в области использования атомной энергии;

19) обеспечении безопасности дорожного движения» (ч. 3 ст. 1).

Измерения в этих сферах деятельности подлежат государственному регулированию. Во всех других случаях применение метрологических требований к средствам измерений не является обязательным.

Измерения в рамках деятельности, указанной в пунктах 10, 16, 17, 19 подпадает под сферу полномочий полиции п. 1 ст. 1; п. 19 ст. 12, п. 1.12 ст. 2; п. 1.7 ст. 2 и п. 19 ст. 12, соответственно, Федерального закона от 7 февраля 2011 г. № 3-ФЗ «О полиции». Деятельность, указанная в других пунктах, в некоторых случаях может подпадать под сферу полномочий полиции.

Например, согласно Федеральному закону «О полиции»:

— одним из основных направлений деятельности полиции является осуществление экспертно-криминалистической деятельности (п. 12 ст. 2; 16, 18);

— в обязанности полиции входит осуществление государственного контроля (надзора) за соблюдением правил, стандартов, технических норм и иных требований нормативных документов в области обеспечения безопасности дорожного движения (п. 19 ст. 12);

— полиция имеет право на составление протоколов об административных правонарушениях и сбор доказательств (п. 8 ст. 13);

— полиция имеет право на производство в случаях и порядке, предусмотренных уголовно-процессуальным законодательством Российской Федерации, следственных и иных процессуальных действий (п. 9 ст. 13).

Согласно п. 5 ст. 1 Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений относятся также единицы величин, эталоны единиц величин, стандартные образцы и средства измерений, к которым установлены обязательные требования.

Кроме того, особенности обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области обороны и безопасности государства и в области использования атомной энергии устанавливаются Правительством Российской Федерации<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> См. п. 7 ст. 1 Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» // СПС «КонсультантПлюс».

Таким образом, измерения являются актуальными в различных областях деятельности полиции в Российской Федерации, а результаты освоения дисциплины «Основы электро-, радиоизмерений» способствуют приобретению соответствующих профессиональных и профессионально-специализированных компетенций сотрудников органов внутренних дел, осуществляющих измерения в практической деятельности.

Целью дисциплины «Основы электро-, радиоизмерений» является формирование материалистического мировоззрения обучающихся; создание теоретической базы, необходимой для освоения обучающимися общих профессиональных дисциплин, а также целого ряда специальных дисциплин; формирование у обучающихся научного и инженерного мышления, выработка навыков решения практических инженерно-физических задач. В рамках обучения предполагается ознакомление курсантов с метрологическим обеспечением электрических измерений, методами измерения электромагнитных и нахождения параметров, а также ознакомление с основными видами и характеристиками распространенных средств измерений.

#### **Контрольные вопросы:**

- 1. Почему важны измерения?*
- 2. Какой документ относит измерения в ведение государства?*
- 3. Приведите нормативную правовую базу измерений.*
- 4. Какие области измерений отнесены к ведению государства?*
- 5. Относятся ли измерения к компетенции сотрудников органов внутренних дел?*
- 6. Какова цель дисциплины «Основы электро-, радиоизмерений»?*
- 7. Требуется ли обязательная поверка секундомеров, используемых на спортивных занятиях в Санкт-Петербургском университете МВД России?*

# 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТРОЛОГИИ

## § 1.1. Обзор истории измерений

Наши предки, выбирая для себя пещеру, соразмеряли габариты своего тела с размерами своего будущего убежища. На охоте необходимо было соразмерять расстояние до дичи с дальностью полета камня или копья. Эти необходимые для выживания навыки, конечно, не назывались измерениями в современном понимании, но являлись основой для их последующего возникновения.

С течением времени потребность в оценке окружающих человека физических величин не уменьшалась, а, наоборот, только увеличивалась. С появлением торговли и архитектуры необходимо было оценивать вес, длину, объем и другие характеристики товаров, строительных материалов и пропорций между ними.

Переход от индивидуальных оценок окружающей обстановки на охоте к оценкам, общим для некоторой общности людей, потребовал единого подхода ко всем производимым действиям. Формирование этого подхода, единого для всего населения Земли, продолжается и сегодня.

Изначально оказалось удобным оценивать окружающие физические величины с помощью того, что было всегда под рукой — пропорций своего тела. Возникнув в незапамятные времена, эти меры никуда не ушли и сегодня. До сих пор иногда используются такие единицы длины как:

- 1 дюйм = 25.4 мм — ширина большого пальца;
- 1 вершок = 4.445 см — длина двух крайних фаланг указательного пальца;
- 1 фут = 30.48 см — длина ступни;
- простая сажень (152 см) — расстояние между большими пальцами рук, вытянутых в стороны;
- косая сажень (248 см) — расстояние между подошвой левой ноги и концом среднего пальца вытянутой вверх правой руки;
- «вержение камня» — расстояние, которое пролетает брошенный камень;
- «перестрел» — расстояние, которое пролетает выпущенная из лука стрела;
- «бычачий рев» — расстояние, с которого можно услышать рев быка;
- «бука» — расстояние, на котором еще видно отдельно рога быка;

— стадий (192.27 м) — расстояние, которое проходит человек спокойным шагом за время от появления первого луча солнца, при восходе, до момента, когда диск солнца целиком окажется над горизонтом;

— день пути — расстояние, которое человек проходит за день пути: «Печенегия отстояла от хазар на пять дней пути, от алан на шесть дней, от Руси на один день, от мадьяр на четыре дня и от болгар дунайских на полдня пути».

Аналогичные примеры можно привести для мер массы, площади, объема, времени. Но, чем удобнее мера в использовании, тем ниже ее точность. Если во многих обыденных областях жизни применение указанных единиц измерений было практически приемлемым, то потребности торговли, науки и техники вызывали (и вызывают) необходимость повышения точности измерений и их стандартизации.

Первые известные свидетельства стандартизации относятся ко времени 8–9 тыс. лет назад — при археологических раскопках поселения Чатал-Хююк (Турция) были установлены одинаковые размеры кирпичей для строительства. В дальнейшем стандартизация была зафиксирована и в Древнем Вавилоне, и в Древнем Египте, но социальные и экономические потрясения перечеркивали эти достижения цивилизации. При этом потребность в осуществлении этих мер не исчезала, поэтому отдельные страны вновь и вновь возвращались к идее стандартизации. Например, длина фута была уточнена как длина ступни Карла Великого; длина дюйма была установлена равной длине трех ячменных зерен, вынутых из средней части колоса и приставленных друг к другу своими концами; в качестве меры длины на Руси была принята длина пояса князя Владимира Святославовича — 108 см. В Соборном уложении царя Алексея Михайловича 1649 г. сказано: «Мерам и весам быть равными; хлебные меры делать с железными обручами...». Также были утверждены верста межевая (2.16 км) и сажень (2.16 м), равная 3 аршинам или 12 четвертям, или 48 вершкам.

С развитием торговли и техники в начале Нового времени назрела необходимость разработки единой системы измерений в международном масштабе.

Юлианский календарь, названный так в честь Юлия Цезаря, использовался с 45 года до Рождества Христова. Но оказалось, что он на 11 мин. 14 с длиннее астрономического. К концу XVI века разница достигла 11 суток. В 1582 году католическим миром был принят григорианский календарь: день после 4 октября был объявлен 15, а не 5. При этом каждые 400 лет количество високосных лет было уменьшено

со 100 до 97: не високосными стали годы столетий (например, 1800, 1900), за исключением тех, которые делятся на 400 без остатка. Однако 2000-й год был високосным. Григорианский год всего на 26 с отличается от астрономического, и поправка в 1 сутки набегает не за 128 лет, как в «юлианском», а за 3323 года.

На Руси летоисчисление начиналось «от сотворения мира», происшедшего за 5508 лет до Рождества Христова. Новое летоисчисление «от Рождества Христова» было введено указом Петра I от 19 декабря 1699 г.<sup>1</sup>: 1 января 7208 г. считать 1 января 1700 г. Также указ Петра I от 10 декабря 1722 г. гласит: «В Адмиралтействе иметь весы правдивые... а также меры медные и аршины, с обеих концов заклеянные...». В 1736 г. в России создана «Комиссия об учреждении весов и мер».

Историю метрических систем единиц измерений принято излагать, начиная с 1790 г., когда Академия Наук Франции решила кардинально изменить национальную систему единиц и предложить ее в качестве международной. Новая система мер должна была быть основана на неизменной константе, взятой из природы, с тем, чтобы ее могли применять не только во Франции. Предполагалось, что система должна основываться на единственной эталонной мере — метре, равном одной десятиmillionной длины парижского меридиана. Мера массы — килограмм — определялась также через метр — массу 1 дм<sup>3</sup> воды.

Метр оказался юридически и практически удачной мерой: во-первых, он не задевал национальные традиции и амбиции ни одного государства, во-вторых, он был соразмерен с размерами тела человека. В 1837 г. Ф. Бесселем было установлено, что длина парижского меридиана равна не 10 000 000, а 10 000 856 м. Последующие измерения продолжали давать разные результаты. В конце концов, в 1872 г. международная комиссия приняла вынужденное, но единственно возможное решение: метр не связан с длиной меридиана, а просто равен архивному метру — мере из платины, изготовленной в 1799 г. Чтобы оценить кардинальность принятого решения, вспомним еще раз формулировку основных принципов, которым должна была соответствовать метрическая система. Она должна была быть «основанной на неизменном прототипе, взятом из природы, с тем, чтобы ее могли применять все нации». Кроме того, килограмм стал также равен массе архивного килограмма (гири, изготовленной также в 1799 г.) и потерял связь с метром, поскольку было показано, что масса 1 дм<sup>3</sup> воды также

---

<sup>1</sup> Полное собрание законодательства Российской империи. Т. 3. № 1735. С. 680–681.

оказывается различной. Решение 1872 г. означало отказ от константы, взятой из природы, и замену ее рукотворным изделием.

20 мая 1875 г. представителями семнадцати государств, включая Россию, был подписан «Дипломатический документ метрической конференции», согласно которому было образовано «Международное бюро мер и весов» — постоянное научное учреждение, с местопребыванием в Париже. На Бюро возлагалась координация международных научных усилий в области метрологии.

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

Благодаря исследованиям К. Ф. Гаусса, предложившего в 1832 г. свою систему мер: сантиметр — грамм — секунда (СГС), появилась третья основная единица — секунда. Система СГС использовалась до 1960 г., когда XI Генеральной конференцией по мерам и весам была принята международная система единиц СИ.

В настоящее время только три государства в мире не приняли метрическую систему СИ — это Либерия, Мьянма (Бирма) и США.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Когда возникли измерения?
2. К какому периоду относятся первые сведения о стандартизации?
3. Перечислите разновидности мер на начальном этапе измерений.
4. Приведите характеристики григорианского календаря.
5. С каким событием связывается рождение современной метрологии?
6. Дайте определение метрологии.
7. Почему отказались от привязки метра к земному меридиану?
8. Кто был разработчиком системы СГС?
9. Когда международным сообществом была принята система СИ?
10. Все ли государства мира приняли систему СИ?

### **§ 1.2. Международная система единиц СИ**

Международная система единиц СИ образована по методике построения подобных систем, примененной впервые в 1832 г. К. Ф. Гауссом. Основу системы составляют несколько единиц физических величин, из которых выводят единицы остальных величин. Комплекс основных единиц нельзя обосновать теоретически. Критериями выбора служат эффективность и целесообразность использования данной системы.

Основные преимущества СИ:

1. Стандартизация единиц величин.
2. Охват всех областей человеческой деятельности.
3. Практически удобные размеры.

Однако ничего идеального в жизни нет, поэтому система единиц СИ не лишена недостатков: например, нарушения десятичного принципа построения при измерении времени. Процесс совершенствования бесконечен, поэтому используемая сегодня международная система единиц СИ является этапом на пути к недостижимому идеалу.

Существующая система единиц величин в Российской Федерации закреплена в ГОСТе 8.417-2002 «Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин». Этот стандарт устанавливает единицы физических величин, применяемые в Российской Федерации: наименования, обозначения, определения и правила применения этих единиц. Указанные единицы, а также десятичные кратные и дольные этих единиц подлежат обязательному применению.

В ГОСТе 8.417-2002 указаны 7 основных единиц СИ<sup>1</sup> (см. табл. 1).

Кроме термодинамической температуры (обозначение  $T$ ) допускается применять также температуру Цельсия (обозначение  $t$ ), определяемую выражением  $t = T - T_0$ , где  $T_0 = 273.15$  К. Термодинамическую температуру выражают в Кельвинах, температуру Цельсия — в градусах Цельсия. По размеру градус Цельсия равен Кельвину. Градус Цельсия — это специальное обозначение, используемое в данном случае вместо наименования «Кельвин».

Далее в ГОСТе 8.417-2002 приведены производные единицы (например, площадь, объем, плоский угол, частота, сила и др.), а также внесистемные единицы, допустимые к применению наравне с единицами СИ (см. табл. 2).

Наименования и обозначения единиц времени (минута, час, сутки) не допускается применять с приставками. Допускается также применять другие единицы, получившие широкое распространение, например, неделя, месяц, год, век, тысячелетие.

Наименования и обозначения десятичных кратных и дольных единиц СИ образуют с помощью множителей и приставок (см. табл. 3).

---

<sup>1</sup> Определения основных единиц СИ указаны в соответствии с решениями 26-й Генеральной конференции мер и весов от 16.11.2018, которые на момент написания учебного пособия не внесены в ГОСТ 8.417-2002. Реформа вступила в силу во Всемирный день метрологии — 20.05.2019.

### Основные единицы СИ

<i>Величина</i>	<i>Наименование единицы</i>	<i>Обозначение единицы</i>	<i>Определение единицы<sup>1</sup></i>
Длина	метр	м	Расстояние, проходимое светом в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458$ с
Масса	килограмм	кг	Константа Планка, равная $6.62607015 \times 10^{-34}$ кг $\times$ м <sup>2</sup> $\times$ с <sup>-1</sup>
Время	секунда	с	Интервал времени, равный $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133, находящегося в покое при 0 К
Сила электрического тока	ампер	А	Элементарный заряд равный $1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$ А $\times$ с
Термодинамическая температура	кельвин	К	Константа Больцмана равная $1.380\,648\,52 \times 10^{-23}$ м <sup>2</sup> $\times$ кг $\times$ с <sup>-2</sup> $\times$ К <sup>-1</sup>
Количество вещества	моль	моль	Число Авогадро $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ частиц
Сила света	кандела	кд	Сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \times 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср

<sup>1</sup> Значения констант указаны без среднего квадратического отклонения.

Таблица 2

**Некоторые внесистемные единицы,  
допустимые к применению наравне с единицами СИ**

<i>Величина</i>	<i>Наименование единицы</i>	<i>Обозначение единицы</i>	<i>Соотношение с единицей СИ</i>
Масса	тонна	т	$10^3$ кг
Время	минута	мин	60 с
	час	ч	3600 с
	сутки	сут	86400 с
Плоский угол	градус	... <sup>o</sup>	( $\pi/180$ ) рад
	минута	...'	( $\pi/10800$ ) рад
	секунда	...''	( $\pi/648000$ ) рад
Объем	литр	л	$10^{-3}$ м <sup>3</sup>
Площадь	гектар	га	$10^4$ м <sup>2</sup>
Энергия	киловатт-час	кВт×ч	$3.6 \times 10^6$ Дж

Таблица 3

**Множители и приставки, используемые для образования  
наименований и обозначений десятичных кратных и дольных  
единиц СИ**

<i>Десятичный множитель</i>	<i>Приставка</i>	<i>Русское обозначение приставки</i>	<i>Десятичный множитель</i>	<i>Приставка</i>	<i>Русское обозначение приставки</i>
$10^{24}$	иотта	И	$10^{-1}$	деци	д
$10^{21}$	зетта	З	$10^{-2}$	санتي	с
$10^{18}$	экса	Э	$10^{-3}$	милли	м
$10^{15}$	пета	П	$10^{-6}$	микро	мк
$10^{12}$	тера	Т	$10^{-9}$	нано	н
$10^9$	гига	Г	$10^{-12}$	пико	п
$10^6$	мега	М	$10^{-15}$	фемто	ф
$10^3$	кило	к	$10^{-18}$	атто	а
$10^2$	гекто	г	$10^{-21}$	зепто	з
$10^1$	дека	да	$10^{-24}$	иотто	и

Присоединение к наименованию и обозначению единицы двух или более приставок подряд не допускается. В связи с тем, что наименование основной единицы — килограмм содержит приставку «кило», для образования кратных и дольных единиц массы используют дольную единицу массы — грамм (0.001 кг), и приставки присоединяют к слову «грамм», например, миллиграмм (мг). Приставку или ее обозначение следует писать слитно с наименованием единицы или, соответственно, с обозначением последней.

Кратные и дольные единицы выбирают таким образом, чтобы числовые значения величины находились в диапазоне от 0.1 до 1000. Для снижения вероятности ошибок при расчетах десятичные кратные и дольные единицы рекомендуется подставлять только в конечный результат, а в процессе вычислений все величины выражать в единицах СИ, заменяя приставки степенями числа 10.

Буквенные обозначения единиц печатают прямым шрифтом. В обозначениях единиц точку как знак сокращения не ставят. Обозначения единиц помещают за числовыми значениями величин без переноса на следующую строку. Числовое значение, представляющее собой дробь с косой чертой, стоящее перед обозначением единицы, заключают в скобки. Между последней цифрой числа и обозначением единицы оставляют пробел, например, правильно: 100 кВт, 80 %, 20 °С; неправильно: 100кВт, 80%, 20°С. Рекомендуется между числовым значением и обозначением единицы ставить неразрывный пробел <Ctrl+Shft+Пробел>. Тогда обозначение единицы не перейдет на другую строку при форматировании текста. Исключения составляют обозначения в виде знака, поднятого над строкой (°, ', " ), перед которыми пробел не оставляют. При наличии десятичной дроби в числовом значении величины обозначение единицы помещают за всеми цифрами, например, 423.06 м, 5°45.48', 5°45'28.8"). При указании значений величин с предельными отклонениями числовые значения с предельными отклонениями заключают в скобки и обозначения единиц помещают за скобками или проставляют обозначение единицы за числовым значением величины и за ее предельным отклонением, например, правильно: (100±0.1) кг, 50 г±1 г; неправильно: 100±0.1 кг, 50±1 г.

Выше приведены лишь некоторые часто используемые правила записи физических величин.

Запись единиц количества информации имеет свои особенности. Полная запись: 1 байт = 8 бит. Запись в обозначениях системы СИ: 1 Б = 8 бит. Единицы «бит» и «байт» применяют с приставками СИ.

На практике оказалось удобным использовать приближенное равенство:  $10^3 = 1000 \approx 1024 = 2^{10}$ ), отсюда 1 Кбайт = 1024 байт, 1 Мбайт = 1024 Кбайт, 1 Гбайт = 1024 Мбайт и т. д. При этом обозначение Кбайт начинают с прописной буквы в отличие от строчной буквы «к» для обозначения множителя  $10^3$  (например, 1 кг).

#### **Контрольные вопросы:**

1. *Какая методика положена в основу системы СИ?*
2. *Какими преимуществами обладает система СИ?*
3. *Перечислите основные единицы системы СИ.*
4. *На чем основаны определения основных единиц системы СИ?*
5. *Дайте определение производных единиц системы СИ.*
6. *Почему при счете времени нарушен десятичный принцип построения системы СИ?*
7. *Перечислите известные Вам кратные приставки системы СИ.*
8. *Перечислите известные Вам дольные приставки системы СИ.*
9. *По какому принципу выбираются кратные и дольные приставки?*
10. *Приведите сокращенную запись 1 килобайт.*

### **§ 1.3. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ)**

*Измерение* — совокупность операций, выполняемых для определения количественного значения величины (п. 8 ст. 2 Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»).

Цель выполнения измерений заключается в определении значения физической величины с требуемой точностью.

*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 (п. 7 ст. 2 Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»).

Понятие «единство измерений» охватывает унификацию единиц физических величин, разработку систем их воспроизведения и передачи их размеров рабочим средствам измерений с установленной точностью и ряд других вопросов. На достижение и поддержание на должном уровне единства измерений направлена деятельность государственных и ведомственных метрологических служб, проводимая в соответствии с установленными правилами, требованиями и нормами. На государственном уровне деятельность по обеспечению единства измерений регламентируется стандартами ГСИ и другими нормативными документами.

*ГСИ* — комплекс нормативных правовых документов, устанавливающий правила, нормы и требования, направленные на обеспечение единства измерений в Российской Федерации, а также метрологические службы, деятельность которых направлена на достижение и поддержание единства измерений в соответствии с законодательными и нормативными актами, правилами и нормами по обеспечению единства измерений. Закон устанавливает, что государственное управление деятельностью по обеспечению единства измерений в Российской Федерации осуществляется федеральным органом исполнительной власти — Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт).

Деятельность по обеспечению единства измерения направлена на охрану прав и законных интересов граждан, установленного правопорядка и экономики путем защиты от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений во всех сферах жизни общества на основе п. «р» ст. 71 Конституции Российской Федерации, Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений», постановлений Правительства Российской Федерации по отдельным направлениям метрологической деятельности и нормативных документов Госстандарта России: ГОСТ Р, ПР, МИ, РД.

*Рекомендации (Р)* — нормативный документ, содержащий рекомендуемые положения, в том числе, рекомендации межгосударственные (РМГ).

*Правила (ПР)* — нормативный документ, устанавливающий обязательные для применения положения, в том числе, правила межгосударственные (ПМГ).

*Методические инструкции (МИ) и руководящие документы (РД)* являются нормативными документами методического содержания.

Кроме того, сюда относятся решения Генеральной конференции по мерам и весам.

Обеспечение единства измерений в стране осуществляется на:

- государственном уровне;
- уровне федеральных органов исполнительной власти;
- уровне юридических лиц.

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

### **Контрольные вопросы:**

1. Дайте определение понятию «Измерение».
2. Дайте определение понятию «Единство измерений».
3. Что в себя включает ГСИ?
4. Перечислите законодательно-нормативные акты, лежащие в основе ГСИ.
5. На каких уровнях осуществляется ГСИ?
6. Какова цель создания ГСИ?

### **§ 1.4. Воспроизведение единиц величин и передача их размеров**

*Единица величины* — фиксированное значение величины, которое принято за единицу данной величины и применяется для количественного выражения однородных с ней величин (п. 6 ст. 2 Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»).

Для функционирования системы единства измерений необходимо обеспечение соответствия между эталоном величины и воспроизведением этого эталона каждым из средств измерений этой величины.

*Эталон единицы величины* — техническое средство, предназначенное для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины (п. 29 ст. 2 Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»). Классификацию, назначение и общие требования к созданию, хранению и применению эталонов устанавливает ГОСТ Р 8.885-2015 «ГСИ. Эталоны. Основные положения».

Конструкция эталона (вспомним эталоны метра и килограмма 1799 г.), его физические свойства и способ воспроизведения единицы определяются физической величиной, единица которой воспроизводится, и уровнем развития измерительной техники. Эталон должен обладать тремя взаимосвязанными свойствами: неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью.

*Неизменность* — свойство эталона удерживать неизменным размер воспроизводимой им единицы в течение длительного интервала времени. Реализация этого требования привела к идее создания эталонов, основанных на физических постоянных.

*Воспроизводимость результатов измерений* — близость результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами, разными средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, давлению, влажности и др.).

*Сличаемость* — возможность сличения с эталоном других средств измерений нижестоящих по поверочной схеме (см. ниже) с наивысшей точностью для существующей техники измерения. Это свойство предполагает, что эталоны по своему устройству и действию не вносят каких-либо искажений в результаты сличений и сами не претерпевают изменений в результате сличений.

Различают следующие виды эталонов:

— *международный* — эталон, принятый по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами;

— *государственный или национальный* — первичный или специальный эталон, официально утвержденный в качестве исходного для страны. Государственные эталоны подлежат периодическим сличениям с государственными эталонами других стран. Термин «*национальный эталон*» применяется в случаях проведения сличения эталонов, принадлежащих отдельным государствам, с международным эталоном или при проведении так называемых круговых сличений эталонов ряда стран. Эталонная база Российской Федерации имеет в своем составе 114 государственных эталонов и более 250 вторичных эталонов единиц физических величин;

— *вторичный* — хранит размер единицы, полученный путем сличения с первичным эталоном соответствующей физической величины. Доверительная вероятность при расчете вторичного эталона принимается равной 0.99;

— *рабочий* — применяется для передачи размера единицы рабочим средствам измерений.

Обеспечение передачи размера единиц физической величины во всех звеньях метрологической цепи осуществляется посредством поверочных схем.

*Поверочная схема* — нормативный документ, который устанавливает соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона к рабочим средствам измерений с указанием методов и погрешности, и утвержденный в установленном порядке.

*Средство измерений* — изделие, предназначенное для производства измерений и имеющее нормированные метрологические характеристики (МХ) (см. ниже).

В сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений к применению допускаются средства измерений утвержденного типа (п. 1 ст. 9 Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ

«Об обеспечении единства измерений»). Принятие решения об отнесении технических средств к средствам измерений осуществляется Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии в соответствии с административным регламентом. В случае положительного решения данные о средстве измерений размещаются в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений.

*Поверка средств измерений* — совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям (п. 17 ст. 2 Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»).

Поверка проводится метрологическими службами согласно правилам, изложенным в специальной нормативно-технической документации. Различают поверки: первичную, периодическую, внеочередную, инспекционную, комплектную, поэлементную и выборочную. В рамках МВД России создано ФКУ «Центр метрологического обеспечения», ответственное за состояние метрологического обеспечения министерства.

При выпуске средства измерений из производства, после ремонта, а также при ввозе средства измерений из-за границы, выполняется первичная поверка средств измерений.

В процессе эксплуатации МХ средств измерений претерпевают изменения, которые приводят к отказам, т. е. к невозможности средства измерений выполнять свои функции. Отказы делятся на неметрологические и метрологические.

*Неметрологическим* называется отказ, не связанный с изменением МХ средства измерений. Эти отказы проявляются внезапно и сразу могут быть обнаружены.

*Метрологическим* называется отказ, вызванный выходом МХ из установленных допустимых границ. Это обуславливает необходимость разработки специальных методов их прогнозирования и обнаружения. Метрологические отказы подразделяются на катастрофические и постепенные.

*Катастрофическим* называется отказ, характеризующийся скачкообразным изменением МХ. На него указывают явные несоответствия в ходе эксплуатации средства измерений. Интенсивность этих отказов постоянна во времени, что позволяет применить для их анализа теорию надежности. Поэтому далее эти отказы рассматриваться не будут.

*Постепенным* называется отказ, характеризующийся монотонным изменением МХ во времени, поскольку материалы средств измерений

подвержены старению. Постепенные отказы могут быть диагностированы только в результате специальных исследований.

Факт наступления метрологического отказа может выявить только поверка средства измерений, результаты которой позволят утверждать, что отказ произошел в период времени после предыдущей поверки.

*Периодическая поверка средств измерений* — поверка средств измерений, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняемая через установленные межповерочные интервалы времени. Периодичность поверки согласована с требованиями к надежности средства измерений. Величина межповерочного интервала должна быть оптимальной, поскольку частые поверки приводят к материальным и трудовым затратам на их организацию и проведение, а редкие — могут привести к метрологическому отказу в процессе эксплуатации. Межповерочные интервалы для периодической проверки устанавливаются нормативными документами по поверке и могут устанавливаться от нескольких месяцев до нескольких лет. Значения межповерочных интервалов рекомендуется выбирать из следующего ряда: 0.25; 0.5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 9; 12;  $6k$  месяцев, где  $k$  — целое положительное число. Основные требования к организации и порядку проведения поверки средств измерений приведены в Приказе Минпромторга России от 02.07.2015 № 1815 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».

Поверку средств измерений осуществляют аккредитованные на проведение поверки средств измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели (п. 2 ст. 13 Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»). Результаты поверки средств измерений удостоверяются знаком поверки, и (или) свидетельством о поверке, и (или) записью в паспорте (формуляре) средства измерений, заверяемой подписью поверителя и знаком поверки (п. 2 ст. 13 Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»).

Метрологическое обеспечение средств измерений заключается в обеспечении соответствия заявленных МХ установленным требованиям. Для этого необходимо:

- соблюдение межповерочных интервалов;
- обеспечение условий хранения, эксплуатации и транспортировки, согласно требованиям паспортных данных средств измерений;
- соблюдение техники безопасности при эксплуатации средств измерений.

### **Контрольные вопросы:**

1. Дайте определение средству измерений.
2. Что такое отказ?
3. Чем отличается метрологический отказ от неметрологического?
4. Сформулируйте определение метрологической исправности средства измерений.
5. Чем вызвано изменение во времени метрологических характеристик средств измерений?
6. Что называется межповерочным интервалом?
7. Какие способы выбора межповерочных интервалов существуют?
8. Дайте определение эталону единицы физической величины.
9. Какие типы эталонов вам известны?
10. Перечислите необходимые свойства эталонов физических величин.
11. Дайте определение поверочной схеме.
12. Что такое поверка средств измерений?
13. Кто имеет право на проведение поверки средств измерений?

### **§ 1.5. Погрешности измерений и формы представления результатов измерений**

При выполнении измерений необходимо оценить погрешность, с которой они были выполнены. Необходимость оценки погрешности вытекает из существа производимых действий и закреплена в законодательных и нормативных актах: Федеральном законе от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений», МИ 1317-2004 «ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров образцов продукции и контроле их параметров», РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения».

*Погрешность измерения* — отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Поскольку истинное значение величины неизвестно  $x_{и}$ , на практике используют действительное значение величины  $x_{д}$ . Синонимом термина погрешность измерения является термин ошибка измерения, применять который не рекомендуется как менее удачный.

*Истинное значение физической величины* — значение физической величины, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину.

*Действительное значение величины* — значение величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

Погрешность измерения равна сумме случайной и систематической погрешностей.

*Систематическая погрешность измерения* — составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины. Систематическая погрешность может быть вызвана неидеальностью характеристик средства измерений, ненулевым сопротивлением соединительных проводов, особенностями метода измерений и т. д.

*Погрешность метода измерений* — составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений.

*Случайная погрешность измерения* — составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях, проведенных при соблюдении тех же условий.

Систематическую погрешность измерений стараются исключить и рассматривают только случайную погрешность. В большинстве случаев практически оправданными оказались три вида представления погрешности измерений: абсолютная, относительная и приведенная.

*Абсолютная погрешность измерения* ( $\Delta x$ ) — погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины:

$$\Delta x = x_{\text{изм}} - x_{\text{д}}, \quad (1)$$

где  $x_{\text{изм}}$  — измеренное значение величины,  $x_{\text{д}}$  — действительное значение величины.

*Относительная погрешность измерения* ( $\delta_x$ ) — погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к действительному (или измеренному) значению измеряемой величины:

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{д}}} \quad \text{или} \quad \delta_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{д}}} \times 100\%, \quad (2)$$

где  $\Delta x$  — абсолютная погрешность измерений;  $x_{\text{д}}$  — действительное значение величины.

*Приведенная погрешность измерения* ( $\gamma_x$ ) — погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к нормирующему значению величины:

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x_N} \quad \text{или} \quad \gamma_x = \frac{\Delta x}{x_N} \times 100\%, \quad (3)$$

где  $\Delta x$  — абсолютная погрешность измерений;  $x_N$  — нормирующее значение величины, чаще всего равное максимальному значению диапазона измерений.

При однократных измерениях погрешности вычисляются по приведенным формулам.

При многократных измерениях  $i=1, 2, \dots, n$  в качестве приближения для истинного значения измеряемой величины  $x_{и}$  выступает выборочное среднее ( $\bar{x}$  или  $\overline{m_x}$ ).

*Выборка* — часть генеральной совокупности элементов, которая охватывается экспериментом.

*Выборочное среднее* ( $\bar{x} = \overline{m_x}$ ) — среднее арифметическое результатов в ряду измерений. Выборочное среднее является оценкой истинного значения (математического ожидания  $M[X]=m_x$ ) измеряемой величины, которое, обычно, неизвестно:

$$M[X] \approx \overline{m_x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3a)$$

где  $n$  — количество измерений в выборке,  $x_i$  — значение  $i$ -го измерения.

Величина  $\overline{m_x}$ , полученная в результате многократных измерений, является приближением к  $x_{и}$ . Для оценки ее возможных отклонений от  $x_{и}$  определяют выборочную дисперсию и выборочное среднее квадратическое отклонение (СКО) измеряемой величины. Выборочную дисперсию ( $\overline{D_x}$ ), являющуюся оценкой рассеяния, определяют по формуле:

$$\overline{D_x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (4)$$

где  $n$  — количество измерений в выборке,  $x_i$  — значение  $i$ -го измерения,  $\bar{x}$  — выборочное среднее.

*Среднее квадратическое отклонение<sup>1</sup> (СКО) результатов* ( $\sigma_x$ ) — характеристика рассеяния результатов измерений в выборке, оценка которого вычисляется по формуле:

$$\overline{\sigma_x} = \sqrt{\overline{D_x}}, \quad (5)$$

где  $\overline{D_x}$  — выборочная дисперсия.

*Среднее квадратическое отклонение выборочного среднего* ( $\overline{\sigma_{m_x}}$ ) — характеристика рассеяния выборочного среднего, оценка которого вычисляется по формуле:

$$\overline{\sigma_{m_x}} = \frac{\overline{\sigma_x}}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (6)$$

---

<sup>1</sup> Среднее квадратическое отклонение иногда называют стандартным отклонением.

где  $n$  — количество измерений в выборке,  $x_i$  — значение  $i$ -го измерения,  $\bar{x}$  — выборочное среднее.

Выборочное среднее всегда имеет меньшую погрешность, чем погрешность отдельно взятого измерения. Это отражает и формула (6). Из нее следует, что если необходимо уменьшить погрешность результата многократных измерений в 2 раза, то число измерений необходимо увеличить в 4 раза; если требуется уменьшить погрешность результата многократных измерений в 3 раза, то число измерений необходимо увеличить в 9 раз и т. д.

*Доверительные границы результата измерений* — наибольшее и наименьшее значения погрешности измерений, ограничивающие интервал, внутри которого с доверительной вероятностью находится истинное значение результата измерений.

Результат измерения величины — это измеренное значение величины вместе с любой другой существенной информацией об измерении. Чаще всего, результат измерения представляется измеренным значением величины с указанием погрешности измерения и доверительной вероятности. Результат многократных измерений величины  $x$  записывается как:

$$x = \bar{m}_x \pm \Delta_{m_x} = \bar{m}_x \pm k(n, P) \overline{\sigma_{m_x}}, \quad (7)$$

где  $x$  — измеряемая величина;  $\bar{m}_x$  — выборочное среднее измеряемой величины;  $\Delta_{m_x}$  — абсолютная погрешность выборочного среднего измеряемой величины;  $\overline{\sigma_{m_x}}$  — СКО выборочного среднего измеряемой величины;  $k(n, P)^1$  — коэффициент, зависящий от количества измерений  $n$  и доверительной вероятности  $P$ .

В случае, когда не указано количество измерений ( $n$ ) или имеется информация, что измерения распределены по нормальному закону, коэффициент  $k(P)$  находится по таблице стандартного нормального распределения вероятностей. Центральная предельная теорема теории вероятностей гласит, сумма большого числа случайных величин, не зависимо от их распределения, стремится к нормальному распределению вероятностей. Поэтому при количестве измерений  $n > 30$  коэффициент  $k(P)$  также находится по таблице стандартной плотности вероятности нормального распределения (п. 1.4 МИ 1317-2004 «ГСИ.

---

<sup>1</sup> Указанный коэффициент обозначен в тексте как  $k$  для упрощения изложения материала. В большинстве таблиц для нормального распределения вероятностей он обозначается  $z$ , а для распределения Стьюдента (см. ниже), как  $t$ .

Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров образцов продукции и контроле их параметров»).

Плотности вероятности нормального распределения (Гаусса) с математическим ожиданием  $m_x = 0$  и разными СКО ( $\sigma_x = 0.5$ ,  $\sigma_x = 1$ ,  $\sigma_x = 2$ ) изображены на рис. 1.

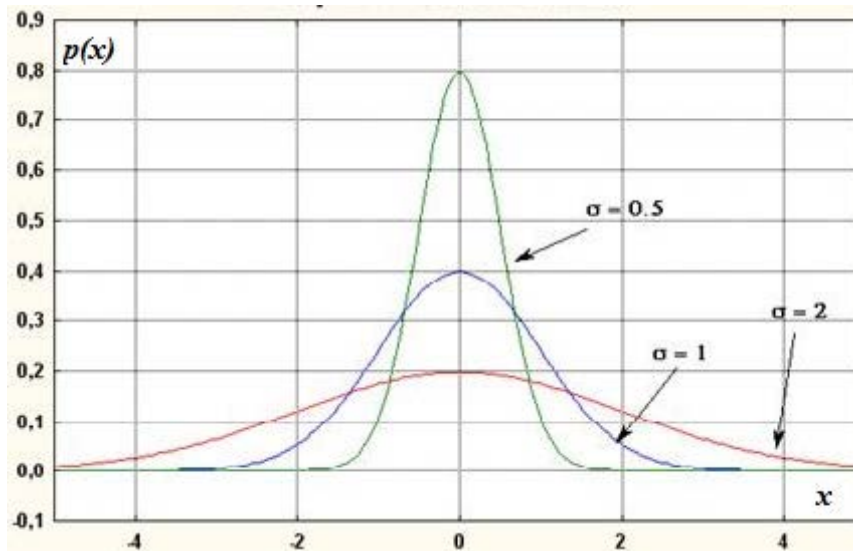


Рис. 1. Графики плотностей вероятности нормальных распределений с  $m_x = 0$  и разными СКО ( $\sigma_x = 0.5$ ,  $\sigma_x = 1$ ,  $\sigma_x = 2$ )

Плотность вероятности нормального распределения называется стандартной, если математическое ожидание равно 0, а СКО равно 1:  $m_x = 0 \wedge \sigma_x = 1$ . На практике это вполне приемлемо, поскольку все случайные величины с нормальным распределением вероятности легко приводятся к стандартному:

$$x_{\text{станд}} = \frac{x - m_x}{\sigma_x}, \text{ тогда } m_{x_{\text{станд}}} = 0 \wedge \sigma_{x_{\text{станд}}} = 1. \quad (8)$$

Рассмотрение только одной стандартной плотности нормального распределения вероятности, во-первых, не представляет практических затруднений, во-вторых, позволяет табулировать не бесконечное множество нормальных распределений вероятности, а только одно.

Рассмотрим свойства стандартной плотности нормального распределения вероятности (см. рис. 2).

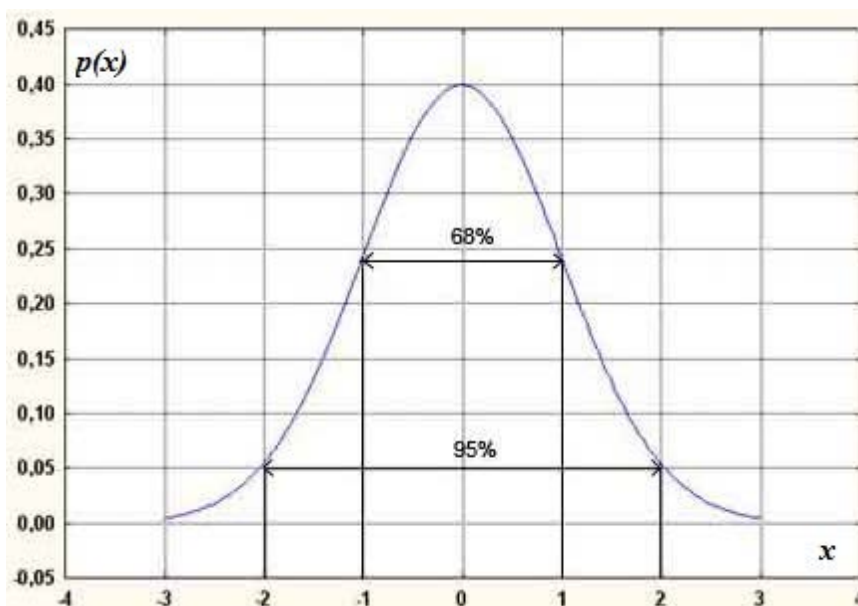


Рис. 2. График стандартной плотности нормального распределения вероятности

1. Плотность нормального распределения вероятности определена и имеет ненулевые значения в интервале  $]-\infty; +\infty[$ .
2. Максимум имеет координаты  $(0; 0.4)$ .
3. Кривая симметрична относительно прямой  $x = 0$ .
4. Площадь, ограниченная кривой в интервале  $]-\infty; +\infty[$  равна 1, т. е. вероятность того, что случайная величина  $x$  будет находиться в интервале  $]-\infty; +\infty[$  равна 1 ( $P = 1$ ).
5. Площадь, ограниченная кривой в интервале  $]-1; +1[$  равна  $\approx 0.68$  (рис. 2), т. е. вероятность того, что истинное значение случайной величины  $x$  ( $x_{и}$ ) будет находиться в интервале  $]m_x - \sigma_x; m_x + \sigma_x[$  равна 0.68 ( $P = 0.68$ ). Значение 0.68 находится по таблице стандартной плотности нормального распределения вероятности при  $k(0.68) \approx 1$ .
6. Площадь, ограниченная кривой в интервале  $]-2; +2[$  равна  $\approx 0.95$  (рис. 2), т. е. вероятность того, что истинное значение случайной величины  $x$  ( $x_{и}$ ) будет находиться в интервале  $]m_x - 2\sigma_x; m_x + 2\sigma_x[$  равна 0.95 ( $P = 0.95$ ). Значение 0.95 находится по таблице стандартной плотности нормального распределения вероятности при  $k(0.95) \approx 2$ .
7. Площадь, ограниченная кривой в интервале  $]-3; +3[$  равна  $\approx 0.997$ , т. е. вероятность того, что истинное значение случайной величины  $x$  ( $x_{и}$ ) будет находиться в интервале  $]m_x - 3\sigma_x; m_x + 3\sigma_x[$  равна 0.997 ( $P = 0.997$ ). Значение 0.997 находится по таблице стандартной плотности нормального распределения вероятности при  $k(0.997) \approx 3$ .

8. Стандартная плотность нормального распределения вероятности табулирована. Таблицы представлены в большинстве технических справочников и учебных пособий, а также в сети «Интернет».

Свойства нормального распределения вероятностей используются и при выявлении промахов в выборке.

*Промех* (грубая погрешность) — погрешность результата отдельного измерения, входящего в выборку, которая резко отличается от остальных результатов.

Источниками промахов могут быть как изменения условий измерения или неисправности средств измерений, так и ошибки, допущенные оператором, например, описка, ошибка ввода рукописных данных в компьютер. Промехи искажают результат измерения и приводят к принятию некорректных решений. Существует несколько методов выявления промахов в выборке, однако каждый из них характеризуется теми или иными недостатками.

Наиболее простым и, поэтому, наиболее практически применимым методом выявления промахов является правило «3σ». Суть его состоит в следующем. Для исследуемой выборки величины рассчитываются выборочное среднее ( $\bar{m}_x$ ) и СКО ( $\bar{\sigma}_x$ ). Тогда, согласно приемлемому в большинстве случаев нормальному распределению вероятности:

$$x \in ]\bar{m}_x - 3\bar{\sigma}_x; \bar{m}_x + 3\bar{\sigma}_x[, \quad P = 0.997. \quad (9)$$

Тогда

$$x \notin ]\bar{m}_x - 3\bar{\sigma}_x; \bar{m}_x + 3\bar{\sigma}_x[, \quad P = 0.003. \quad (10)$$

Поскольку выход значения величины  $x$  за пределы интервала  $\pm 3\sigma$  при отсутствии грубых погрешностей маловероятен ( $P = 0.3\%$ ), значение измеряемой величины, удовлетворяющее этому условию, объявляется промахом и не рассматривается. После этого, необходимо произвести перерасчет выборочного среднего ( $\bar{m}_x$ ) и СКО ( $\bar{\sigma}_x$ ) для исследуемой выборки. Процессом исключения промахов не следует увлекаться и применять исключение промахов к одной и той же выборке два и более раза подряд, потому что выход результата измерения за пределы интервала  $\pm 3\bar{\sigma}_x$  может оказаться свойством измеряемой величины  $x$ , а не результатом ошибки.

Выбор  $k(P)$  неочевидная задача, решение которой зависит от многих факторов. В частности, при  $k(0.68) = 1$  доверительный интервал сужается и, кажется, что повышается определенность оценки. При  $k(0.997) = 3$  доверительный интервал становится втрое шире, при этом вероятность

не ошибиться повышается до 0.997. В СССР было рекомендовано выбирать  $k(0.997) = 3$ , а в США —  $k(0.68) = 1$ . В настоящее время в Российской Федерации рекомендуемое значение доверительной вероятности  $P=0.95$ , т. е.  $k(0.95) = 2$ .

В случае, когда закон распределения вероятностей не известен, а количество измерений  $n < 30$ , для оценки доверительного интервала рекомендовано использовать закон распределения вероятности Стьюдента. Плотность распределения вероятности Стьюдента похожа на стандартную плотность нормального распределения вероятности:  $\overline{m}_x = 0$ , кривая также симметрична относительно оси  $\overline{m}_x = 0$ . Однако максимум находится ниже и скорость приближения кривой к нулю по мере удаления от центра также ниже (рис. 3).

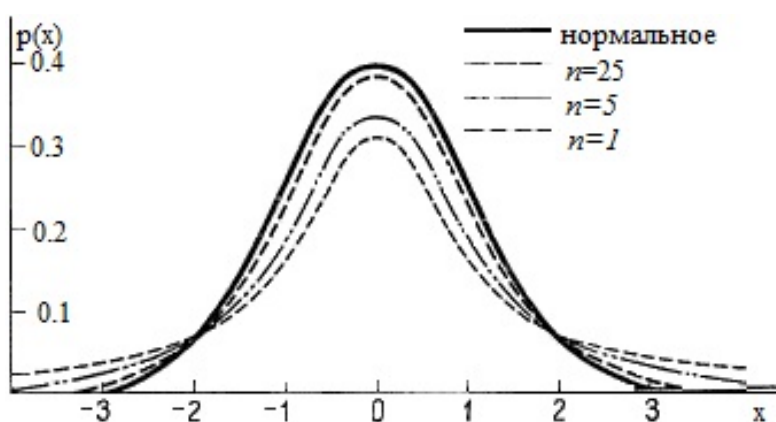


Рис. 3. Графики плотности нормального распределения вероятности и распределения Стьюдента для  $n = 25; 5$  и  $1$

Это свойство позволяет учитывать возможное отклонение истинного значения случайной величины ( $x_{и}$ ) от рассчитанного среднего ( $\overline{m}_x$ ), вызванное небольшим количеством измерений. Плотность распределения вероятности Стьюдента табулирована. Таблицы есть и в справочной литературе, и в сети «Интернет». Входными данными для нахождения коэффициента  $k$  в таблице являются доверительная вероятность и число степеней свободы:

$$\text{Число степеней свободы} = \text{Количество измерений} - 1.$$

Сравним коэффициенты Стьюдента ( $n = 30$ ) и нормального распределения вероятностей для  $P = 0.95$ :

$$k_{\text{Стюд}}(n=30, P=0.95) = 2.042; k_{\text{норм}}(P=0.95) = 1.960.$$

Отсюда видно, что  $k_{\text{норм}}(P=0.95) = 2$  является чуть-чуть завышенной оценкой (на 2 %) доверительного интервала, что позволяет, во-первых, не промахнуться при его оценке, а, во-вторых, не требует запоминания десятичных разрядов. Коэффициент Стьюдента по мере

увеличения количества измерений ( $n$ ) будет стремиться к коэффициенту нормального распределения вероятностей, однако практически оправданной оказалась возможность пренебречь разницей между ними уже при  $n = 30$ .

Запись результатов измерений регламентирована в МИ 1317-2004. При записи результатов измерений должны выполняться следующие правила:

— наименьшие разряды числовых значений результатов измерений принимают такими же, как и наименьшие разряды числовых значений среднего квадратического отклонения абсолютной погрешности измерений или числовых значений границ, в которых находится абсолютная погрешность измерений (или статистических оценок этих характеристик погрешности) (п. 1.3 МИ 1317-2004);

— характеристики погрешности и их статистические оценки выражают числом, содержащим не более двух значащих цифр (первая значащая цифра — первая ненулевая слева (прим. авт.)). При этом для статистических оценок характеристик третий разряд (не указываемый младший) округляют в большую сторону. Допускается характеристики погрешности и их статистические оценки выражать числом, содержащим одну значащую цифру. В этом случае для статистических оценок характеристик число получают округлением в большую сторону, если цифра последующего не указываемого младшего разряда равна или больше пяти, или в меньшую сторону, если эта цифра меньше пяти (п. 3.4 МИ 1317-2004);

— характеристики погрешности измерений и условия, для которых они действительны, указывают совместно с результатом измерений, к которому их относят, или совместно с группой результатов измерений, к которым их относят, или в свидетельстве об аттестации методики выполнения измерений (МВИ), по которой получены данные результаты измерений (п. 3.5 МИ 1317-2004);

— допускается представление результата измерений доверительным интервалом, покрывающим с указываемой доверительной вероятностью истинное значение измеряемой величины (п. 4.3 МИ 1317-2004).

### **Контрольные вопросы:**

- 1. Дайте определение погрешности измерений.*
- 2. Какие виды погрешностей измерений Вы знаете?*
- 3. Дайте определение абсолютной погрешности.*
- 4. Дайте определение относительной погрешности.*
- 5. Дайте определение приведенной погрешности.*
- 6. Напишите формулу для нахождения арифметического среднего.*

7. *Напишите формулу для нахождения СКО.*
8. *Какая доверительная вероятность принимается при отсутствии указаний?*
9. *В каком случае применяется критерий Стьюдента?*
10. *Каковы правила записи результата измерений?*

## **§ 1.6. Нормирование погрешностей средств измерений**

Для оценки пригодности средств измерений к измерениям в установленном для них диапазоне с установленной для них точностью вводят метрологические характеристики (МХ) средств измерений. МХ называются технические характеристики, оказывающие влияние на результаты и на погрешности измерений (ГОСТ 8.009-84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений»). Характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называются нормируемыми, а определяемые экспериментально — действительными. Согласно ГОСТу 8.009-84 устанавливают перечень МХ, способы их нормирования и формы представления.

*Основная нормируемая МХ средства измерений* — это основная абсолютная ( $\Delta$ ), относительная ( $\delta$ ) или приведенная ( $\gamma$ ) погрешность ((1), (2), (3), соответственно).

*Основная погрешность* — погрешность средства измерений при нормальных условиях измерений. Как правило, нормальными условиями измерений являются: температура  $293 \pm 5 \text{ K}$  ( $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ), относительная влажность воздуха  $65 \pm 15 \%$  при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , напряжение в сети питания  $220 \text{ В} \pm 10 \%$  с частотой  $50 \text{ Гц} \pm 1 \%$ , атмосферное давление  $97.4 \div 104 \text{ кПа}$ , отсутствие электрических и магнитных полей. В нормальных условиях измерений зависимостью результата измерений от конкретных значений каждого из факторов пренебрегают вследствие малости.

В рабочих условиях, когда условия измерений выходят за пределы нормальных, при необходимости нормируется дополнительная погрешность, вызываемая условиями измерений. В качестве предела дополнительной погрешности выступает максимальная погрешность, вызываемая изменением влияющей величины, при которой средство измерений может быть допущено к применению. При этом исходят из следующих положений:

— дополнительная погрешность имеет такой же вид, что и основная (абсолютная, относительная и приведенная);

— дополнительные погрешности, вызванные различными влияющими факторами, должны нормироваться отдельно.

Иногда дополнительную погрешность нормируют в виде значения, добавляемого к основной погрешности. Например, указание, что температурная погрешность вольтметра составляет  $\pm 1\%$  на  $10^\circ\text{C}$ , означает, что при изменении температуры окружающей среды на каждые  $10^\circ\text{C}$  к основной погрешности необходимо добавить  $1\%$ .

При этом поверку средств измерений выполняют только при нормальных условиях (т. е. дополнительные погрешности исключены).

Для высокоточных средств измерений нормирование погрешностей усложняется. Если же высокая точность не требуется, средству измерений присваивают класс точности по ГОСТ 8.401-80 «ГСИ. Единицы величин».

*Класс точности средства измерений* — это обобщенная МХ, определяющая свойства средства измерения, включающая инструментальную и случайную погрешности.

*Инструментальная погрешность измерения* — составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений.

Для пределов допускаемой относительной и приведенной погрешностей регламентируют установку класса точности ( $q$ ) по следующим правилам:

$$\delta_x = \frac{\Delta_x}{x} \times 100\% < A \times 10^n = q \quad \gamma_x = \frac{\Delta_x}{x_N} \times 100\% < A \times 10^n = q, \quad (11)$$

где  $A=1; 1.5; 2; 2.5; 4; 5; 6; n=1; 0; -1$ .

Округность, в которую заключен класс точности на шкале средства измерений ( $\textcircled{1,5}$ ), обозначает, что нормирована относительная погрешность. Если же класс точности написан над знаком « $\vee$ » ( $\text{\textasciitilde}^{1,5}$ ), то нормирована приведенная погрешность.

Абсолютная погрешность может выражаться константой:  $\Delta = \pm a$ , линейно зависеть от измеряемой величины:  $\Delta = \pm (a + bx)$ , быть задана в виде таблицы или графика. Классы точности средств измерений, выраженные через абсолютные погрешности, обозначают прописными буквами латинского алфавита или римскими цифрами.

Классы точности присваивают средствам измерений при их разработке по результатам государственных приемочных испытаний.

Необходимо помнить, что класс точности определяет предельную погрешность средства измерений, но не всего процесса измерений, поскольку существуют и другие составляющие погрешности, например, погрешности метода измерений.

**Контрольные вопросы:**

1. *Каковы основные задачи нормирования погрешностей измерений?*
2. *Что такое нормируемые метрологические характеристики средств измерений?*
3. *Что такое классы точности средств измерений?*
4. *Какие классы точности средств измерений допустимы?*
5. *Что такое основная погрешность средства измерений?*
6. *Что такое дополнительные погрешности?*
7. *Каковы способы нормирования дополнительных погрешностей?*
8. *Каковы правила выражения основных погрешностей?*
9. *Как присваивается класс точности средства измерений?*
10. *Возможно ли по классу точности определить погрешность всего процесса измерений?*

## 2. СРЕДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

### § 2.1. Методы измерений

По соотношению между измеряемой и искомой величиной измерения разделяют на прямые и косвенные. Чаще всего используются прямые измерения.

*Прямыми* называют измерения, при которых искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений (п. 19 ст. 2 Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»). Например, массу измеряют непосредственно на весах, время — секундомером, длину — линейкой.

Пример расчета погрешности прямых измерений.

**Задача 1.** С помощью вольтметра класса точности  $\nabla_{1,5}$  и верхним пределом измерений 300 В при измерении напряжения было получено значение измеряемой величины 215 В. Записать результат измерений.

**Решение.** «Галочка» в обозначении класса точности средства измерений обозначает, что нормирована приведенная погрешность. Максимальное значение диапазона измерений  $x_N = 300$  В. Тогда, согласно определению:

$$\gamma_U = \frac{\Delta U}{U_N} \times 100\% \Rightarrow 1.5\% = \frac{\Delta U}{300 \text{ В}} \times 100\% \Rightarrow \Delta U = 4.5 \text{ В}. \quad (12)$$

Тогда результат измерений:  $U = (215 \pm 4.5)$  В.

Однако подобная запись не соответствует правилам записи результата измерений, приведенным в МИ 1317-2004, поскольку наименьшие разряды у измеренной величины (единицы) и погрешности (десятые) разные. Из условия задачи измеренное значение известно до единиц, поэтому дописывать к нему десятые некорректно. А вот запись погрешности может быть сокращена до одной значащей цифры, причем округление производится в большую сторону:  $4.5 \approx 5$ . Поэтому окончательно результат измерений напряжения должен быть записан как:

$$U = (215 \pm 5) \text{ В}.$$

**Задача 2.** Необходимо измерить ток  $I = 4$  А. Имеются два амперметра: один класса точности  $\gamma = 0.5\%$  имеет верхний предел измерения 20 А, другой — класса точности  $\gamma = 1.5\%$  имеет верхний предел измерения 5 А. Сравните пределы абсолютной и относительной погрешности приборов.

**Решение.** Абсолютные погрешности при измерении тока 4 А:

$$\Delta I_{0.5} = \frac{\gamma_n}{100\%} = \frac{0.5\% \times 20 \text{ А}}{100\%} = 0.1 \text{ А}$$

$$\Delta I_{1.5} = \frac{\gamma_n}{100\%} = \frac{0.5\% \times 5 \text{ А}}{100\%} = 0.075 \text{ А}.$$

Относительные погрешности при измерении тока 4 А:

$$\delta_{0.5} = \frac{\Delta I_{0.5}}{I} \times 100\% = \frac{0.1}{4} \times 100\% = 2.5\%$$

$$\delta_{1.5} = \frac{\Delta I_{1.5}}{I} \times 100\% = \frac{0.075}{4} \times 100\% \approx 1.9\%.$$

Не смотря на то, что приведенная погрешность амперметра с пределом измерения 20 А втрое ниже, чем у амперметра с пределом измерения 4 А, и абсолютная, и относительная погрешности измерения тока 4 А первым прибором оказываются выше, чем при измерении той же величины вторым прибором. Это указывает на то, что в целях уменьшения погрешности измерений необходимо выбирать средство измерений с минимально допустимым пределом измерения. Например, при измерении неизвестного сопротивления многопредельным мультиметром необходимо сначала установить максимально возможный верхний предел для данного средства измерений, постепенно уменьшая этот предел до минимально возможного. То же относится и к измерениям известных величин. Например, для проверки заряда элемента питания (батарейки) с номиналом 1.5 В многопредельным мультиметром для уменьшения погрешности предел измерения нужно устанавливать минимально возможным — 2 В.

*Косвенными* называют измерения, когда искомое значение величины находят на основании результатов прямых измерений величин, функционально связанных с искомой. Например, электрическую мощность находят путем умножения напряжения на силу тока:  $P = I \times U$ . Общее уравнение косвенного измерения

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (13)$$

где  $y$  — искомое значение величины;  $x_i$  —  $i$ -й результат прямого измерения.

**Задача 3.** Найти абсолютную и относительную погрешности определения объема шара, если его диаметр — 5.00 см — был измерен с погрешностью 0.5 мм. Записать результат измерения объема и найти относительную погрешность косвенного измерения объема.

**Решение.** Решим задачу алгебраическим способом. Запишем результат прямого измерения диаметра шара:

$$d = d_{\text{изм}} \pm \Delta d = (50.0 \pm 0.5) \text{ мм.}$$

Объем шара вычисляется по известной формуле:

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi \frac{d^3}{8} = \frac{\pi}{6} d^3.$$

Подставим в эту формулу результат прямого измерения диаметра шара:

$$\begin{aligned} V &= \frac{\pi}{6} d^3 = \frac{\pi}{6} (d_{\text{изм}} \pm \Delta d)^3 = \frac{\pi}{6} (d_{\text{изм}}^3 \pm 3d_{\text{изм}}^2(\Delta d) + 3d_{\text{изм}}(\Delta d)^2 \pm (\Delta d)^3) = \\ &= \frac{\pi}{6} (125\,000 \pm 7\,500 \times 0.5 \pm 150 \times 0.25 \pm 0.125). \end{aligned}$$

Составляющие погрешности, вклад которых в общую погрешность менее 10 % допускается не учитывать. Поскольку третье слагаемое меньше второго в 100 раз, а четвертое — еще в 300 раз меньше, то третье и четвертое слагаемое можно опустить. Тогда

$$V \approx \frac{\pi}{6} (125\,000 \pm 7\,500 \times 0.5) \approx (65\,449.8 \pm 1963) \text{ мм}^3.$$

Поскольку согласно МИ 1317-2004 погрешность должна быть записана числом, содержащим не более двух значащих цифр, при этом наименьшие разряд числового значения результата измерений принимают таким же, как и наименьший разряд числового значения абсолютной погрешности. Тогда

$$V = (65\,400 \pm 2000) \text{ мм}^3 = (65.4 \pm 2.0) \text{ см}^3.$$

Заметим, что ноль (в числе 2.0) в данном случае является значащим.

Найдем относительную погрешность косвенного измерения объема:

$$\delta V = \frac{\Delta V}{V_{\text{изм}}} \times 100\% \approx \frac{1963}{65449.8} \times 100\% \approx 3.0\%.$$

При решении Задачи 3 представилось возможным решить ее алгебраическим путем, поскольку зависимость косвенно измеряемой величины от величины, подвергнутой прямому измерению, является относительно простой. На практике это далеко не всегда возможно. Поэтому методической инструкцией<sup>1</sup> рекомендуется применять следующий подход. Значение косвенно измеренной физической величины  $y$  находят на основании прямых измерений величин  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , связанных с искомой величиной уравнением  $y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . При этом в большинстве практических случаев оправдано принять, что:

---

<sup>1</sup> МИ 2083-90 «ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей».

$$\overline{D}_y = \sum_{i=1}^n \left( \frac{dy}{dx_i} \right)^2 \overline{D}_{x_i},$$

где  $\overline{D}_y$  — оценка дисперсии косвенно измеренной физической величины;  $n$  — количество величин, подвергнутых прямым измерениям,  $\frac{dy}{dx_i}$  — производная  $y$  по  $x_i$ ,  $\overline{D}_{x_i}$  — оценка дисперсии  $i$ -го прямого измерения.

Для иллюстрации этого подхода и в целях удобства сравнения результатов в Задаче 4 сохранены условия Задачи 3.

**Задача 4.** [Условия те же, что и в Задаче 3] Найти абсолютную и относительную погрешности определения объема шара, если его диаметр — 5.00 см — был измерен с погрешностью 0.5 мм.

**Решение.** Запишем результат прямого измерения диаметра шара:

$$d = d_{\text{изм}} \pm \Delta d = (50.0 \pm 0.5) \text{ мм.}$$

Тогда  $\overline{m}_d = 50 \text{ мм}$ , а  $\Delta_d = 0.5 \text{ мм}$ .

Поскольку ни о числе измерений, ни о виде распределения вероятности, ни о величине доверительной вероятности в условии задачи ничего не сказано, согласно МИ 1317-2004 принимаем, что погрешности распределены по нормальному закону, а величина доверительной вероятности равна 0.95. Отсюда находим, что  $k(0.95) = 2$ . И далее находим оценку СКО диаметра:

$$\overline{\sigma}_d = \frac{\Delta_d}{k(0.95)} = \frac{0.5}{2} = 0.25 \text{ (мм)}.$$

Значение косвенно измеренной физической величины — объема шара находим по уравнению, связывающему объем шара с его диаметром:

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi \frac{d^3}{8} = \frac{\pi}{6} d^3.$$

Подставив в эту формулу результат прямого измерения диаметра шара, получим:

$$\overline{m}_V = \frac{\pi}{6} \overline{m}_d^3 = \frac{\pi}{6} 50^3 \approx 65449.8 \text{ (мм}^3\text{)}.$$

Далее найдем оценку дисперсии косвенного измерения ( $\overline{D}_V$ ). Поскольку прямым измерениям подвергалась только одна величина — диаметр, то  $n = 1$ . Тогда сумма будет состоять только из одного слагаемого. Дисперсию диаметра представим как квадрат его среднего квадратического отклонения:

$$\begin{aligned} \overline{D_V} &= \left( \frac{dV}{dd} \right)^2 \overline{\sigma_d}^2 = \left( \frac{d \left( \frac{\pi}{6} d^3 \right)}{dd} \right)^2 \overline{\sigma_d}^2 = \left( \frac{\frac{\pi}{6} d(d^3)}{dd} \right)^2 \overline{\sigma_d}^2 = \left( \frac{\pi}{6} \times 3d^2 \right)^2 \overline{\sigma_d}^2 = \left( \frac{\pi d^2}{2} \overline{\sigma_d} \right)^2 \approx \\ &\approx \left( \frac{3.1416 \times 50^2}{2} \times 0.25 \right)^2 \approx (981.7477)^2 \text{ (мм}^2\text{)}. \end{aligned}$$

Поскольку искомой является оценка СКО объема, итоговое число не возводилось в квадрат умышленно:

$$\overline{\sigma_V} = \sqrt{\overline{D_V}} = 981.7477 \text{ (мм)}.$$

Запишем результат наблюдения:

$$\begin{aligned} V &= \overline{m_V} \pm \Delta V = \overline{m_V} \pm k \overline{\sigma_V} = 65449.8 \pm 2 \times 981.7477 = 65449.8 \pm 1963.4954 = \\ &= (65400 \pm 2000) \text{ мм}^3 = (65.4 \pm 2.0) \text{ см}^3. \end{aligned}$$

Из Задач 3 и 4 видно, что, несмотря на различные методы расчета погрешности косвенных измерений, результаты получились идентичными.

Рассмотри еще одну задачу на расчет результата многократных косвенных измерений.

**Задача 5.** Проанализируем задачу косвенного измерения удельной энергии пули, решаемую в рамках вопроса об отнесении самодельных стреляющих устройств к категории огнестрельного оружия, а также отнесения самодельных патронов к категории боеприпасов. Результат измерения массы и диаметра снаряда были получены с помощью прямых однократных измерений:  $m = (6.1 \pm 0.1) \text{ г}$ ;  $d = (9.2 \pm 0.1) \text{ мм}$ . Для измерения скорости снаряда были проведены многократные ( $n = 3$ ) измерения и получены следующие результаты:  $V_1 = 110 \text{ м/с}$ ;  $V_2 = 120 \text{ м/с}$ ;  $V_3 = 130 \text{ м/с}$ . Требуется записать результат косвенного измерения удельной энергии снаряда.

**Решение.** Для нахождения результата косвенного измерения необходимо знать средние значения и СКО результатов прямых измерений. Поскольку доверительная вероятность и вид распределения вероятностей в условии не указаны, принимаем  $P = 0.95$  и нормальное распределение вероятностей.

$$\text{Для массы: } \overline{m_m} = 6.1 \text{ г}; \Delta m = 0.1 \text{ г} \Rightarrow \overline{\sigma_m} = \frac{\Delta m}{k(0.95)} = \frac{0.1}{2} = 0.05 \text{ г}.$$

Заметим, что запись среднего значения и СКО при расчете результата косвенного измерения не приводится к правилам МИ 1317-2004. Более того, в промежуточных расчетах желательно сохранять побольше

десятичных разрядов во избежание накопления погрешностей округления. Особенно это касается громоздких расчетов.

$$\text{Для диаметра: } \overline{m}_d = 9.2 \text{ мм}; \Delta d = 0.1 \text{ мм} \Rightarrow \overline{\sigma}_d = \frac{\Delta d}{k(0.95)} = \frac{0.1}{2} = 0.05 \text{ мм}.$$

Для нахождения результата измерения скорости снаряда производим обработку многократных наблюдений. Находим среднее выборочное значение скорости:

$$\overline{m}_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i = \frac{1}{3}(110 + 120 + 130) = 120 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

дисперсию и СКО скорости:

$$\overline{D}_v = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - \overline{V})^2 = \frac{1}{2}(10^2 + 0 + 10^2) = 100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \quad \overline{\sigma}_v = \sqrt{\overline{D}_v} = \sqrt{100} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Удельная энергия снаряда рассчитывается как:

$$E = \frac{mV^2}{2} \Rightarrow E_{y0} = \frac{E}{S} = \frac{mV^2}{2S} = \frac{mV^2}{2(\pi r^2)} = \frac{mV^2}{2\left[\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2\right]} = \frac{2mV^2}{\pi d^2}.$$

При косвенных измерениях расчет оценки значения измеряемой величины производится по основной формуле с подстановкой оценок математических ожиданий значений результатов прямых наблюдений.

$$\overline{E}_{y0} = \frac{2\overline{m}_m \overline{m}_v^2}{\pi \overline{m}_d^2} = \frac{2 \times 6.1 \times 120^2}{\pi \times (9.2)^2} \frac{\text{г} \times \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{\text{мм}^2} = 660.69 \times 10^{-3} \frac{\text{кг} \times \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{\text{мм}^2} = 0.661 \frac{\text{Дж}}{\text{мм}^2}.$$

Оценка дисперсии погрешности косвенного измерения энергии рассчитывается как:

$$\begin{aligned} \overline{D}_E &= \sum_{i=1}^n \left( \frac{dE}{dx_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2 = \left( \frac{dE}{dm} \overline{\sigma}_m \right)^2 + \left( \frac{dE}{dV} \overline{\sigma}_v \right)^2 + \left( \frac{dE}{dd} \overline{\sigma}_d \right)^2 = \\ &= \left( \frac{2m_v^2}{\pi m_d^2} \overline{\sigma}_m \right)^2 + \left( \frac{4m_m m_v}{\pi m_d^2} \overline{\sigma}_v \right)^2 + \left( \frac{-4m_m m_v^2}{\pi m_d^3} \overline{\sigma}_d \right)^2 = \\ &= \left( \frac{2m_v}{\pi m_d^2} \right)^2 \left[ (m_v \overline{\sigma}_m)^2 + (2m_m \overline{\sigma}_v)^2 + \left( \frac{2m_m m_v}{m_d} \overline{\sigma}_d \right)^2 \right] = \\ &= \left( \frac{2 \times 120}{3.14 \times (9.2)^2} \right)^2 \left[ (120 \times 0.05 \times 10^{-3})^2 + (2 \times 6.1 \times 10^{-3} \times 10)^2 + \left( \frac{2 \times 6.1 \times 10^{-3} \times 120}{9.2} \times 0.05 \right)^2 \right] = \\ &= \left( \frac{240 \times 10^{-3}}{3.14 \times (9.2)^2} \right)^2 \left[ (6)^2 + (122)^2 + \left( \frac{6.1 \times 12}{9.2} \right)^2 \right] \approx 0.81465 \times 10^{-6} \times [36 + 14884 + 126.612] \approx \\ &\approx 0.012258 \text{ (Дж/мм}^2\text{)}^2. \end{aligned}$$

Тогда оценка СКО удельной энергии:

$$\overline{\sigma}_E = \sqrt{\overline{D}_E} = \sqrt{0.012258} \approx 0.11 \frac{\text{Дж}}{\text{мм}^2}.$$

Оценка СКО среднего значения удельной энергии при трех измерениях:

$$\overline{\sigma_{m_E}} = \frac{\overline{\sigma_E}}{\sqrt{n}} = \frac{0.11}{\sqrt{3}} = \frac{0.11}{1.732} = 0.06392 \frac{\text{Дж}}{\text{мм}^2}.$$

Коэффициент Стьюдента при  $n = 3$  и  $P = 0.95$ :  $k(3; 0.95) = 4.303$ .

Тогда результат измерения:

$$E_{y,d} \approx 0.661 \pm 4.303 \times 0.06392 \approx 0.661 \pm 0.275 \approx (0.66 \pm 0.28) \text{ Дж/мм}^2, P = 0.95.$$

Пусть удельная кинетическая энергия снаряда большая  $0.5 \text{ Дж/мм}^2$  достаточна для нанесения тяжких телесных повреждений. Тогда можно показать, что с вероятностью  $0.28$  исследуемое самодельное стреляющее устройство не относится к категории огнестрельного оружия, а с вероятностью  $0.72$  — относится.

Полученные результаты указывают на то, что прийти к категорическому выводу по результатам проведенных исследований не представлялось возможным. Такие результаты случаются на практике. Однако представляется, что в некоторых случаях полученную погрешность возможно попытаться уменьшить. Первое, что обращает на себя внимание, это чрезмерно большой разброс значений при измерении скорости снаряда. СКО составляет более  $8 \%$  от самой величины притом, что, обычно, инструментальная погрешность измерения скорости снаряда не превышает  $1.5 \%$ . При этом из расчета дисперсии косвенного измерения скорости одно из трех слагаемых (в квадратных скобках) на два порядка превышает остальные два. То есть определяющий вклад в общую погрешность косвенного измерения вносит погрешность прямого измерения скорости. Возможны два объяснения полученным результатам. Во-первых, патроны могут быть нестандартными. Тогда ничего другого не остается как отталкиваться от полученных результатов, поскольку чрезмерная погрешность может быть объяснена различиями при снаряжении боеприпасов. Во-вторых, если патроны стандартные, то часть общей погрешности может быть отнесена на счет методической погрешности (см. ниже). В этом случае возможно попытаться исключить составляющую погрешности, вызванную смещением оси выстрела от нормали.

*Совместными* называют измерения, когда для нахождения функциональной зависимости используются одновременные прямые измерения нескольких разноименных величин. Например, на основании совместных измерений напряжения и силы тока был открыт закон Ома.

Каковы бы ни были дальнейшие действия, в их основе лежат прямые измерения. Поэтому целесообразно рассмотреть методы прямых измерений.

*Метод измерений* — прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с принципом измерений.

*Принцип измерений* — это явление материального мира, положенное в основу измерения, например, эффект Доплера при измерении скорости.

В соответствии с РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения» различают следующие методы прямых измерений.

1. Метод непосредственной оценки, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству средства измерений, например, массы — на весах.

2. Метод сравнения с мерой. Например, измерение массы с очередным помещением взвешиваемого объекта и разновесов на одну и ту же чашку весов.

3. Метод дополнения, в котором измеряемая величина дополняется до тех пор, пока суммарное значение не достигнет заранее заданного значения.

4. Дифференциальный метод характеризуется измерением разности между измеряемой величиной и известной величиной, воспроизводимой мерой. Метод позволяет получить результат высокой точности при использовании относительно грубых средств измерения, за счет того, что диапазон измерений невелик.

*Диапазон измерений* — область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые пределы погрешности средств измерений.

*Предел измерения* — наибольшее или наименьшее значение диапазона измерения.

5. Нулевой метод, в котором разность между измеряемой величиной и мерой сводят к нулю. Например, в электротехнике нулевой метод реализован в измерительных мостах (рис. 4). Когда мост уравновешен, ток через гальванометр ( $G$ ) равен нулю, тогда выполняется условие  $R_x = R_1 \times R_2 / R_3$ . Гальванометры (нуль-индикаторы) применяются для визуализации наличия в цепи постоянного тока. Пределы измерения гальванометров до  $10^{-12}$  А. Гальванометр может быть заменен милливольтметром: если разность потенциалов равна нулю, то ток

равен нулю. Кроме измерения сопротивления подобные мосты используются для измерения индуктивности и емкости.

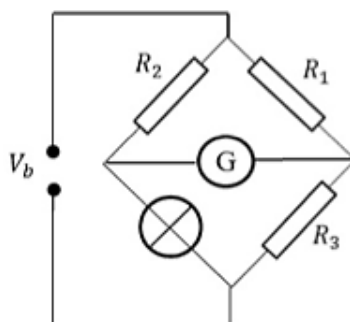


Рис. 4. Нулевой метод измерения. Схема электрического моста

6. Метод сравнения с мерой, в которой измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Например, измерение массы на весах с помощью разновесов.

Кроме того, существуют нестандартизованные методы, например, метод противопоставления, в котором измеряемая величина и мера одновременно воздействуют на средство измерений. Некоторые другие методы измерений будут рассмотрены ниже.

Среди семи основных физических величин есть только одна электрическая — сила тока. Однако оказалось удобным практически все измерения сводить к электрическим. Электрическими называют измерения, при которых в измерительном тракте присутствуют электрические сигналы. Распространению электрических измерений способствовали простота, точность, универсальность, удобство преобразования, передачи и хранения данных, а также стоимость элементной базы.

Чтобы преобразовать физическую величину, которую необходимо измерить, в электрическую, чаще всего, в напряжение, необходимо устройство, которое реализует эту операцию, — измерительный преобразователь. Измерительный преобразователь, расположенный на входе измерительного тракта называется первичным (датчиком). Различают также масштабирующие (усиливающие) и аналого-цифровые измерительные преобразователи. Например, при разговоре по сотовому телефону аналоговое изменение давления, чем является устная речь, попадая на мембрану микрофона (первичный преобразователь) преобразуется в аналоговое электрическое напряжение. Далее аналоговое электрическое напряжение, после аналого-цифрового преобразователя превращается в двоичный код, который передается по цифровому тракту связи. Аналогичные процессы реализованы и в средствах измерений, с той лишь разницей, что они имеют нормированные метрологические характеристики.

При реализации измерительного преобразования необходимо обеспечить, чтобы входная величина была функционально связана с выходной. При этом желательно, чтобы зависимость между ними была прямая, то есть, чтобы они были пропорциональны друг другу.

В большинстве случаев задача дальнейшего измерительного преобразования состоит в физической реализации функциональной зависимости  $\alpha = f(x)$ , где  $\alpha$  — угол отклонения стрелки аналогового средства измерений или десятичный код цифрового средства измерений,  $x$  — измеряемая величина. Предпочтительнее, чтобы реализуемая зависимость была прямой:  $\alpha = kx$ . В этом случае упрощается нормирование погрешности измерений и обеспечивается равномерность шкалы средства измерений.

Средства измерений характеризуются следующими основными параметрами:

- вид измеряемой величины (например, масса, длина, напряжение);
- предел основной погрешности — максимальная основная погрешность средства измерений, при которой допускается его применение;

- чувствительность — отношение изменения сигнала  $\Delta y$  на выходе средства измерений к вызвавшему его изменению  $\Delta x$  сигнала на входе:

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}.$$

- порог чувствительности — наименьшее значение измеряемой величины, вызывающее заметное изменение показаний средства измерений;

- диапазон измеряемых величин;
- время, затрачиваемое на одно измерение;
- входное сопротивление — электрическое сопротивление средства измерений;
- частотный диапазон — диапазон частот, в котором допускается применение средства измерений;
- и другими.

### **Контрольные вопросы:**

1. *Какие средства измерений называются электрическими?*
2. *Дайте определение прямым измерениям.*
3. *Дайте определение косвенным измерениям.*
4. *Дайте определение совокупным измерениям.*
5. *Для чего проводятся совокупные измерения?*

6. Какие методы прямых измерений Вы знаете?
7. Дайте определение диапазону измерений.
8. Нарисуйте схему измерений с помощью моста.
9. Какими параметрами характеризуются средства измерений?
10. Что такое чувствительность средства измерений?

## § 2.2. Средства измерений силы тока

Средство измерений силы тока, обычно, называется амперметром. По типу измеряемой величины амперметры предназначаются для измерения постоянного тока (обозначение «—» на шкале средства измерений) и переменного тока (обозначение «~» на шкале средства измерений). Существуют и комбинированные средства измерений. Амперметр включают последовательно с нагрузкой. Для этого необходимо разорвать цепь. Поскольку амперметры включаются в разрыв цепи, т. е. сопротивление цепи при измерении увеличивается на величину внутреннего сопротивления амперметра  $R_A$ , в целях минимизации инструментальной погрешности измерений необходимо обеспечить минимальную величину внутреннего сопротивления  $R_A$ . Амперметры изготавливают с внутренним сопротивлением, равным нескольким десятым долям Ома. Обозначение амперметра на схеме представлено на рис. 5.

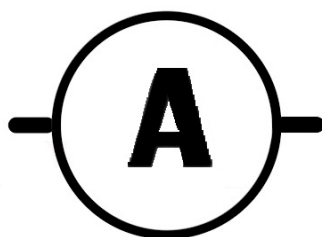


Рис. 5. Обозначение амперметра на схеме

Для измерения силы тока часто применяют аналоговые электро-механические средства измерений, которые характеризуется простотой устройства, эксплуатации и высокой надежностью. Измерительная схема электро-механического средства измерений, реализующая измерительное преобразование  $\alpha = kx$ , при котором электрическая энергия величины ( $x$ ) преобразуется в механическое перемещение стрелки отсчетного устройства средства измерений ( $\alpha$ ). При этом обеспечивается стабильность измерительного преобразования при изменении внешних условий в рабочем диапазоне.

Классификацию электро-механических средств измерений производят на основании типа измерительного механизма. Наиболее распространенными в практике измерений являются следующие системы:

магнитоэлектрическая, электромагнитная, электродинамическая, электростатическая. Условное обозначение типа измерительной системы наносится на шкале средства измерений:



— магнитоэлектрическая измерительная система;



— электромагнитная измерительная система;



— электродинамическая измерительная система;



— электростатическая измерительная система.

При использовании средств измерений постоянного тока магнитоэлектрического типа следует соблюдать полярность их подключения — протекание значительного тока в обратном направлении может привести к деформации стрелки. Пределы измерения таких средств измерений обычно не превышают  $10 \div 30$  мА. Класс точности  $0.05 \div 0.5$ , потребляемая мощность  $< 10^{-4}$  Вт.

Достоинствами средств измерений электромагнитной системы являются простота конструкции, способность выдерживать значительные перегрузки, возможность прямых измерений больших токов и напряжений, как на постоянном, так и на переменном токе. Недостатками средств измерений этой системы являются: большое собственное потребление энергии (следовательно, большая систематическая погрешность), невысокая чувствительность, неравномерная шкала и сильное влияние магнитных полей. На практике применяют амперметры электромагнитной системы с пределами измерения от долей ампера до 100 А. Класс точности 1 и ниже. Частотный диапазон до 1 кГц.

Принцип действия измерительного механизма в электродинамической системе основан на взаимодействии электромагнитных полей неподвижной и подвижной измерительных катушек. Достоинством электродинамических средств измерений является высокая точность на переменном токе. Предел основной приведенной погрешности может быть  $0.1 \div 0.2$  %, что является наилучшим достижимым показателем для измерительных средств измерений переменного тока. По другим показателям электродинамические средства измерений близки к электромагнитным. Электродинамические средства измерений используются как образцовые лабораторные низкочастотные высокого класса точности измерительные средства измерений. Частотный диапазон до 5 кГц.

Для измерения электрического тока применяются и другие физические эффекты, например, амперметр с датчиком на основе эффекта Холла.

Для расширения пределов измерений амперметра возможно использовать шунт — низкоомное высокоточное сопротивление  $R_{ш}$ , включаемое параллельно амперметру (рис. 6).

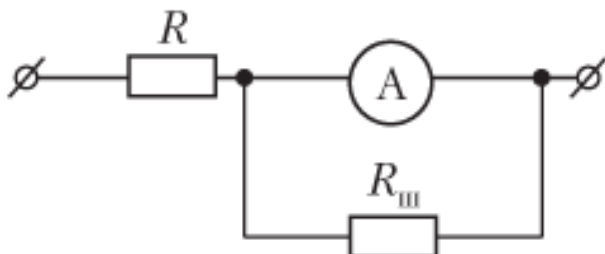


Рис. 6. Амперметр. Измерения с помощью шунта

В этом случае через амперметр будет протекать только часть тока цепи ( $I_A$ ), остальной ток ( $I_{ш}$ ) потечет через сопротивление шунта ( $R_{ш}$ ). Согласно правилу резистивного делителя токов:

$$I_A = \frac{R_{ш}}{R_A + R_{ш}} I_R,$$

где  $I_A$  — ток, протекающий через амперметр;  $I_R$  — общий ток цепи;  $R_A$  — внутреннее сопротивление амперметра;  $R_{ш}$  — сопротивление шунта.

Тогда для определения общего тока в цепи ( $I_R$ ) измеренный ток ( $I_A$ ) необходимо умножить на коэффициент  $k$ , равный:

$$k = \frac{R_A + R_{ш}}{R_{ш}} = 1 + \frac{R_A}{R_{ш}}.$$

Подбирая сопротивление шунта возможно измерять токи, превышающие предел измерения амперметра (§ 2.1). Однако при этом в  $k$  раз увеличится и погрешность измерений.

*Методической* называется погрешность результата измерения, которая зависит от используемого метода измерения, и не зависит от устройства средства измерений. Рассмотрим методическую погрешность измерения тока (рис. 7).

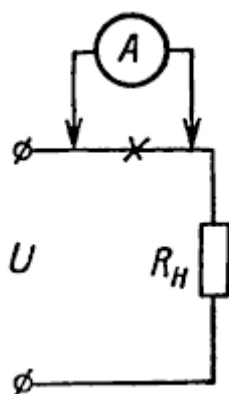


Рис. 7. Схема измерения тока

Через  $R_H$  согласно закону Ома в цепи будет протекать ток:  $I_H = \frac{U}{R_H}$ .

После подключения амперметра с сопротивлением  $R_A$  в разрыв цепи сопротивление участка цепи изменится:  $R_3 = R_H + R_A$ . При этом:

$$U = IR_H = I_A R_3 \Rightarrow I_A = \frac{R_H}{R_3} I = \frac{R_H}{R_H + R_A} I$$

Абсолютная методическая погрешность измерения тока равна

$$\Delta I_{\text{метод}} = I_A - I = \frac{R_H}{R_H + R_A} I - I = \left( \frac{R_H}{R_H + R_A} - 1 \right) I = \left( \frac{R_H - R_H - R_A}{R_H + R_A} \right) I = - \left( \frac{R_A}{R_H + R_A} \right) I. \quad (14)$$

Относительная методическая погрешность измерения тока равна

$$\delta I_{\text{метод}} = \frac{\Delta I_{\text{метод}}}{I} = \frac{- \left( \frac{R_A}{R_H + R_A} \right) I}{I} = - \left( \frac{R_A}{R_H + R_A} \right) = - \frac{1}{1 + R_H / R_A}. \quad (15)$$

Из соотношений (14) и (15) видно:

— и абсолютная, и относительная погрешности измерения тока отрицательны;

— абсолютная погрешность измерения тока прямо пропорциональна измеряемому току;

— и абсолютная, и относительная погрешности измерения тока уменьшаются с уменьшением внутреннего сопротивления амперметра.

Измерения переменного тока имеют свои особенности. Переменный ток, как следует из названия, изменяется во времени. Однако изменения тока во времени могут быть разными. Например, различают синусоидальную и треугольную формы, меандр (рис. 8) и т. д.

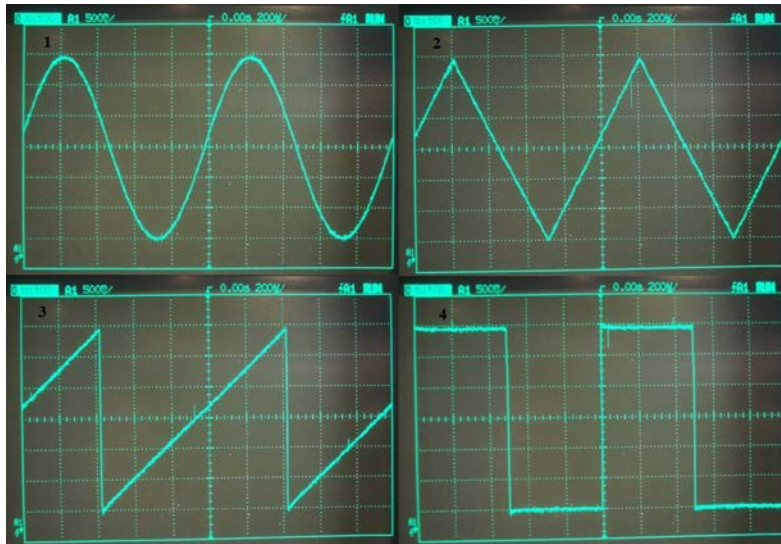


Рис. 8. Вид переменного тока различной формы (1 — синусоидальная, 2 — треугольная, 3 — пилообразная, 4 — меандр) на экране осциллографа

Прежде, чем производить измерения, необходимо знать, что это за форма, поскольку от этого зависит результат измерений. Наиболее простым способом определения формы переменного сигнала является его визуализация на экране осциллографа (рис. 8).

Осциллограф — прибор, показывающий форму напряжения во времени. Также он позволяет измерять ряд параметров сигнала, такие как напряжение, ток, частота, угол сдвига фаз. Но главное достоинство осциллографа — возможность наблюдения формы сигнала. Во многих случаях именно форма сигнала позволяет определить, что именно происходит в цепи. На рис. 9 показан пример сигнала, форма которого далека от синусоидальной.

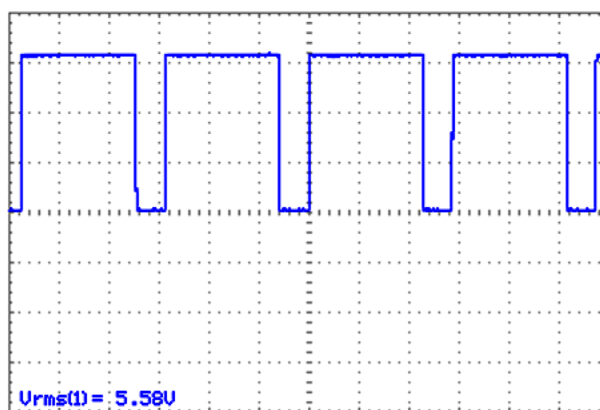


Рис. 9. Визуализация формы напряжения на экране осциллографа

Допустим, сигнал представляет собой синусоиду:  $i(t) = I_{amp} \sin(\omega t + \varphi_0)$  (рис. 10).

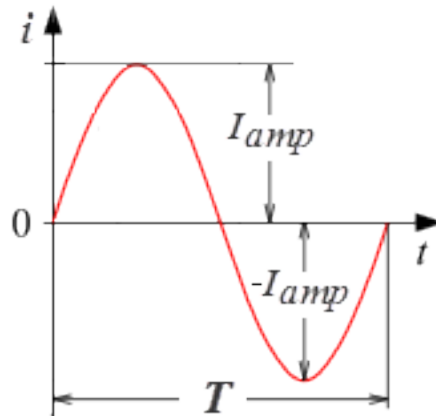


Рис. 10. Период переменного тока

При измерениях и расчетах синусоидальных сигналов используются следующие показатели:

*Период  $T$*  — время, в течение которого происходит один полный цикл изменения тока в оба направления относительно нуля или среднего значения.

*Частота  $f$*  — величина, обратная периоду, равная количеству периодов за одну секунду. Один период в секунду это один герц (1 Гц).  $f = 1/T$ .

*Циклическая частота ( $\omega$ )* — угловая частота, равная количеству периодов за  $2\pi$  секунд.  $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ .

*Фаза сигнала ( $\varphi$ )* — то, что стоит в скобках под знаком  $\sin$ :  $\varphi = \omega t + \varphi_0$ .

*Начальная фаза ( $\varphi_0$ )* — фаза синусоиды в момент времени  $t = 0$ .

*Мгновенное значение* — величина синусоиды в момент времени  $t$ :  $i(t)$ .

*Амплитудное значение  $I_{амп}$*  — максимальное по модулю мгновенное значение за период.

*Среднее значение тока ( $I_{cp}$ ) за период:*

$$I_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_{амп} \sin(2\pi ft) dt = \frac{I_{амп}}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin(2\pi ft) dt = \frac{I_{амп}}{2\pi} (-1 - (-1)) = 0.$$

Среднее значение — наиболее удобная в использовании величина, однако, для синусоидального тока среднее значение за период оказывается равным нулю. Поэтому используют другие показатели.

*Средневыпрямленное значение ( $I_{срв}$ )* — среднее значение за положительный полупериод:

$$I_{срв} = \frac{1}{T} \int_0^T |i(t)| dt = \frac{1}{T} \int_0^T |I_{амп} \sin(\omega t)| dt = \frac{1}{T} \int_0^T I_{амп} \sin(\omega t) dt = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} I_{амп} \sin(\omega t) dt =$$

$$= \frac{2I_{амп}}{T} \int_0^{T/2} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) dt = \frac{2I_{амп}}{T} \left( \frac{T}{2\pi} (-\cos(\pi)) - (-\cos(0)) \right) = \frac{I_{амп}}{\pi} ((-(-1)) - (-1)) = \frac{2I_{амп}}{\pi}. \quad (16)$$

Действующее (среднеквадратическое) значение ( $I_D$ ) — квадратный корень из интеграла усредненных квадратов мгновенных значений за период:

$$\begin{aligned}
 I_D &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_{amp}^2 \sin^2(\omega t) dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_{amp}^2 \sin^2(\omega t) dt} = \sqrt{\frac{I_{amp}^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2} dt} = \\
 &= \sqrt{\frac{I_{amp}^2}{4\pi} \left( \int_0^{2\pi} 1 dt - \int_0^{2\pi} \cos(2\omega t) dt \right)} = \sqrt{\frac{I_{amp}^2}{4\pi} ((2\pi - 0) - (0 - 0))} = \sqrt{\frac{I_{amp}^2}{2}} = \frac{I_{amp}}{\sqrt{2}}. \quad (17)
 \end{aligned}$$

Действующее — это эффективное значение, наиболее удобное для практических измерений и расчетов. Является объективным количественным показателем для любой формы тока. В активной нагрузке переменный ток совершает такую же работу за время периода, что и равный по величине его среднеквадратическому значению постоянный ток. Большинство средств измерения для цепей переменного тока проградуированы именно в действующих значениях.

Для удобства компенсации методической погрешности, связанной с измерением действующих значений при формах тока, отличных от синусоидальной, используются коэффициенты, которыми связаны между собой амплитудное, действующее и средневыпрямленное значения.

*Коэффициент амплитуды*  $K_a$  — отношение амплитудного значения к действующему:

$$K_a = \frac{I_{amp}}{I_D} = \frac{U_{amp}}{U_D}. \quad (18)$$

Для тока синусоидальной формы:  $K_a = \sqrt{2} \approx 1.4142$ .

Для тока треугольной формы:  $K_a = \sqrt{3} \approx 1.732$ .

Для тока прямоугольной формы:  $K_a = 1$ .

*Коэффициент формы*  $K_\phi$  — отношение действующего значения к средневыпрямленному:

$$K_\phi = \frac{I_D}{I_{срв}} = \frac{U_D}{U_{срв}}. \quad (19)$$

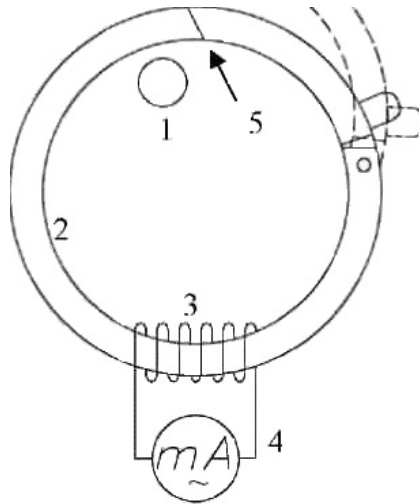
Для тока синусоидальной формы:  $K_\phi = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1.111$ .

Для тока треугольной формы:  $K_\phi = \frac{2}{\sqrt{3}} \approx 1.155$ .

Для тока прямоугольной формы:  $K_\phi = 1$ .

Средства измерений малых постоянных токов называют гальванометрами (§ 2.1).

*Клещи токоизмерительные* — это средство измерений переменного электрического тока, позволяющее производить измерения без разрыва электрической цепи. Принцип действия токоизмерительных клещей основан на явлении электромагнитной индукции. Они представляют собой (рис. 11) легкоразъемный (5) стальной сердечник в форме клещей (2), которым охватывают токоведущий провод (1). Этот сердечник является магнитопроводом, обеспечивающим передачу магнитного потока, возникающего вокруг провода с протекающим через него током, измерительной обмотке (3) амперметра (4).



*Рис. 11. Клещи токоизмерительные*

Преимуществом токоизмерительных клещей является возможность измерения величины электрического тока без разрыва цепи, что, во-первых, уменьшает вероятность нарушения электрических контактов при измерении, а, во-вторых, снижает время и трудоемкость производства измерений. Платой за полученные преимущества является высокая погрешность измерений, обусловленная, в числе прочего, случайностью пространственного положения токоведущего провода (1) относительно магнитопровода (2).

### **Контрольные вопросы:**

1. Приведите схему подключения амперметра.
2. Какова методическая погрешность при измерении электрического тока?
3. Дайте определения переменного тока.
4. Какие характеристики синусоидального тока могут измеряться?
5. Перечислите методы измерения переменного электрического тока.
6. Как определяется форма измеряемого тока?
7. Какие формы переменного тока Вы знаете?
8. Что такое действующее значение силы тока?
9. Что такое средневыпрямленное значение силы тока?
10. В чем преимущество токоизмерительных клещей?

### § 2.3. Средства измерений напряжения

Средства измерений электрического напряжения называют вольтметрами. Так же, как и амперметры, они предназначены для измерений постоянного и переменного напряжения. На электрических схемах вольтметры обозначаются латинской заглавной литерой «V», заключенной в окружность (рис. 12).

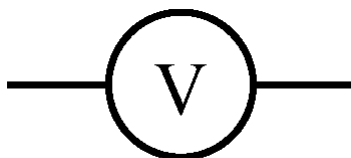


Рис. 12. Обозначение вольтметра на схеме

Источники и элементы, рассчитанные на постоянное напряжение, маркируются обозначениями «+» и «-», или только «+». К ним, в основном, относятся батарейки (например, «AA» и «AAA»), аккумуляторы, адаптеры и др. Источники и элементы, рассчитанные на переменное напряжение, маркируются обозначением «~», например, розетка бытовой электросети.

Рассмотрим методическую погрешность измерения напряжения. Вольтметр присоединяют параллельно участку цепи, на котором нужно измерить падение напряжения (рис. 13). Нарушение целостности цепи при этом не требуется.

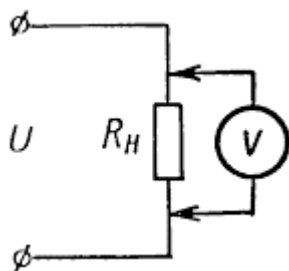


Рис. 13. Схема измерения напряжения

Через  $R_n$  согласно закону Ома в цепи будет протекать ток:  $I_n = \frac{U}{R_n}$ .

После подключения вольтметра с сопротивлением  $R_V$  сопротивление участка цепи изменится:

$$R_3 = \left[ \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_V} \right]^{-1} = \frac{R_n R_V}{R_n + R_V}.$$

Тогда

$$I = \frac{U}{R_n} = \frac{U_V}{R_3} \Rightarrow U_V = \frac{R_3}{R_n} U = R_3 \frac{U}{R_n} = \frac{R_n R_V}{R_n + R_V} \frac{U}{R_n} = \frac{R_V}{R_n + R_V} U. \quad (20)$$

Абсолютная методическая погрешность измерения напряжения равна:

$$\Delta U_{\text{метод}} = U_V - U = \frac{R_V}{R_n + R_V} U - U = \left( \frac{R_V}{R_n + R_V} - 1 \right) U = \left( \frac{R_V - R_V - R_n}{R_n + R_V} \right) U = - \left( \frac{R_n}{R_n + R_V} \right) U. \quad (21)$$

Относительная методическая погрешность измерения напряжения равна:

$$\delta U_{\text{метод}} = \frac{\Delta U_{\text{метод}}}{U} = \frac{- \left( \frac{R_n}{R_n + R_V} \right) U}{U} = - \left( \frac{R_n}{R_n + R_V} \right) = - \left( \frac{1}{1 + R_V / R_n} \right). \quad (22)$$

Полученные выражения для абсолютной и относительной методической погрешностей измерения напряжения верны для цепей как постоянного, так и переменного тока.

Из соотношений (21) и (22) видно:

— и абсолютная, и относительная погрешности измерения напряжения отрицательны;

— абсолютная погрешность измерения напряжения прямо пропорциональна измеряемому напряжению;

— и абсолютная, и относительная погрешности измерения напряжения уменьшаются с увеличением внутреннего сопротивления вольтметра.

Вольтметры изготавливают с внутренним сопротивлением, равным нескольким десяткам кОм. Если отношение сопротивления вольтметра к сопротивлению нагрузки меньше 100:  $\frac{R_V}{R_n} < 100$ , то  $\delta U_{\text{метод}} > 1\%$ . В этом случае вводят поправку, компенсирующую эту методическую погрешность. А именно, измеренное значение напряжения нужно умножить на  $(1 + R_n / R_V)$  (см. (20)).

Как и амперметры переменного тока, вольтметры переменного тока градуированы в действующих значениях напряжения. Например, измерение напряжения в бытовой электросети даст значение близкое к 220 В — это действующее значение, а не амплитудное.

К средствам измерения напряжения можно отнести и частотно-избирательные вольтметры. Они рассчитаны на измерение усредненного напряжения в некоторой полосе частот. Фактически, измеряется действующее значение сигнала на выходе одного или нескольких полосовых фильтров. Производимые действия могут быть интерпретированы как измерение спектра сигнала.

### **Контрольные вопросы:**

1. Приведите схему подключения вольтметра.
2. Какова методическая погрешность при измерении электрического напряжения?
3. Чем определяется инструментальная погрешность измерения напряжения?
4. Дайте определения переменного напряжения.
5. Каково влияние внутреннего сопротивления вольтметра на величину методической погрешности?
6. Какие характеристики синусоидального напряжения могут измеряться?
7. Что такое спектр сигнала?
8. Что из себя представляет спектр синусоидального сигнала?
9. Каков принцип действия частотно-избирательного вольтметра?
10. Как обозначаются вольтметры на электрических схемах?

## **§ 2.4. Средства измерений параметров линейных элементов электрических цепей**

Линейными называют такие элементы электрических цепей, вольт-амперная характеристика которых может быть принята линейной в рамках существующих для решаемой задачи допущений: сопротивление, индуктивность и емкость.

Наряду с измерениями электрического тока и напряжения одним из самых распространенных измерений является измерение электрического сопротивления. Средство измерений электрического сопротивления называется омметром.

Как известно, электротехника — это наука о контактах: если изделие не работает, то либо контакт есть там, где его быть не должно, либо его нет там, где он должен быть. Отсутствие контакта — это бесконечное сопротивление, наличие контакта — нулевое сопротивление. Чтобы это определить, необходимо просто это сопротивление измерить. Для решения этой задачи в омметрах есть такая функция как прозвонка. При этом щупы средства измерений прикладывают к внешним контактам сопротивления: если обрыва нет, то сигнал проходит и раздается звонок, если же где-то контакта нет, то сигнал не проходит, и звука нет.

Когда необходимо измерить значение сопротивления, используют также следующие методы измерений:

— измерение методом вольтметра-амперметра. В этом случае производят косвенные измерения сопротивления по закону Ома:  $R = U / I$ . Измерив напряжение и ток, находят сопротивление;

— измерение сопротивления с помощью электрического моста было описано выше (§ 2.1).

Нижний предел измерения микроомметров составляет  $10^{-8}$  Ом (10 нОм). Для измерения сопротивления изоляции чаще всего применяют мегаомметры магнитоэлектрической системы. В качестве источника тока обычно используют генератор, создающий напряжение до 2.5 кВ, благодаря чему мегаомметром можно измерять большие сопротивления. Существуют тераомметры для измерения сопротивлений до 20 ТОм.

Как и при прозвонке сопротивлений во многих случаях диагностику конденсаторов можно производить без специальных средств измерений. С помощью омметра можно обнаружить короткое замыкание между пластинами конденсатора. Проверка на обрыв неэлектrolитических конденсаторов емкостью от 10 нФ и выше проще всего производится включением конденсатора в цепь переменного тока последовательно с какой-либо нагрузкой, например, электрической лампочкой. Свечение лампочки будет свидетельствовать об отсутствии обрыва.

Кроме непосредственного измерения при помощи микрофарадметров для измерения емкости конденсаторов применяются методы:

— измерение методом вольтметра-амперметра на переменном токе (постоянный ток через конденсатор не течет). В этом случае производят косвенные измерения емкости по закону Ома:  $C = I/(2\pi fU)$ . Измерив напряжение и ток, находят емкость;

— аналогично косвенному измерению сопротивлений применяется мостовой метод (§ 2.1);

— косвенное измерение емкости возможно провести и резонансным методом:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C}} \Rightarrow C = \frac{1}{L_0 (2\pi f_0)^2}. \quad (23)$$

Зная индуктивность катушки  $L_0$  и подобрав частоту  $f_0$ , можно рассчитать емкость.

Перед измерением индуктивности катушка проверяется на отсутствие в ней обрыва и короткозамкнутых витков. Обрыв легко обнаруживается с помощью прозвонки, а выявление коротких замыканий требует проведения специального испытания. Для простейших испытаний катушек индуктивности иногда используют электронно-лучевые осциллографы. Для измерения параметров катушек индуктивности применяются, в основном, методы вольтметра-амперметра, мостовой и резонансный.

### **Контрольные вопросы:**

1. Перечислите методы измерения сопротивления.
2. В чем заключается метод вольтметра-амперметра измерения сопротивления?
3. Что такое прозвонка?
4. О чем говорит бесконечное сопротивление?
5. Перечислите методы измерения электрической емкости.
6. В чем заключается метод вольтметра-амперметра измерения электрической емкости?
7. Перечислите методы измерения электрической индуктивности.
8. В чем заключается резонансный метод измерения электрической индуктивности?

### **§ 2.5. Средства измерений частоты электромагнитных колебаний**

Важнейшей характеристикой периодических процессов является частота, которая определяется количеством чего-то в единицу времени. Необходимость в измерении частоты возникает во многих областях науки и техники и, особенно, в радиоэлектронике, которая охватывает обширную область электрических колебаний от сверхнизких до сверхвысоких частот.

В большинстве средств измерений частоты реализован метод сравнения с мерой.

Сверхнизкие частоты (менее 5 Гц) можно непосредственно оценить подсчетом числа полных периодов колебаний за фиксированный промежуток времени, например, с помощью осциллографа. Низкие частоты могут также быть оценены с помощью осциллографа методом биений. В широком диапазоне низких и высоких частот работают частотомеры, основанные на методе дискретного счета. Для измерения частот от 50 кГц применяются частотомеры, базирующиеся на резонансном и гетеродинном методах. На частотах свыше 100 МГц широко применяется метод непосредственной оценки длины волны электромагнитных колебаний при помощи измерительных линий.

Современная измерительная техника позволяет измерять высокие частоты с относительной погрешностью до  $10^{-14}$ . Именно с такой погрешностью измеряет время наземный сегмент аппаратуры ГЛОНАСС. Стандарты частоты, установленные в космическом сегменте, имеют погрешность на порядок больше —  $10^{-13}$ . По радиоканалам и кабельным линиям связи Государственной службой времени, частоты и определения параметров вращения Земли передаются эталонные сигналы, с относительной погрешностью до  $10^{-11}$ .

### **Контрольные вопросы:**

- 1. Дайте определение частоты.*
- 2. Какова возможная точность измерения частоты на сегодняшний день?*
- 3. В каком диапазоне частот применяются измерения осциллографическим методом?*
- 4. Какова погрешность измерения времени в наземном сегменте аппаратуры ГЛОНАСС?*
- 5. Какова погрешность измерения времени в космическом сегменте аппаратуры ГЛОНАСС?*

### **§ 2.6. Цифровые средства измерений (ЦСИ)**

Средство измерений, преобразующее в тракте измерения (от входа первичного измерительного преобразователя до отсчетного устройства) аналоговый сигнал в цифровой, называется цифровым. Переход от электрических аналоговых сигналов к электрическим цифровым осуществляется с помощью аналого-цифрового преобразователя. Кроме того, в ЦСИ реализовано цифровое отсчетное устройство. Аналого-цифровой преобразователь выдает код в соответствии со значением измеряемой величины. По роду измеряемой величины ЦСИ не отличаются от аналоговых, но с их помощью удобнее реализовывать мультиметры.

В ЦСИ, как и в аналоговых средствах измерений, датчики, назначение которых состоит в преобразовании измеряемой физической величины в аналоговое напряжение, остались прежними. Однако дальнейший измерительный тракт, назначение которого состоит в доведении аналогового напряжения, полученного с датчика, до отсчетного устройства, заменен на цифровой, по крайней мере, частично. Это нововведение позволяет повысить точность измерений, за счет уменьшения погрешностей, вносимых в измерительный тракт аналоговыми элементами. Заменено на цифровое и само отсчетное устройство, что позволяет уменьшить вероятность ошибки визуального снятия показаний.

Кроме выше описанных преимуществ в ЦСИ появилась возможность реализации методов измерений, недоступных для аналоговой техники. Например, в цифровых вольтметрах времяимпульсного преобразования осуществляется сравнение измеряемой величины с эталонным линейно нарастающим напряжением.

Кроме того, существенным преимуществом ЦСИ является возможность передачи цифрового измерительного сигнала по цифровым линиям связи, что позволяет обеспечить согласование измерительного

оборудования с другими цифровыми устройствами, независимо от их назначения. Особенно плодотворные результаты дает использование микропроцессоров, которые позволяют осуществлять, например, такие функции, как автоматическая коррекция систематических погрешностей, диагностика неисправностей, обработка полученных данных, управление отдельными узлами ЦСИ и т. д.

Указанные преимущества определили приоритет ЦСИ в измерительных, информационных, автоматических, управляющих и других системах. В настоящее время наблюдается процесс вытеснения аналоговых измерительных средств измерений цифровыми. Так, в 2014 г. на международной космической станции последнее аналоговое средство измерений было заменено цифровым.

Реализация указанных преимуществ определила усложнение измерительных средств измерений, которое влечет за собой увеличение их стоимости. Дальнейший прогресс в расширении области применения ЦСИ состоит в развитии производства интегральных микросхем, которые во многом способны снизить стоимость оборудования с одновременным повышением его надежности.

Приведенные соотношения определяют современную нишу для аналоговых средств измерений в тех областях, где основными критериями являются не точность измерений и возможность автоматизации, а высокая надежность в сочетании с минимумом затрат.

#### **Контрольные вопросы:**

1. *Чем отличаются цифровые средства измерений от аналоговых?*
2. *Перечислите достоинства и недостатки цифровых измерительных средств измерений.*
3. *Что такое аналого-цифровой преобразователь?*
4. *Чем отличается аналоговая величина от цифровой?*
5. *Какие метрологические характеристики цифровых средств измерений Вы знаете?*

### **§ 2.7. Подготовка к процессу производства измерений**

При возникновении необходимости произвести измерения, в одной из девятнадцати областей, указанных в Федеральном законе от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений», прежде всего, необходимо помнить, что эта область человеческой деятельности находится в ведении государства. Поэтому ни одна из стадий процесса производства измерений не должна противоречить существующей нормативной правовой базе, регламентирующей эту деятельность.

Скорее всего, что возникшая задача измерений уже решалась. В этом случае должны быть найдены документированные результаты ее решения. Тогда некоторые из приведенных ниже действий можно будет исключить из рассмотрения. Представляется, что в общем случае последовательность решения возникшей задачи должна быть следующей.

1. Определить цель производства измерений. Зачем они нужны, и нужны ли вообще? Можно ли без них обойтись? Измерения являются лишь исходными данными, на основании которых будет вырабатываться информация, для принятия какого-либо решения, обоснования чего-либо и т. д.

2. Определение величины, которую необходимо измерить. Например, если необходимо измерить электрический ток ( $I$ ), поступающий в нагрузку ( $R$ ), то, возможно, лучше будет измерять напряжение на нагрузке, поскольку при измерении тока необходимо разрывать цепь, а при измерении напряжения — нет.

3. Определение максимальной допустимой погрешности, с которой необходимо произвести измерения. Эта задача не может быть решена при проведении измерений, поскольку их результаты представляют собой лишь данные для последующей обработки. Максимальная допустимая погрешность должна определяться целью производства измерений (см. п. 1). При этом необходимо найти аргументированный ответ на вопрос: «Что изменится, если погрешность измерений будет, например, в два раза больше (два раза меньше)?» От ответа на этот вопрос зависят материальные и временные затраты на производство всего проекта в целом, и измерения, в частности. По некоторым оценкам затраты на измерения могут составлять 10 % стоимости проекта. Это вызвано не только стоимостью самих измерений и стоимостью оборудования для их производства, но и необходимостью производства в некоторых случаях многократных измерений. Например, при производстве работ в котловане на строительстве второй сцены Мариинского театра в Санкт-Петербурге только одна из двух бригад, производивших исполнительную съемку, выявила критическое смещение грунта, которое могло привести к обрушению окружающих котлован зданий.

Этот пункт должен быть соотнесен с пунктом 2. Например, если принять, что измеряется напряжение, а не интересующий ток, то согласно закону Ома:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_{изм} \pm \Delta U}{R} = \frac{U_{изм}}{R} \pm \frac{\Delta U}{R} = I_{изм} \pm \Delta I . \quad (24)$$

Чтобы определить погрешность измерения тока ( $\Delta I$ ), погрешность измерения напряжения ( $\Delta U$ ) необходимо разделить на  $R$ . Чем больше будет  $R$ , тем меньше будет  $\Delta I$ . При этом может оказаться, что измерение напряжения, а не тока, позволит не только уменьшить погрешность измерений, но снизить затраты на производство измерений.

Кроме того, можно воспользоваться зависимостью (6), согласно которой погрешность многократных измерений уменьшается в  $\sqrt{n}$  раз по сравнению с погрешностью однократного измерения при производстве  $n$  измерений. В этом случае будет необходимо произвести  $n$  измерений, однако итоговое решение будет зависеть от множества факторов: стоимости однократного измерения, стоимости многократных измерений, максимальной допустимой погрешности и других условий, согласно пункту 1.

4. Обоснование условий проведения измерений. Исходя из цели проведения измерений (п. 1) необходимо решить, достаточно ли будет измерений, проведенных в нормальных условиях (§ 1.6). Если же условия могут выходить за пределы нормальных, то будут возникать дополнительные погрешности (§ 1.6). При этом погрешность измерений будет представлять собой сумму основной и дополнительной погрешностей.

5. Выбор методики выполнения измерений (МВИ) на основании пунктов 1–4. Помимо требований к выбору, условиям эксплуатации, хранения и транспортировки средств измерений для достижения результата измерений необходимо строгое выполнение последовательности действий, рекомендуемой при выполнении измерений. Эта последовательность действий отражается в МВИ.

*Методика выполнения измерений* — совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности (п. 11 ст. 2 Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»).

Измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, должны выполняться по аттестованным методикам (методам) измерений, за исключением методик (методов) измерений, предназначенных для выполнения прямых измерений (п. 1 ст. 5 Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»).

*Аттестация МВИ* — подтверждение соответствия МВИ метрологическим требованиям. Аттестация МВИ — одна из форм государственного регулирования в сфере ГСИ. Она гарантирует обеспечение точности косвенных измерений, которая определяется как МХ средств

измерений, так и методом, последовательностью операций и условиями измерений, а также действиями оператора. Методики прямых измерений, обычно, вносятся в эксплуатационную документацию на средства измерений до ее утверждения.

Пример. Давность наступления смерти определяется посредством измерения температуры трупа термометром. Рассмотрим экспериментальную зависимость температуры трупа от глубины погружения термометра в прямую кишку (табл. 4).

Таблица 4

#### **Зависимость температуры от глубины погружения**

Глубина погружения термометра, см	5	7	9	11	13
Температура, °С	30.0	32.1	33.2	34.2	34.6

Если параметр глубины погружения не указан в МВИ, то погрешность определения времени наступления смерти может достигать до четырех часов.

МВИ разрабатываются и применяются с целью обеспечения требуемой точности выполнения измерений. МВИ содержат:

- область применения;
- наименование измеряемой величины;
- требования к квалификации оператора;
- требования к показателям точности измерений;
- требования к средствам измерений;
- требования к условиям выполнения измерений;
- метод измерений;
- форму представления результатов измерений;
- характеристики объекта измерений, если они могут влиять на точность измерений;
- другие требования.

Скорее всего, потребность в измерении конкретной величины в конкретных условиях возникает не в первый раз. Высока вероятность того, что где-то подобные измерения уже проводились, и кто-то озадачился написанием МВИ. Поиск должен быть осуществлен по двум причинам. Во-первых, МВИ должна быть указана в документе, содержащем результаты наблюдения. Во-вторых, следование МВИ позволяет снизить вероятность ошибок оператора при производстве измерений.

#### **6. Выбор средства измерений.**

При выборе средства измерений необходимо удостовериться, что:

- средство измерений, которое предполагается использовать, предназначено для измерений интересующей величины, например, напряжения;

— средство измерений предназначено для измерения типа интересующей величины, например, переменное напряжение;

— средство измерений предназначено для измерения формы типа интересующей величины, которую Вам необходимо измерить, например, импульсное напряжение;

— пределы шкалы средства измерений должны превышать диапазон возможного рассеяния значений параметра. Для многопредельных средств измерений в случае, когда даже приближенное значение измеряемой величины неизвестно, в целях сохранения работоспособности средства измерений, измерения необходимо начинать с максимального диапазона, пошагово уменьшая его до минимума, вмещающего измеряемую величину. Кроме сохранения работоспособности средства измерений этот подход обеспечивает наименьшую погрешность измерения (см. Задачу 2);

— предполагаемые условия измерений соответствуют рабочим диапазонам, указанным в паспорте средства измерений. Относительная погрешность в пределах рабочего участка шкалы средства измерений не должна превышать приведенную погрешность более чем в 3 раза;

— класс точности средства измерений позволяет производить измерения с заданной точностью. Например, в большинстве случаев для гарантирования заданной погрешности погрешность средства измерений должна быть на 25–30 % ниже, а при контроле технологических процессов должны использоваться средства измерений с ценой деления не более 1/6 допуска на изготовление;

— средство измерений внесено в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений;

— массогабаритные показатели средства измерений соответствуют условиям применения;

— срок поверки средства измерений не истек;

— средство измерений находится в работоспособном состоянии;

— изменение значения измеряемой величины ( $\Delta x$ ) за время производства измерения ( $\Delta t$ ) должно быть значительно меньше допустимой погрешности измерений ( $\Delta_{\text{доп}}$ ):  $\Delta x(\Delta t) \ll (\Delta_{\text{доп}})$ . В противном случае необходимо учитывать динамическую составляющую погрешности измерений;

— выбор средства измерений зависит от количества находящихся в эксплуатации однотипных средств измерений. Для уменьшения погрешности измерений необходимо выбирать средство с минимально возможным верхним пределом измерений.

Возможно, последовательность действий при проверке работоспособности указана в паспорте средства измерений. Если это не так, то необходимо провести пробные измерения величины, значение которой приблизительно известно, например, напряжения батарейки при измерении напряжения.

Если средство измерений не может одновременно удовлетворять всем предъявляемым требованиям, то выбираются наиболее важные из них. Характеристики средств измерений указываются в паспорте средства измерений.

*Паспорт средства измерений* — это документ, содержащий сведения, удостоверяющие гарантии изготовителя, значения основных параметров и характеристик (свойств) изделия, а также сведения о сертификации и утилизации изделия.

В частности, паспорт средства измерений содержит следующую информацию:

- наименование средства измерений;
- наименование предприятия-изготовителя;
- заводской номер средства измерений;
- дата поступления в эксплуатацию;
- тип средства измерений;
- пределы измерений;
- цена деления шкалы;
- класс точности или допустимая погрешность;
- межповерочный интервал;
- другие характеристики.

Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» допускает, что в паспорте может производиться запись о результатах периодических поверок средства измерений.

### **Контрольные вопросы:**

1. На какие вопросы ищется ответ при формулировке цели проведения измерений?
2. Каковы критерии выбора измеряемой величины при производстве измерений?
3. Каковы критерии выбора максимальной допустимой погрешности при производстве измерений?
4. Каковы критерии выбора условий измерения при производстве измерений?
5. Дайте определение МВИ.
6. Приведите критерии выбора средства измерений.
7. Какие сведения содержатся в паспорте средства измерений?
8. Где могут содержаться данные о поверке средства измерений?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«Кто владеет информацией, тот владеет миром» — в процессе его утверждения эти слова английского политического деятеля У. Черчилля положили начало современной информационной эпохе. Информация, полученная в результате проведения измерений, называется измерительной. Это неотъемлемая часть наших знаний об окружающем мире, которая является одной из основ нашего существования.

Именно поэтому Конституция Российской Федерации относит измерения к ведению государства (п. «р» ст. 71). Это положение Конституции Российской Федерации реализуется с помощью Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» и других нормативных правовых актов, образующих правовую основу для Государственной системы обеспечения единства измерений. В Федеральном законе «Об обеспечении единства измерений» перечислено 19 областей деятельности российского общества, в которых государственное регулирование измерений является обязательным. Многие из этих областей деятельности, так или иначе, пересекаются со сферой деятельности МВД России.

В предлагаемом учебном пособии рассмотрены нормативные правовые, теоретические и практические вопросы измерений, с которыми могут сталкиваться сотрудники полиции в своей служебной деятельности.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### *Нормативные правовые акты:*

1. Конституция Российской Федерации.
2. Федеральный закон от 7 февраля 2011 г. № 3-ФЗ «О полиции».
3. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
4. ГОСТ 2.601-2006 «ЕСКД. Эксплуатационные документы».
5. ГОСТ 8.009-84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений».
6. ГОСТ 8.010-2013 «ГСИ. Методики выполнения измерений. Основные положения».
7. ГОСТ 8.401-80 «ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования».
8. ГОСТ 8.417-2002 «ГСИ. Единицы величин».
9. ГОСТ Р 8.885-2015 «ГСИ. Эталоны. Основные положения».
10. МИ 1317-2004 «ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров образцов продукции и контроле их параметров».
11. МИ 2083-90 «ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей».
12. РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения».
13. Приказ Минпромторга России от 15 февраля 2010 г. № 122 «Об утверждении Административного регламента исполнения Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии государственной функции по отнесению технических средств к средствам измерений». Утратил силу.
14. Приказ Минпромторга России от 2 июля 2015 г. № 1815 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».

### *Основная литература:*

1. Алексеев В. В. и др. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для студ. учреждений высш. образования. — Москва: Академия, 2014. — 268 с.

### *Дополнительная литература:*

1. Измерения в криминалистике: методические основы: (о юридической силе результатов измерений) / Д. Ф. Тартаковский, Ю. В. Гальцев, В. В. Гарманов. — Санкт-Петербург: ДНК, 2010. — 121 с.
2. Кильдюшов Е. М. О термометрии трупа // Судебно-медицинская экспертиза. — 2000. — № 4. — С. 3–5.
3. Тартаковский Д. Ф. Измерительная информация в системе доказательств. — Москва: Юридический центр, 2003. — 210 с.

### *Интернет-источники:*

1. Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений: официальный сайт. — URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry> (дата обращения: 06.04.2020).
2. ФКУ «Центр метрологического обеспечения» МВД России: официальный сайт. — URL: <http://forum.mls-mvd.ru/> (дата обращения: 16.04.2020).
3. Матов О. Р., Стальмахов А. В. Метрологический аспект судебно-баллистических исследований // Киберленинка. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metrologicheskiy-aspekt-sudebno-ballisticheskikh-issledovaniy> (дата обращения: 14.04.2020).

Учебное издание

## ОСНОВЫ ЭЛЕКТРО-, РАДИОИЗМЕРЕНИЙ

Учебное пособие

Редактор *Мамедова А. Х.*  
Корректор *Фролова А. В.*  
Компьютерная вёрстка *Фролова А. В.*  
Дизайн обложки *Савиных А. И.*

ISBN 978-5-91837-377-4



---

Подписано в печать 01.04.2021. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.

Печать цифровая. Объём 4,25 п. л. Тираж 75 экз. Заказ № 7/21

---

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете МВД России  
198206, Санкт-Петербург, ул. Лётчика Пилютова, д. 1