



Уральский
федеральный
университет

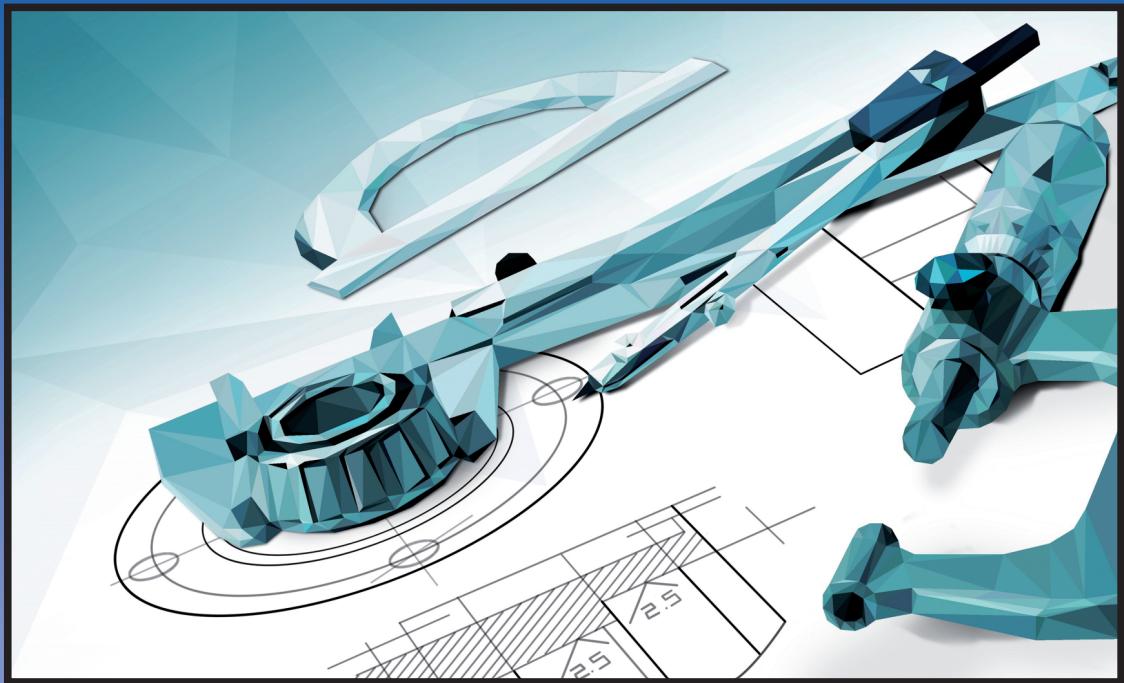
имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина

Институт радиоэлектроники
и информационных
технологий — РТФ

Н. С. ВИНОГРАДОВА
А. А. КУРГАНСКИЙ

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Лабораторный практикум



Министерство образования и науки Российской Федерации

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Н. С. Виноградова, А. А. Курганский

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Лабораторный практикум

Рекомендовано методическим советом

Уральского федерального университета

для студентов вуза, обучающихся по направлениям подготовки

11.03.01 — Радиотехника, 11.03.02 — Инфокоммуникационные
технологии и системы связи, 10.05.02 — Информационная

безопасность телекоммуникационных систем

11.05.01 — Радиоэлектронные системы и комплексы,

10.03.01 — Информационная безопасность,

27.04.04 — Управление в технических системах

Екатеринбург

Издательство Уральского университета

2017

УДК 006(076.5)
ББК 30.10я73-5
B49

Рецензенты: кафедра менеджмента и управления качеством Института экономики и управления УГЛТУ (завкафедрой д-р техн. наук, проф. *В. П. Часовских*); канд. техн. наук, доц. *Н. В. Будылдина* (заместитель завкафедрой ОПД ТС УрТИСИ СибГУТИ)

Научный редактор — д-р техн. наук, проф. *Л. Г. Дорошинский* (завкафедрой теоретических основ радиотехники Уральского федерального университета)

На обложке используется изображение с сайта <http://openedu.ru>

Виноградова, Н. С.

- B49 Метрология, стандартизация и сертификация : лабораторный практикум / Н. С. Виноградова, А. А. Курганский. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 132 с.
ISBN 978-5-7996-2092-9

В издании приведено описание пяти лабораторных работ по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация», кроме того, даны описания электронных установок с указанием схемы: приборы для измерения параметров цепей, прибор для измерения статистического коэффициента передачи тока в схеме общим эмиттером, также рассмотрены законодательные положения в области поверки, калибровки, стандартизации и сертификации. Данный лабораторный практикум предназначен для студентов технических специальностей.

УДК 006(076.5)
ББК 30.10я73-5

ISBN 978-5-7996-2092-9

© Уральский федеральный университет, 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

Освоение дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» было предусмотрено практически всеми государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования третьего поколения для направлений и специальностей в области технических наук. Федеральными государственными образовательными стандартами поколения «3+», принятыми в 2014 году, конкретные названия дисциплин не устанавливаются, однако обозначенные в них компетенции и профессиональные задачи содержат положения, связанные с метрологическим обеспечением производств и оценкой качества продукции.

Ранее, в рамках образовательных стандартов первого и второго поколений для студентов радиотехнических и телекоммуникационных специальностей, изучение метрологии проводилось совместно с изучением принципов проведения радиоизмерений, и большая часть соответствующих дисциплин («Метрология и радиоизмерения», «Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах») отводилась изучению принципов работы измерительных приборов, а такие важные разделы, как стандартизация, сертификация, теория ошибок и обработка результатов измерения, рассматривались поверхностно. Наконец, в стандартах третьего поколения дисциплина «Метрология, стандартизация и сертификация» была выделена отдельно, а вопросы радиоизмерений перешли во вновь вводимые дисциплины — «Радиоизмерения в РЭС», «Измерения в ТКС» и т. п. Однако существующая до настоящего времени лабораторная база вынуждала в рамках дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» по-прежнему проводить лабораторные работы, связанные только с измерением электрических величин и сигнальных параметров.

В настоящем лабораторном практикуме рассмотрен принципиально новый цикл лабораторных работ по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» без привязки к существующей лабораторной базе, кроме того, реализованы измерительные установки и приборы на основе программного обеспечения *LabView* компании *National Instruments*. Этот подход обусловлен двумя моментами. Во-первых, современный образовательный процесс предполагает широкое внедрение технологий дистанционного обучения, и реализация виртуальных лабораторных работ позволит в перспективе вывести курс «Метрология, стандартизация и сертификация» в интернет. Во-вторых, использование условных измерительных приборов позволяет сделать упор не на организацию самого процесса измерения (что является задачей дисциплин «Измерения в РЭС» и «Измерения в ТКС»), а на обработку результатов измерений, что и заложено в теории курса.

Лабораторные работы № 1–3 предназначены для знакомства с такими метрологическими понятиями, как типы погрешностей и классы точности средств измерений, для изучения принципов однократных и многократных измерений, для калибровки и поверки средств измерений, а также для освоения правил записи результатов измерений. При этом направленность на измерения в радиоэлектронных и телекоммуникационных системах сохраняется. Также в лабораторном практикуме присутствуют лабораторные работы по темам «Квадиметрия» (лабораторная работа № 4) и «Сертификация» (лабораторная работа № 5).

Авторы выражают благодарность старшему преподавателю кафедры теоретических основ радиотехники А. В. Сосновскому за ценные советы и оригинальные идеи, предложенные в ходе работы над лабораторным практикумом.

ВВЕДЕНИЕ

Базовые определения и понятия метрологии

Основным понятием метрологии является измерение. Измерением мы будем называть форму получения количественной информации об объекте опытным путем. Чтобы отделить этот тип информации от информации об объекте, получаемой на основе математических вычислений, обозначим его как измерительный. Поскольку предметом метрологии является процедура извлечения измерительной информации об объектах реальности, следует установить границы применимости метрологических подходов к этим объектам.

Любые объекты характеризуются свойствами. *Свойство* — это атрибут объекта, выражающий такую сторону объекта (явления, процесса), которая обуславливает его различие или общность с другими объектами (явлениями, процессами) и обнаруживается в его отношениях к ним [1]. Тип взаимодействия объекта и субъекта является определяющим фактором свойства. Свойства объекта зависят от вида взаимодействия объекта и субъекта. Так, если исследовать внешний вид объекта, то можно получить представление о его размерах и форме, при взвешивании объекта мы получим представление о его массе, анализ структуры даст информацию о микроскопических параметрах, таких, как химический состав, энтропия и так далее. Свойство является качественной категорией; для того, чтобы оценить степень проявления свойства, необходимо ввести понятие величины.

Величина — это мера свойства объекта, которая может быть дифференцирована среди прочих свойств и оценена тем или иным способом.

бом, в том числе и количественно. Это понятие не может существовать само по себе, оно применимо только к объекту со свойствами, выраженными данной величиной. Анализ всевозможных величин позволяет их разбить на несколько групп (рис. В1).

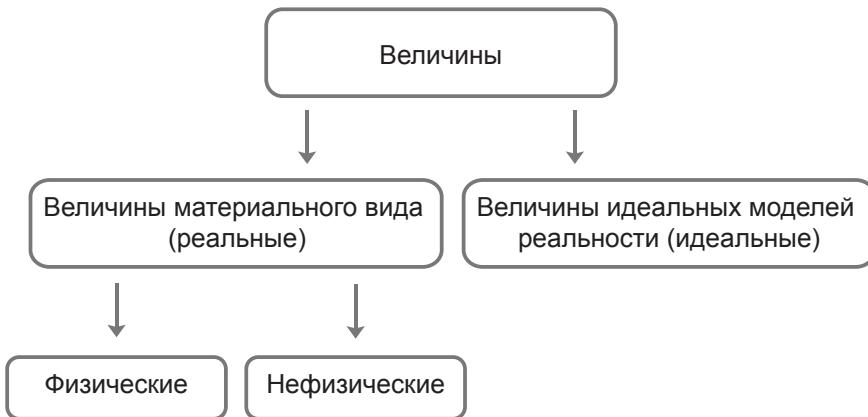


Рис. В1. Классификация величин

Величины идеальных моделей реальности относятся к математическим объектам и представляют собой абстрактные обобщения реальных объектов. Их исследованием занимаются математические науки. Величины материального вида можно разделить на физические и нефизические.

Физическая величина (ФВ) — одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), в качественном отношении общее для многих физических объектов, но в количественном — индивидуальное для каждого из них [2]. ФВ присущи материальным объектам, изучаемым в естественнонаучных и технических дисциплинах.

К нефизическим величинам относятся величины, которые не могут быть измерены количественно; они встречаются в социологии, экономике и гуманитарных науках. Характерным признаком нефизической величины является отсутствие единиц измерения (рейтинг, уровень религиозности, оценки студентов и т. д.).

Любую ФВ можно оценить как качественно, так и количественно. Формульным выражением качественного различия между ФВ служит их размерность.

Размерность — выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин

в различных степенях и отражающее связь данной физической величины с физическими величинами, принятыми в данной системе величин за основные с коэффициентом пропорциональности, равным единице [2]. Размерность заданной физической величины Q принято обозначать выражением $\text{Dim } Q$. Наглядно проиллюстрировать определение размерности можно следующей формулой:

$$\text{Dim } Q = L^\alpha \cdot M^\beta \cdot T^\gamma \cdot I^\delta \cdot \Theta^\varepsilon \cdot J^\zeta, \quad (1)$$

где Q, L, M, T, I, Θ, J — размерности основных ФВ, принятых в данной системе; $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta$ — показатели размерности.

Под системой ФВ понимается совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, называемые основными, а другие, определяемые как функции независимых величин, называют производными ФВ [2]. Например, в Международной системе единиц (СИ) за основные ФВ взяты длина, масса, время, сила тока, термодинамическая температура, сила света и количество вещества. Соответственно, такие ФВ, как энергия, давление, разность потенциалов, магнитная индукция в системе СИ являются производными, и их размерность выражается по формуле (1) через основные. Например, уравнение для описания скорости равномерного движения выглядит следующим образом:

$$v = S/t,$$

где S — длина пройденного пути; t — время движения.

Тогда размерность скорости может быть найдена через размерности длины и времени:

$$\text{Dim } v = LT^{-1}.$$

В общем случае показатели размерности ФВ могут быть положительными, отрицательными, целыми либо дробными. Отдельный интерес представляет случай, когда в выражении (1) все значения показателей размерности, соответствующие основным ФВ, равны нулю. В этом случае ФВ называется *безразмерной*.

Существуют три основных типа безразмерных ФВ:

- относительные ФВ, выраженные в долях некоего условно принятого значения (например, относительная плотность — плотность вещества по отношению к плотности воды);

- всевозможные коэффициенты, показывающие, во сколько раз одна величина больше другой в среде (например, коэффициент трения, относительные магнитная и диэлектрическая проницаемости);
- величины, характеризующие количество каких-либо объектов (например, количество электронов в атоме).

Величины, являющиеся безразмерными в одной системе единиц, могут оказаться размерными в другой. Например, электрическая и магнитная постоянные ϵ_0 и μ_0 в системе СГС являются безразмерными, тогда как в системе СИ $\text{Dim } \epsilon_0 = \text{A}^2 \cdot \text{c}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$, $\text{Dim } \mu_0 = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{c}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$. Величины, определенные как отношение двух однотипных величин, будут безразмерными в любой системе единиц.

В качестве единиц измерения безразмерных физических величин используется числа. Например, коэффициент трения покоя графита по графиту в воздухе составляет 0,1. Иногда для обозначения безразмерных физических единиц используют специальные наименования, например, радиан. *Радиан* — угол, соответствующий дуге, длина которой равна ее радиусу [3]. В радианах выражается *радианская мера угла*, т. е. величина отношения данного угла к радиану. Некоторые единицы относительных безразмерных величин часто выражаются в специальных единицах измерения, например, процент, промилле, миллионная доля. Для относительных безразмерных величин, выраженных в логарифмическом масштабе, используются децибелы и неперы.

Размерность отражает связь заданной ФВ с основными ФВ. При определении размерности ФВ руководствуются следующими правилами:

- 1) размерности левой и правой частей уравнения, определяющего производную ФВ, должны быть равны;
- 2) алгебра размерностей мультипликативна, т. е. содержит действия умножения и деления;
- 3) размерность произведения нескольких величин равна произведению их размерностей; так, если определяющее уравнение для величины Q имеет вид

$$Q = A \cdot B \cdot C,$$

то размерность величины Q будет

$$\text{Dim } Q = \text{Dim } A \cdot \text{Dim } B \cdot \text{Dim } C;$$

4) размерность частного при делении одной величины на другую равна отношению их размерностей; так, если определяющее уравнение для величины Q имеет вид

$$Q = A / B,$$

то размерность величины Q будет

$$\text{Dim } Q = \text{Dim } A / \text{Dim } B;$$

5) размерность любой величины, возведенной в степень, равна ее размерности в той же степени; так, если определяющее уравнение для величины Q имеет вид

$$Q = A^n,$$

то размерность величины Q будет

$$\text{Dim } Q = \prod_1^n \text{Dim } A = \text{Dim}^n A.$$

Использование этих правил лежит в основе теории размерности — метода, использующегося в ряде отраслей естественных наук для нахождения взаимосвязи между отдельными составляющими системы. Суть теории размерностей заключается в поиске связи одного из параметров системы с другими на основе анализа размерностей. Таким образом, уравнение взаимосвязи между параметрами восстанавливается с точностью до безразмерного коэффициента. Теория размерностей широко применяется в физике, химии и нескольких областях экономики, где на основе несложных операций с ее помощью можно получить важные самостоятельные результаты.

Размерность является качественной характеристикой ФВ, определяющей ее свойства с точки зрения содержательной части. Чтобы сделать выводы о количественных свойствах ФВ, т. е. разграничить разные объекты, обладающие одинаковым свойством размерности, необходимо ввести понятие размера ФВ.

Размер ФВ — количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу [2]. Размер является объективной количественной характеристикой свойства объекта, не зависящей от выбора системы единиц. Так, размер массы, равный 1000 мг, идентичен размерам массы, равным 1 г и 0,001 кг. По сути, это три варианта представления од-

ного и того же размера. В свою очередь, числа 1000, 1 и 0,001 являются значением ФВ.

Значение ФВ — выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. В отличие от размера, значение ФВ зависит от выбора системы единиц. Понятия размера и значения ФВ связаны между собой основным уравнением измерений:

$$Q = q[Q], \quad (2)$$

где Q — размер измеряемой ФВ; $[Q]$ — единица физической величины, т. е. физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице, и применяемая для количественного выражения однородных с ней физических величин [2]; q — значение ФВ, т. е. некое отвлеченное число, показывающее, во сколько раз размер ФВ Q больше либо меньше $[Q]$. Ясно, что для одного и того же размера ФВ значение будет тем больше, чем меньше будет выбранная единица измерений.

В свою очередь, разные единицы одной и той же ФВ дифференцируются своими размерами. *Размер единицы ФВ* — количественная определенность единицы физической величины, воспроизводимой или хранимой средством измерений. Например, в системе СИ единицей длины является метр. Но что стоит за понятием метра? По определению, метр — расстояние, которое проходит свет в вакууме за промежуток времени, равный $1/299\,732\,458$ сек, т. е., размер одного метра определен через скорость света и единицу времени. В современном обществе роль размеров единиц ФВ велика: при произволе в их определении все произведенные измерения не будет возможно сопоставить друг с другом, т. е. нарушится единство измерений.

На практике значения ФВ находят двумя способами: на основе теоретических вычислений с использованием определяющего уравнения либо с помощью измерений. Суть измерений состоит в том, чтобы сравнить неизвестный размер ФВ исследуемого объекта с размером единицы ФВ, т. е. в уравнении (2) найти значение q . В ряде случаев может оказаться, что ФВ не определена для конкретного свойства исследуемого объекта, тогда вместо измерений используется оценивание, т. е. ранжирование однотипных объектов по ряду косвенных признаков. Примером оцениваемой ФВ является минералогическая твердость минералов, которая оценивается с помощью поиска самого твердого эталонного образца, который исследуемый образец может поцарапать.

В измерительном процессе особую важность играет единица измеряемой ФВ, относительно которой определяется ее размер. Единицы ФВ выбираются таким образом, чтобы удовлетворялись следующие требования:

- неизменность — единица ФВ не должна менять свои размеры с течением времени. Вариации размера возможны только при изменении внешних условий, в этом случае они должны быть строго определенными функциями величин, доступных точно-му измерению;
- воспроизводимость — единица ФВ должна быть определена таким образом, чтобы ее можно было воспроизвести с максимальной точностью, возможной при текущем уровне развития измерительных технологий;
- сличаемость — для сконструированной единицы ФВ должна существовать возможность сравнения ее с другими единицами этой же ФВ. Только в этом случае может быть обеспечено единство измерений на всех уровнях экономической системы.

Для воспроизведения и хранения размеров единиц ФВ используются эталоны. Эталон — средство измерений (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений, утвержденное в качестве эталона в установленном порядке [2].

На основе вышеперечисленного можно ввести строгое определение для такого понятия, как измерение. *Измерение* — совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины [2].

Список литературы

1. Уемов А. И. Вещи, свойства и отношения. — М. : Издательство академии наук СССР, 1963. — 184 с.
2. РМГ 29—99. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2000. — 46 с.
3. Математическая энциклопедия (в 5 томах). — М. : Советская Энциклопедия, 1984. — Т. 4.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Измерение параметров радиотехнических цепей

Цель работы

Цель лабораторной работы № 1 включает в себя следующие аспекты:

- знакомство с приборами, предназначенными для исследования цепей с сосредоточенными параметрами;
- изучение различных типов погрешностей;
- изучение понятия классов точности приборов;
- освоение правил приема однократных измерений;
- освоение методов расчета косвенных погрешностей измерения;
- освоение правил записи результатов измерений;
- освоение метода рандомизации постоянных систематических погрешностей.

Основные теоретические сведения

1. Погрешности измерений и погрешности средств измерений

Степень приближения измеряемой величины к ее истинному значению принято характеризовать погрешностью. *Погрешность результата измерений* — отклонение результата измерения X от истинного значения Q измеряемой величины [1]:

$$\Delta X = X - Q. \quad (1.1)$$

Поскольку истинное значение не зависит от средств познания и является абстрактным математическим обобщением реального физического объекта, на практике пользуются понятием действительного значения измеряемой величины. *Действительное значение ФВ* — значение физической величины, найденное экспериментально и настолько близкое к истинному, что в поставленной измерительной задаче оно может быть использовано вместо него [1]. Погрешность указывает границы неопределенности значения измеряемой величины и является важнейшим параметром, характеризующим проведенные измерения.

Таблица 1.1

Зависимость сопротивления проводника от температуры

$t, ^\circ\text{C}$	20	30	40	50	60
$R, \text{Ом}$	100,1	100,2	100,3	100,4	100,5

В табл. 1.1 замеры величины сопротивления выполнены с шагом в $10 ^\circ\text{C}$. Если погрешность измерения достаточно мала и составляет, к примеру, 0,05 Ом, то на основании полученных результатов можно сделать вывод, что с ростом температуры сопротивление проводника также растет, поскольку действительное значение в этом случае будет определено с точностью до первого знака после запятой. Если же для того же самого эксперимента погрешность измерения равна 1,0 Ом, то действительное значение измеряемой величины будет находиться в районе значения 100 Ом при всех значениях температуры, и вывод будет совершенно противоположным: с ростом температуры сопротивление проводника остается неизменным.

В общем случае эта качественная сторона измерительной процедуры характеризуется точностью. *Точность результата измерений* — одна из характеристик качества измерения, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения [1]. Принято считать, что чем меньше погрешность измерения, тем выше точность.

Помимо погрешности результата измерений различают также *погрешность средства измерений* — разность между показанием средства измерения и действительным (истинным) значением измеряемой ФВ [1]. Эта погрешность характеризует качество работы используемого измерительного средства. Аналогично, *точность средства измерения* — степень близости к нулю значения погрешности средства измерения. Понятия погрешности результата измерения и погрешности средства

измерения во многом близки друг другу и часто могут быть классифицированы по одинаковым признакам. Существуют пять основных подходов к классификации погрешностей (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Классификация погрешностей

1.1. Классификация погрешностей по способу выражения

Различают абсолютную погрешность, относительную погрешность и приведенную погрешность средства измерения. Первые два типа погрешностей могут характеризовать как точность результата измерений, так и точность средства измерений; приведенная погрешность используется только применительно к описанию свойств средства измерений.

Абсолютная погрешность измерения (абсолютная погрешность средства измерения) — погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины [1]. В сущности, именно абсолютная погрешность задается выражением (1.1). Она показывает, насколько сильно расходится результат измерения как таковой (либо показание измерительного средства) с действительным значением ФВ. Абсолютная погрешность удобна при математической обработке результатов измерений, однако она не может в полной мере служить показателем точности полученного результата. Для примера рассмотрим следующую ситуацию. Пусть абсолютная погрешность измерения длины составляет 0,5 мм. Если речь идет об измерениях порядка 10–20 м (например, высота деревьев), то такая погрешность даст очень высокую точность. Если же проводятся измерения длин, сопоставимых с величиной самой погрешности, например, размеров пузырьков воздуха в пористом известняке, размеры которых варьируются от 0,1 мм до 3 мм, то в этом случае абсолютная погрешность в 0,5 мм будет означать низкую точность. Для снятия этой неоднозначности в опреде-

лении точности выполняемых измерений вводится понятие относительной погрешности.

Относительная погрешность измерения — погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к измеренному значению измеряемой величины [1]:

$$\delta = \pm \frac{\Delta X}{X}. \quad (1.2.1)$$

Формула (1.2.1) определяет безразмерную величину, выраженную в долях результата измерения. Часто относительную погрешность измерения удобнее выражать в процентах:

$$\delta = \pm \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\%. \quad (1.2.2)$$

Аналогично задается *относительная погрешность средства измерения* — погрешность средства измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к результату измерений или к действительному значению измеренной физической величины [1]. Однако на практике указанное определение относительной погрешности не используется применительно к средствам измерения, поскольку при прохождении всего диапазона измерительной шкалы прибора относительная погрешность будет меняться в диапазоне $[0; \infty]$. Для устранения этого непостоянства относительной погрешности у измерительных средств вводится понятие приведенной погрешности.

Приведенная погрешность средства измерений — относительная погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины, постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона [1]. Под условно принятым значением величины, как правило, понимается нормирующее значение X_N :

$$\gamma = \pm \frac{\Delta X}{X_N}. \quad (1.3.1)$$

Устанавливаемое нормирующее значение зависит от типа используемого средства измерения. Например, для приборов, за исключением электроизмерительных, с равномерными и степенными шкалами нормирующее значение устанавливается равным большему из пределов измерений, в ряде случаев нормирующее значение может быть указано в сопроводительной документации к средству измерений.

Как и в случае относительной погрешности, приведенную погрешность часто бывает удобно выражать в процентах:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta X}{X_N} \cdot 100\%. \quad (1.3.2)$$

1.2. Классификация погрешностей по характеру проявления

По характеру проявления принято выделять случайные погрешности, систематические погрешности и промахи. Все указанные виды погрешностей могут относиться как к погрешностям результата измерений, так и к погрешностям средства измерений.

Случайная погрешность измерений — составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью одной и той же ФВ [1]. Случайная погрешность характеризуется отсутствием какой-либо закономерности, проявляется себя как некий разброс получаемых результатов вблизи выделенного значения. Причиной возникновения случайных погрешностей измерений служит природное несовершенство объектов измерения и флуктуации условий измерения. Аналогично, применительно к измерительным установкам может быть введена *случайная погрешность средства измерений* — составляющая погрешности средства измерений, изменяющаяся случайным образом [1]. Причиной возникновения этих погрешностей является априорное несовершенство используемых средств измерений. Все случайные погрешности неизбежны и принципиально неустранимы, однако проведение многократных измерений и последующая математическая обработка результатов позволяет свести их влияние к минимуму.

Систематическая погрешность измерений — составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же ФВ [1]. Такого рода погрешности, как правило, обусловлены несовершенством методики измерений, неучтенными факторами, влияющими на ход измерений, либо индивидуальными особенностями оператора. *Систематическая погрешность средства измерений* — составляющая погрешности средства измерений, принимаемая за постоянную или закономерно изменяющуюся [1]. Эти погрешности возникают из-за различных приборных аномалий, таких, как неточность градуировки шкалы и недостаточность калибровки средства измерения. Важно

понимать, что систематическая погрешность, присущая конкретному прибору, в большинстве случаев будет отличаться от систематической погрешности другого прибора такого же типа, что позволяет рассматривать множество систематических погрешностей однотипных приборов как независимые случайные величины.

В отличие от случайных, систематические погрешности сохраняют свое значение или общую тенденцию изменения от одного измерения к другому и не могут быть устранены за счет многократного измерения одной и той же величины. В общем случае их влияние на конечный результат может быть минимизировано за счет введения поправок (значение величины, вводимое в неисправленный результат измерения с целью исключения составляющих систематической погрешности), калибровки или совершенствования методики измерения. Систематические погрешности могут быть предсказаны и исследованы перед началом измерений и практически полностью устранены за счет выбора подходящей методики. На рис. 1.2 показано типичное влияние на серию измерений случайной и систематической погрешности. Значения измеряемой ФВ показаны сплошной черной линией, истинное значение ФВ X_d — пунктиром. На графиках по оси абсцисс отложены номера серии результатов измерений, по оси ординат — измеренные значения. На рис. 1.2, а видно, что каждое i -ое измерение отстоит от X_d на некую случайную величину Δi , причем эти величины и знак Δi в целом случайны и не зависят друг от друга. На рис. 1.2, б к случайным погрешностям добавляется систематическая, что выражено в сдвиге всего множества измеренных значений на постоянную величину $\Delta_{\text{систем}}$.

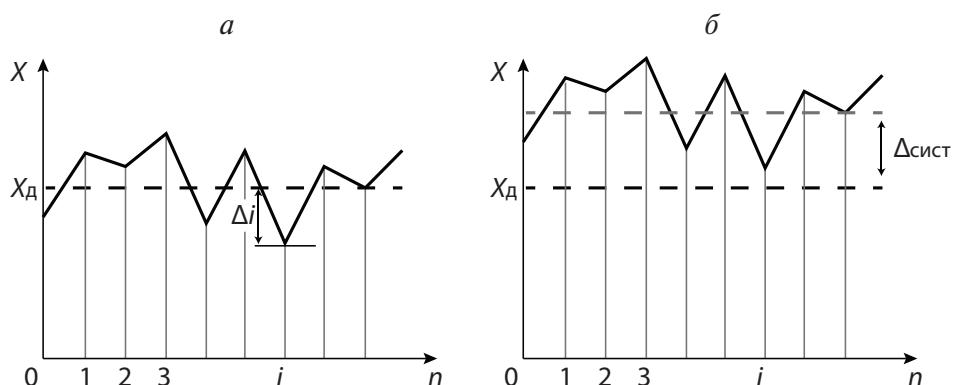


Рис. 1.2. Проявление случайной (а) и систематической (б) погрешностей в ходе измерительной процедуры

Систематические погрешности, в свою очередь, могут по характеру проявления подразделяться на постоянные, прогрессивные, периодические и погрешности, изменяющиеся по сложному закону. *Постоянные погрешности* — погрешности, достаточно длительное время сохраняющие свое значение. Под длительным временем в данном случае понимается время выполнения измерительной процедуры. Это наиболее простые погрешности в плане их устранения, они встречаются чаще всего. *Прогрессирующие погрешности* — погрешности, монотонно изменяющиеся по ходу одной или ряда измерительных процедур.

Иногда в литературе можно встретить термин «дрейфовая погрешность». Такого рода систематические погрешности возникают, например, при прогревании отдельных элементов электрической цепи, постепенном разряде батареи либо при планомерном изнашивающихся деталях механических приборов. Как правило, изменение во времени прогрессирующих погрешностей представляет собой случайный нестационарный процесс. Характерным признаком прогрессирующих погрешностей является то, что они могут быть скорректированы поправками только на данный временной промежуток. Впоследствии прогрессирующая погрешность может вновь непредсказуемо измениться. *Периодические погрешности* — погрешности, значения которых являются периодической функцией времени, или перемещения указателя измерительного прибора [1]. Примером таких погрешностей могут служить систематические погрешности, возникающие при суточных колебаниях температуры окружающей среды, питания электросети, магнитного поля Земли. Обычно эти погрешности встречаются в угломерных приборах с круговой шкалой. *Погрешности, изменяющиеся по сложному закону*, — это погрешности, возникающие вследствие совместного действия нескольких типов систематических погрешностей.

Кроме того, систематические погрешности можно классифицировать по причинам возникновения (рис. 1.3).

Инструментальная погрешность измерения — составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений [1]. Иногда этот тип систематической погрешности называют аппаратной. Как следует из определения, инструментальная погрешность определена несовершенством свойств прибора, используемого в ходе измерений, и относится к погрешностям средства измерения. В основе причин возникновения такого рода погрешно-

стей лежат разнообразные неустранимые факторы, являющиеся следствием неидеальности материального мира: естественное запаздывание сигнала во времени, внутреннее сопротивление элементов, различные шумы в цепи электропитания и т. д. Инstrumentальные погрешности всегда исследуются на завершительном этапе создания средства измерений и заносятся в сопроводительную документацию к прибору в виде классов точности и различных поправочных коэффициентов. В свою очередь, инstrumentальные погрешности разделяются на основные и дополнительные погрешности.

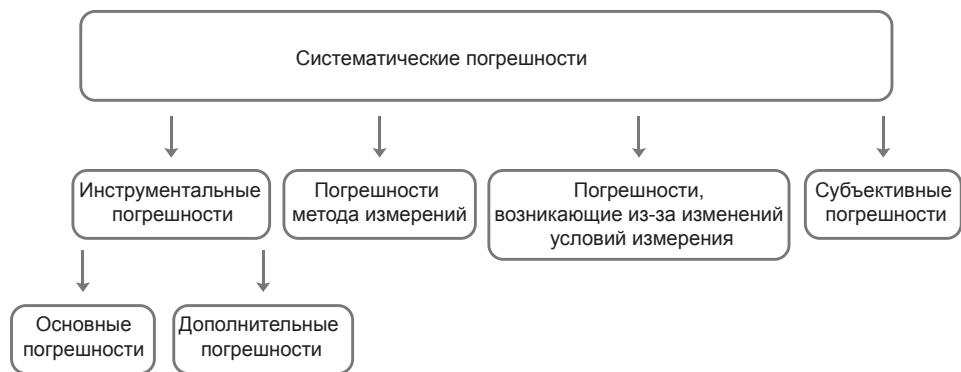


Рис. 1.3. Классификация систематических погрешностей

Основная погрешность средства измерений — погрешность средства измерений, применяемого в нормальных условиях [1]. Эта погрешность заносится в документацию к прибору, причем предел заданной основной погрешности выполняется только при условии эксплуатации прибора в определенных, заранее установленных условиях. Нормальные условия также определяются сопроводительной документацией к прибору; как правило, они подразумевают выполнение в ходе измерений следующих условий:

- температура окружающей среды $20 (\pm 5) ^\circ\text{C}$;
- относительная влажность $60 (\pm 15) \%$;
- напряжение питания сети $220,0 (\pm 4,4) \text{ В}$;
- частота питания сети $50 (\pm 1) \text{ Гц}$;
- отсутствие внешних электрических и магнитных полей;
- положение прибора горизонтальное, в пределах $(\pm 2)^\circ$.

В случае если нормальные условия эксплуатации при измерении нарушаются, к основной погрешности средства измерения добавля-

ется дополнительная. *Дополнительная погрешность средства измерений* — составляющая погрешности средства измерений, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или ее выхода за пределы нормальной области значений [1]. Этот вид погрешности также исследуется на этапе конструирования прибора и задается в виде поправочных коэффициентов. Как правило, дополнительную погрешность принято выражать в долях от основной. Например, пусть для барометра номинальное значение измеренного давления при нормальной температуре составляет $\hat{X} = X + 0,01\Delta X$, где X — показания по приборной шкале. При этом коэффициент 0,01 будет характеризовать основную погрешность барометра. При увеличении температуры на 10°C от нормального значения необходимо вводить дополнительную погрешность как функционал следующего вида:

$$\Delta X_{\text{доп}} = X \left(\frac{T}{T_{\text{норм}}} - 1 \right),$$

где T — значение температуры в условиях проведения измерения; $T_{\text{норм}}$ — нормальная температура для данного барометра, указываемая в сопроводительной документации.

Таким образом, итоговая форма записи результата измерения давления барометром в условиях повышения температуры окружающей среды на 10°C от нормального значения будет следующей:

$$\hat{X} = X + 0,01\Delta X + X \left(\frac{T}{T_{\text{норм}}} - 1 \right).$$

Величины значений инструментальных погрешностей ограничиваются сверху пределом. *Предел допускаемой погрешности* — наибольшее значение погрешности средств измерений, устанавливаемое нормативным документом для данного типа средств измерений, при котором оно еще признается годным к применению [1]. В случае превышения заданного предела измерительное средство признается непригодным для использования в рамках данного класса точности. Инструментальные погрешности в зависимости от конструктивных особенностей прибора могут быть выражены абсолютными, относительными или приведенными погрешностями.

Следующий тип систематической погрешности относится к методике проведения измерительной процедуры. *Погрешность метода измерений* — составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений [1]. В ряде случаев такую погрешность называют теоретической. Как следует из названия, этот тип погрешности определяется исключительно самой постановкой измерительного акта. Параметры измерительной погрешности в принципе не могут быть занесены в сопроводительную документацию средства измерений, и оператор должен определять их самостоятельно для каждой конкретной измерительной процедуры. Причины возникновения погрешности метода измерений могут быть следующими:

- несоответствие принятой математической модели объекта параметрам измерения (например, попытка измерить диаметр цилиндрической детали, если ее сечение имеет выраженную эллиптическую форму);
- некорректный способ использования средства измерения (например, измерение напряжения с помощью вольтметра с конечным результатом внутреннего сопротивления; в этом случае вольтметр будет шунтировать участок цепи, и измеренное напряжение окажется меньше фактического значения);
- чрезмерное упрощение алгоритмов и формул, используемых для вычисления результатов измерений — часто вследствие этого возникают существенные систематические погрешности, которые приходится устранять с помощью введения поправок (например, на практике для нелинейной калибровочной зависимости часто используется кусочно-линейная аппроксимация, что приводит к смещению реперных значений на шкале прибора);
- прочие факторы, относящиеся к методологии измерения.

В ряде случаев погрешность метода измерений может проявлять себя как случайная.

Погрешность (измерения) из-за изменения условий измерения — составляющая систематической погрешности измерения, являющаяся следствием неучтенного влияния отклонения в одну сторону какого-либо из параметров, характеризующих условия измерений, от установленного значения [1]. Этот тип погрешности возникает из-за неучтенного или некорректно учтенного влияния какого-либо из параметров условий эксплуатации средства измерений. Например, в ходе измере-

ний параметров электрической цепи произошло изменение характеристик внешнего магнитного поля, что привело к завышению показаний прибора.

Субъективная погрешность — составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная индивидуальными особенностями оператора [1]. Иногда в литературе этот вид погрешности называют личной. Возникновение этого типа погрешности связано с индивидуальными особенностями оператора, несовершенством человеческих органов чувств, эргономическим свойствами средств измерений. Чаще всего она проявляется при измерениях, в которых отсутствуют шкалы, например, фотометрические измерения или определение высот рельефа при фотограмметрической обработке стереопар. Частным случаем субъективной погрешности является *погрешность отсчитывания* — составляющая систематической погрешности измерения, вызванная недостаточно точным отсчитыванием показаний измерительной шкалы прибора. Для устранения субъективной погрешности проводится сертификация оператора с целью выявления его индивидуальных особенностей и последующего формирования поправки к измерениям.

В общем, деление погрешностей на случайные и систематические часто носит условный характер, зависящий от разнообразных обстоятельств измерения. Так, ошибка округления чисел в разной постановке измерительной задачи может проявлять себя как случайная, так и систематическая. Помимо случайных и систематических погрешностей в ходе измерения операторы могут сталкиваться с промахами. *Промах* — погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда [1]. Иногда промах называют грубой погрешностью. Как правило, промах возникает вследствие ошибки оператора (неправильное снятие отсчета по измерительной шкале, ошибочная интерпретация используемых в ходе измерения мер, неверное использование самого средства измерений и т. п.) либо сбоя самого измерительного процесса (падение питания в электрической сети, неисправности в аппаратуре). Исправление промаха за счет применения математических методов невозможно, такие погрешности должны быть выявлены теми или иными методами из общего ряда наблюдений и исключены.

На рис. 1.4 приведена зависимость напряжения на элементе электрической цепи от силы тока, на которой хорошо виден промах — как резко отстоящее от общего ряда значение.

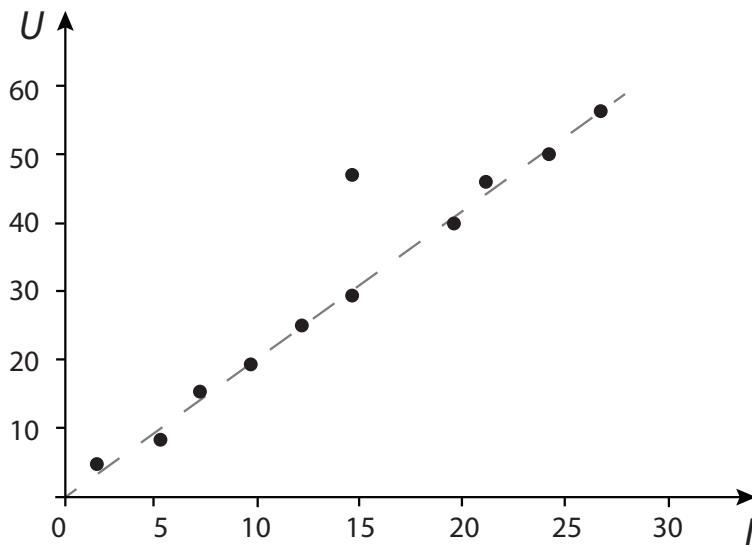


Рис. 1.4. Наличие промаха в серии измерений

1.3. Классификация погрешностей по влиянию характера изменения измеряемой величины

Этим способом классифицируются погрешности средства измерений, когда речь идет о двух возможных режимах работы прибора: статическом и динамическом. *Статическая погрешность средства измерений* — погрешность средства измерений, применяемого при измерении ФВ, принимаемой за неизменную [1]. Поскольку большая часть измерений направлена на определение неизменных параметров ФВ, этот вид погрешности встречается чаще всего.

Динамическая погрешность средства измерений — погрешность средства измерений, возникающая при измерении изменяющейся (в процессе измерений) ФВ [1]. Такие погрешности возникают из-за несогласования реакции приемлемого средства измерения на скорость изменения измеряемого параметра ФВ. Это приводит к тому, что возникает необходимость учета изменения измеряемой ФВ за время проведения измерения. Примером измерения, при проведении которого необходимо учитывать динамическую составляющую погрешности, является регистрация переменного сигнала. Для расчета величины динамической погрешности необходим учет характера изменения входной измеряемой ФВ.

Как статистические, так и динамические погрешности могут представлять собой сумму случайной и систематической составляющих погрешностей. При использовании одного и того же средства измерения в разных условиях погрешность средства измерений может проявлять себя и как статистическая, и как динамическая, т. е. она в большей степени подобна погрешности метода измерений.

2. Классы точности средств измерений

Классы точности приборов определяют по зависимости абсолютной погрешности от значения измеряемой ФВ (см. рис. 1.1). *Класс точности средств измерений* — обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемы основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность [1]. Класс точности выражается основной инструментальной погрешностью и дополнительной, а также нормальными условиями эксплуатации прибора. В зависимости от значения измеряемой величины абсолютные погрешности делятся на аддитивные, мультипликативные и нелинейные (рис. 1.5).

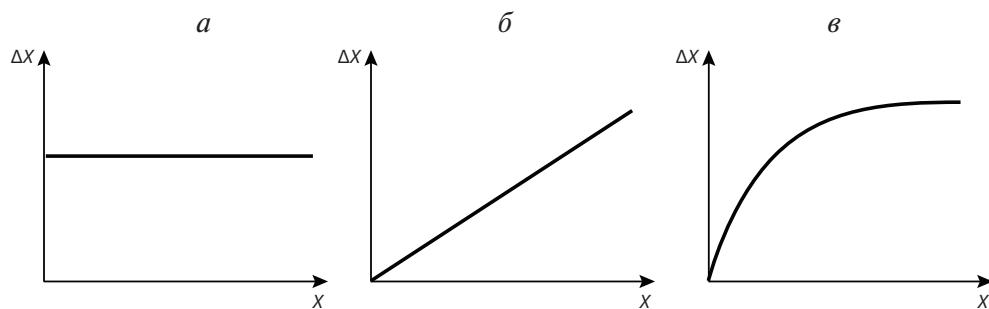


Рис. 1.5. Зависимость абсолютных погрешностей от значения измеряемой ФВ X :

а — аддитивные; *б* — мультипликативные; *в* — нелинейные

Рассмотрим более подробно аддитивные и мультипликативные погрешности как наиболее часто проявляющиеся в средствах измерений. *Аддитивные абсолютные погрешности* — погрешности, не зависящие от значения измеряемой ФВ и остающиеся постоянными на всем диапазоне измерений. Иногда такую погрешность называют погрешностью нуля. Примерами аддитивной погрешности являются погреш-

ность оцифровки и всевозможные шумы и помехи в электрических цепях. Как правило, такого рода погрешности свойственны аналоговым приборам. В случае если для конкретного средства измерений преобладает аддитивная погрешность, то класс точности задается в виде приведенной погрешности средства измерения отстраненным числом p . Это означает, что при измерениях приведенная погрешность прибора, рассчитанная по формуле (1.3.2), по модулю не должна превышать величину p в процентах. Само число p выбирается из ряда $(1,0; 1,5; 2; 2,5; 4,0; 5,0; 6,0) \cdot 10^n$, где $n = 1, 0, -1, -2$ [2; 3]. Пример лицевой панели прибора с аддитивной погрешностью приведен на рис. 1.6.

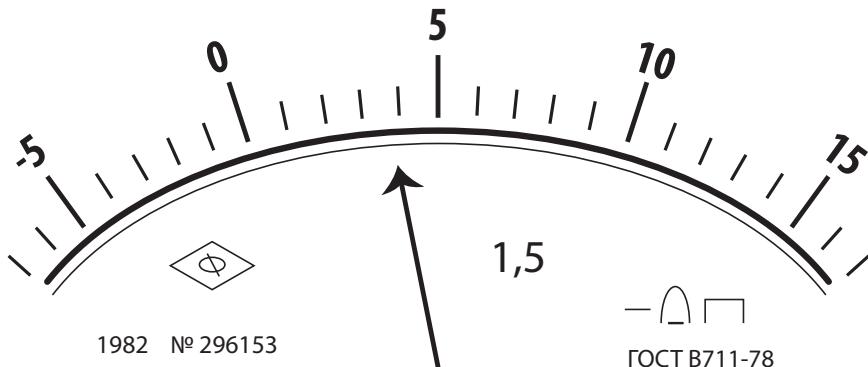


Рис. 1.6. Лицевая панель амперметра класса точности 1,5

Отдельным пунктом стоит вопрос выбора нормирующего значения X_N для корректного расчета погрешности. Основополагающую роль в этом вопросе играет вид шкалы прибора. Для равномерной шкалы, почти равномерной или шкалы со степенным значением, X_N принимают равным:

- конечному значению диапазона измерений, если нулевая отметка находится на краю или вне шкалы;
- большему из пределов диапазона измерений (без учета знака), если нулевая отметка находится внутри диапазона измерений.

Иключение составляют электроизмерительные приборы, в этом случае за величину нормирующего значения принимается сумма модулей пределов измерений. Если шкала прибора существенно нерав-

номерна, то в качестве X_N принимается вся длина шкалы либо та ее часть, которая соответствует диапазону измерений. В этом случае число p снизу заключается в галочку. Пример лицевой панели с существенно неравномерной шкалой приведен на рис. 1.7.

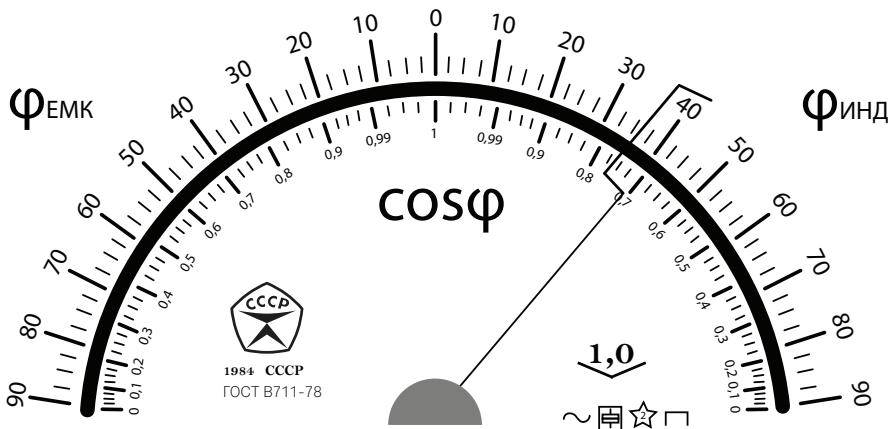


Рис. 1.7. Лицевая панель фазометра класса точности 1,0
с существенно неравномерной шкалой

В особых случаях величина нормирующего значения указывается отдельным пунктом в документации к средству измерений; нормирующее значение также может быть обозначено в рекомендациях Международной организации законодательной метрологии, относящихся к соответствующим видам средств измерения.

Мультипликативные абсолютные погрешности — погрешности, возрастающие с ростом измеряемой ФВ по линейной зависимости. Примером мультипликативной погрешности являются неточности добавочного резистора в конструкции вольтметра, наличие шунта в амперметре, а также нелинейность коэффициента делителя в электроприборах. Поскольку мультипликативная абсолютная погрешность растет прямо пропорционально измеряемой ФВ, то относительная погрешность средства измерения будет оставаться постоянной, и для выражения класса точности целесообразно использовать выражение (1.2.2). В этом случае класс точности на шкале прибора задается отвлеченным числом p , заключенным в кружок. Пример лицевой панели прибора с мультипликативной погрешностью приведен на рис. 1.8.

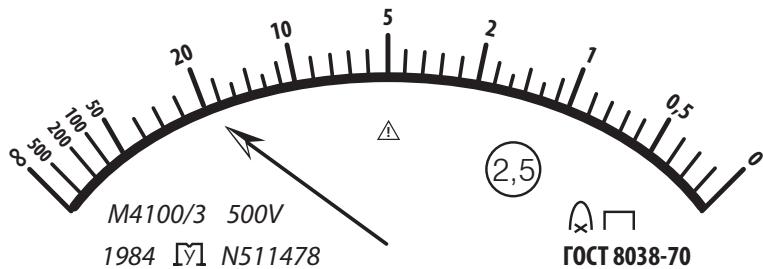


Рис. 1.8. Лицевая панель мегаомметра класса точности 2,5

В ряде случаев в основную погрешность средства измерений вносят приблизительно равный вклад как аддитивная, так и мультипликативная погрешности. К таким приборам относятся цифровые приборы, различные мосты и компенсаторы. В этом случае класс точности задается в виде двух отвлеченных чисел c и d , разделенных косой чертой, причем $c > d$. Тогда относительная погрешность будет рассчитываться как

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{X_k}{X} \right) - 1 \right] \%, \quad (1.4)$$

где X_k — максимальное из пределов измерения; c — мультипликативная составляющая погрешности; d — аддитивная составляющая. Правила для задания чисел c и d совпадают с правилами для задания числа p [3]. Пример лицевой панели прибора с равновесными аддитивной и мультипликативной погрешностями приведен на рис. 1.9.

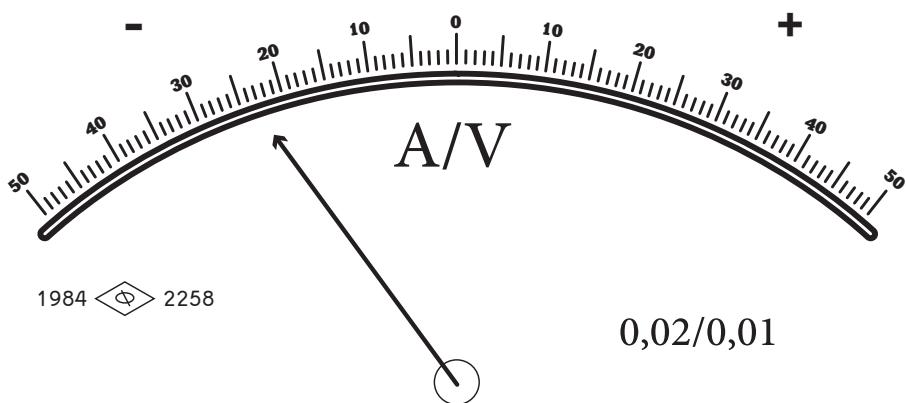


Рис. 1.9. Лицевая панель ампервольтметра класса точности 0,02/0,01

В ряде случаев погрешность средств измерений удобно задавать в виде абсолютных значений. Если погрешность является аддитивной, то ее допустимый предел задается выражением

$$\Delta = \pm a, \quad (1.5)$$

где a — положительное число, не зависящее от значения измеряемой ФВ. Если же погрешность является суммой аддитивной и мультипликативной составляющих, то ее допустимый предел задается выражением

$$\Delta = \pm(a + bX), \quad (1.6)$$

где a, b — положительные числа, не зависящие от значения измеряемой ФВ.

Классы точности средств измерений с такого рода пределами допускаемых погрешностей обозначаются заглавными латинскими буквами (L, M, C). Допускается присоединять индексы в виде арабских или римских цифр. Приборам с более высокой точностью присваиваются буквы в начале алфавита.

В табл. 1.2 приведены методы построения допустимых погрешностей средств измерений для разных случаев, а также примеры обозначения классов точности. В случае нелинейной зависимости абсолютной погрешности от значения измеряемой ФВ (см. рис 1.5, в) пределы погрешностей задаются в виде таблиц или функций, аппроксимирующих эту зависимость [3].

Таблица 1.2

Классы точности средств измерений

Формула для определения пределов допускаемой погрешности	Примеры пределов допускаемой основной погрешности	Обозначение	
		В документации	На лицевой панели прибора
Абсолютная погрешность средства измерения			
$\Delta = \pm a$	$\Delta = \pm 2 \text{ Гц}$	Класс точности M	M
$\Delta = \pm(a + bX)$	$\Delta = \pm(2 + 0,5f) \text{ Гц}$	Класс точности L	L

Окончание табл. 1.2

Формула для определения пределов допускаемой погрешности	Примеры пределов допускаемой основной погрешности	Обозначение	
		В документации	На лицевой панели прибора
Относительная погрешность средства измерения			
$\delta = \pm \frac{\Delta}{X} \cdot 100 \% = \pm p \%$	$\delta = \pm 1,0 \%$	Класс точности 1,0	(1,0)
$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{X_k}{X} \right) - 1 \right] \%$	$\delta = \pm \left[0,5 + 0,02 \left(\frac{X_k}{X} \right) - 1 \right] \%$	Класс точности 0,5/0,02	0,5/0,02
Приведенная погрешность средства измерения			
$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100 \% = \pm p \%$	$\gamma = \pm 1,5 \%$	Класс точности 1,5	1,5
	$\gamma = \pm 0,5 \%$	Класс точности 0,5	0,5 ¹

3. Методы устранения постоянных систематических погрешностей

Как было сказано выше, систематическая погрешность представляет собой постоянную либо закономерно изменяющуюся составляющую погрешности измерения. К счастью, значительная часть систематических погрешностей по характеру своего поведения является постоянной, т. е. не меняет своего значения от измерения к измерению, что позволяет существенно упростить процедуру их устранения. Рассмотрим методы устранения постоянных систематических погрешностей, основанные на модификации методики измерения.

Метод замещений

В основе этого метода лежит идея замещения неизвестной величины с эталонной мерой таким образом, что в обоих случаях воздействие на средство измерений остается одним и тем же. Рассмотрим метод замещений на примере пружинных весов (рис. 1.10).

¹ Для приборов с существенно неравномерной шкалой.

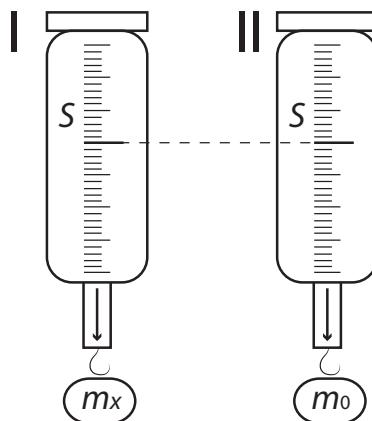


Рис. 1.10. Иллюстрация метода замещений на примере пружинных весов

На первом этапе на пружинные весы помещается тело неизвестной массы m_x и отмечается положение указателя S на приборной шкале. На втором этапе тело заменяется гирями эталонной массы m_0 таким образом, чтобы добиться прежнего положения указателя. Очевидно, при идентичном положении указателя будет выполняться условие равенства масс m_x и m_0 , при этом систематическая ошибка, обусловленная неточностью шкалы весов, будет устранена из конечного результата.

Метод противопоставления

В этом методе измерение выполняется дважды, причем таким образом, чтобы в обоих случаях причина возникновения постоянной погрешности появлялась в разных, но известных по своему влиянию закономерностях. Рассмотрим использование метода противопоставления на примере рычажных весов (рис. 1.11).

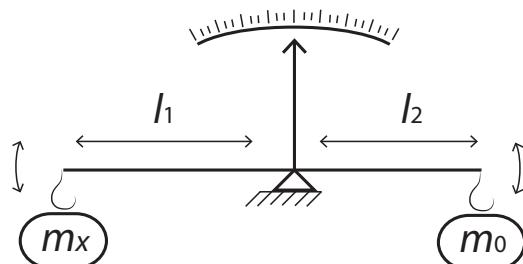


Рис. 1.11. Иллюстрация метода замещений на примере рычажных весов

Условием равновесия рычажных весов является $m_x \cdot l_1 = m_0 \cdot l_2$, где l_1, l_2 — длины плеч весов, m_x — масса взвешиваемого тела, m_0 — эталонная мера (гиря). В этом случае выражением для нахождения неизвестной массы будет $m_x = \frac{m_0 \cdot l_2}{l_1}$, однако вследствие неизделиности конструкции длины плеч весов могут оказаться не равными друг другу, тогда в процессе взвешивания будет возникать систематическая ошибка величиной $m_0 \left(\frac{l_2}{l_1} - 1 \right)$. Для ее исключения процедура

измерения проводится следующим образом. На первом этапе тело неизвестной массы уравновешивается эталонной мерой m_{01} , при этом справедливо условие равновесия $m_x \cdot l_1 = m_{01} \cdot l_2$. На втором этапе тело перемещается на другую чашу и уравновешивается уже эталонной массой m_{02} . В этом случае справедливо условие равновесия $m_x \cdot l_2 = m_{02} \cdot l_1$. Из двух условий равновесия масса неизвестного тела находится как $m_x = \sqrt{m_{01} \cdot m_{02}}$, т. е. она определяется исключительно величинами эталонных мер и не зависит от параметров средства измерения.

Метод компенсации по знаку

Этот метод заключается в двукратном проведении измерения таким образом, чтобы систематическая погрешность входила в итоговый результат измерения на первом этапе с одним знаком, а на втором этапе — с противоположным. Примером его реализации служат геодезические измерения, когда измерения координат точки в вертикальной плоскости проводят в два приема, причем на втором этапе круг алидады переворачивается. За счет этого ошибки отклонения оси прибора от вертикали на величину Θ , приводящей к смещению по шкале, возникает с противоположными знаками (рис. 1.12).

В этом случае результат измерения рассчитывается как среднее арифметическое измерений первого и второго приема:

$$X = \frac{X_1 + X_2}{2} = \frac{(X + \Theta) + (X - \Theta)}{2},$$

где Θ — величина систематической погрешности, обусловленная отклонением оси прибора от вертикального положения.

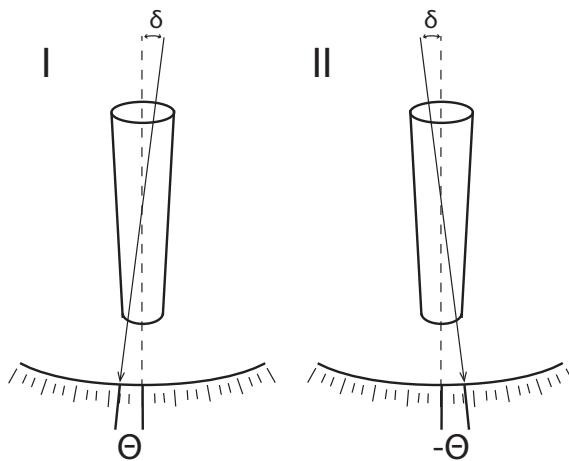


Рис. 1.12. Метод замещений на примере измерения теодолитом вертикального угла

Метод рандомизации

Этот метод является наиболее универсальным способом устранения систематических погрешностей измерений. В его основе лежит независимость случайных погрешностей, свойственных однотипным, но разным средствам измерения. Принцип метода рандомизации заключается в следующем. Одна и та же величина многократно измеряется на разных однотипных приборах, каждый из которых обладает своей систематической погрешностью. Поскольку множество систематических погрешностей состоит из независимых элементов, они могут быть рассмотрены как случайные погрешности. В этом случае их можно обработать с применением аппарата математической статистики, что сведет их влияние на итоговый результат к минимуму.

Метод математической обработки результатов измерений при использовании метода рандомизации определяется количеством приборов. В случае если приборов более десяти, то при заданном уровне доверительной вероятности ответ записывается как

$$X(P) = \bar{X} \pm z_p \frac{S_x}{\sqrt{n}}, \quad (1.7)$$

где P — уровень доверительной вероятности; \bar{X} — среднеарифметическое значение результатов измерений величины на разных средствах измерения; z_p — коэффициент Z -распределения, зависящий от вели-

чины P ; n — количество использованных приборов, S_x — среднеквадратическое отклонение величины X , определяемое как

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (X_i - \bar{X})^2}.$$

В случае если приборов от четырех до десяти, то при заданном уровне доверительной вероятности ответ записывается как

$$X(P) = \bar{X} \pm t_p \frac{S_x}{\sqrt{n}}, \quad (1.8)$$

где t_p — коэффициент Стьюдента, зависящий от величины P и значения n .

Метод рандомизации представляет собой наиболее трудоемкий способ борьбы с систематическими погрешностями, однако в ряде случаев он оказывается самым эффективным, а зачастую и вообще единственным возможным способом увеличения точности измерений. Метод рандомизации используют при разработке новых эталонных мер: в этом случае образец последовательно исследуется в разных организациях на разных приборах, а затем полученные результаты сводят в единую базу данных.

4. Погрешности косвенных измерений

Существует огромное количество способов проведения измерительной процедуры. Одна из базовых классификаций измерений делит их по способу получения результатов на прямые и косвенные.

Прямое измерение — измерение, при котором искомое значение ФВ получают непосредственно [1]. При прямом измерении исследуемая ФВ сравнивается с мерой напрямую как таковая или посредством приборов, градуированных в необходимых единицах. Примерами прямых измерений являются измерение длины штангенциркулем, массы — весами, величины напряжения — вольтметром и т. д.

Часто прямые измерения некоторых ФВ провести невозможно либо чересчур трудоемко. Например, не существует измерительных приборов, с помощью которых можно было бы определить площадь или плотность. В таких случаях используются косвенные измерения. *Косвенное измерение* — определение искомого значения ФВ на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной [1]. Примерами косвенных измерений являются вычисление объема параллелепипеда через изме-

рение длин его сторон, вычисление сопротивления участка цепи через измерение величины падения напряжения и т. д. В силу распространенности косвенных измерений необходимо исследовать вопрос учета погрешности конечного результата.

Предположим, что с помощью косвенных измерений необходимо определить величину Y , зависящую от величин $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, каждая из которых измеряется напрямую [4]:

$$Y = Y(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n). \quad (1.7)$$

Каждая из полученных величин X_i , измеренных напрямую, будет отягощена абсолютной погрешностью ΔX_i . Поскольку величины абсолютных погрешностей, как правило, составляют несколько процентов от значений измеряемых величин, то для $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ справедливы следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \Delta X_1 &\ll |X_1| \\ \Delta X_2 &\ll |X_2| \\ &\dots \\ \Delta X_n &\ll |X_n|. \end{aligned} \quad (1.8)$$

Примем абсолютные погрешности $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ за малые приращения измеряемых величин:

$$\begin{aligned} \Delta X_1 &\approx dX_1 \\ \Delta X_2 &\approx dX_2 \\ &\dots \\ \Delta X_n &\approx dX_n. \end{aligned} \quad (1.9)$$

Продифференцируем величину Y по каждой из переменных X_1, X_2, \dots, X_n :

$$dY = \left| \frac{\partial Y}{\partial X_1} \right| \cdot dX_1 + \left| \frac{\partial Y}{\partial X_2} \right| \cdot dX_2 + \dots + \left| \frac{\partial Y}{\partial X_n} \right| \cdot dX_n. \quad (1.10)$$

Тогда, с учетом (1.9) величина dY будет соответствовать значению абсолютной погрешности Y , а каждое из слагаемых $\left| \frac{\partial Y}{\partial X_i} \right| \cdot dX_i$ будет отвечать за погрешность, вносимую в значение dY величиной X_i .

Таким образом, чтобы найти зависимость погрешности результата косвенного измерения от погрешностей зависимых величин, необходимо взять частую производную по каждой из переменных и умножить ее на абсолютную погрешность соответствующей величины. Взятие частой производной по X_i выполняется обычным способом при условии, что все прочие аргументы функции Y постоянны и равны своему среднему значению.

В табл. 1.3 приведены правила расчета погрешностей косвенных измерений для ряда типичных функциональных зависимостей. Величина $\delta Y = \frac{\Delta Y}{Y}$ соответствует относительной погрешности Y .

Таблица 1.3

Расчет погрешностей косвенных измерений
для ряда простейших функциональных зависимостей

№	$Y = Y(X_1 \dots X_n)$	ΔY	$\delta Y = \frac{\Delta Y}{Y}$
1	$Y = X_1 + X_2$	$\Delta X_1 + \Delta X_2$	$\frac{\Delta X_1 + \Delta X_2}{ X_1 + X_2 }$
2	$Y = X_1 - X_2$	$\Delta X_1 + \Delta X_2$	$\frac{\Delta X_1 + \Delta X_2}{ X_1 - X_2 }$
3	$Y = X_1 \cdot X_2$	$\Delta X_1 \Delta X_2 + \Delta X_2 \Delta X_1$	$\frac{\Delta X_1}{X_1} + \frac{\Delta X_2}{X_2} = \delta X_1 + \delta X_2$
4	$Y = X_1 / X_2$	$\frac{\Delta X_1 \Delta X_2 + \Delta X_2 \Delta X_1}{X_2^2}$	$\frac{\Delta X_1}{X_1} + \frac{\Delta X_2}{X_2} = \delta X_1 + \delta X_2$
5	$Y = X^n$	$ n \cdot X^{n-1} \cdot \Delta X$	$ n \cdot \frac{\Delta X}{X} = n \cdot \delta X$
6	$Y = \sqrt[n]{X}$	$\left \frac{1}{n} \right \cdot X^{\frac{1}{n}-1} \cdot \Delta X$	$\left \frac{1}{n} \right \cdot \frac{\Delta X}{X} = \frac{1}{n} \cdot \delta X$

В табл. 1.3 необходимо обратить внимание на два момента, выражают ющих природу погрешностей измерений. Во-первых, как при сложении двух независимых величин, так и при вычитании одной из другой

абсолютные погрешности результата будут равны сумме абсолютных погрешностей исходных величин. Аналогичное правило распространяется на случаи перемножения и деления двух независимых величин — тогда относительные погрешности результата будут равны сумме относительных погрешностей исходных величин. Во-вторых, при разности двух независимых величин в знаменателе относительной погрешности стоит модуль разности этих величин. В случае если их значения близки, то модуль разности будет очень малой величиной, что приведет к существенному росту относительной погрешности измерений, поэтому на практике стараются избегать косвенных измерений такого типа.

Лабораторное задание

Необходимо произвести измерения параметров электрической цепи сопротивления R , индуктивности L , емкости C . Все измерения должны быть проведены на пяти различных приборах (приборы условные). По полученным значениям рассчитать добротность контура:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1.11)$$

и тангенса угла потерь:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1}{\omega CR}, \quad (1.12)$$

где ω — рабочая частота приложенного напряжения, равная 1 кГц.

Для всех полученных значений необходимо вычислить величины абсолютных погрешностей на основании классов точности приборов. Для величин добротности контура и тангенса угла потерь необходимо вычислить абсолютные погрешности с учетом правил косвенных измерений, для емкости C и индуктивности L — вычислить истинное значение с помощью метода рандомизации.

1. Измерение сопротивления, емкости, индуктивности, добротности, тангенса угла потерь

Студенту предложен радиоэлемент из фиксированных параметров сопротивления, емкости и индуктивности. Набор параметров должен быть последовательно измерен на пяти разных приборах измеритель-

ной установки, представленной на рис. 1.13. Переключение между приборами осуществляется с помощью клавиатуры, активность прибора характеризуется зеленым цветом индикатора.

На каждом из пяти приборов необходимо произвести измерения обозначенных параметров электрической цепи, измерение каждого из параметров необходимо произвести 2–3 раза. Если полученные значения приблизительно равны, то в качестве результата следует использовать среднее арифметическое. В противном случае процедуру необходимо повторить.

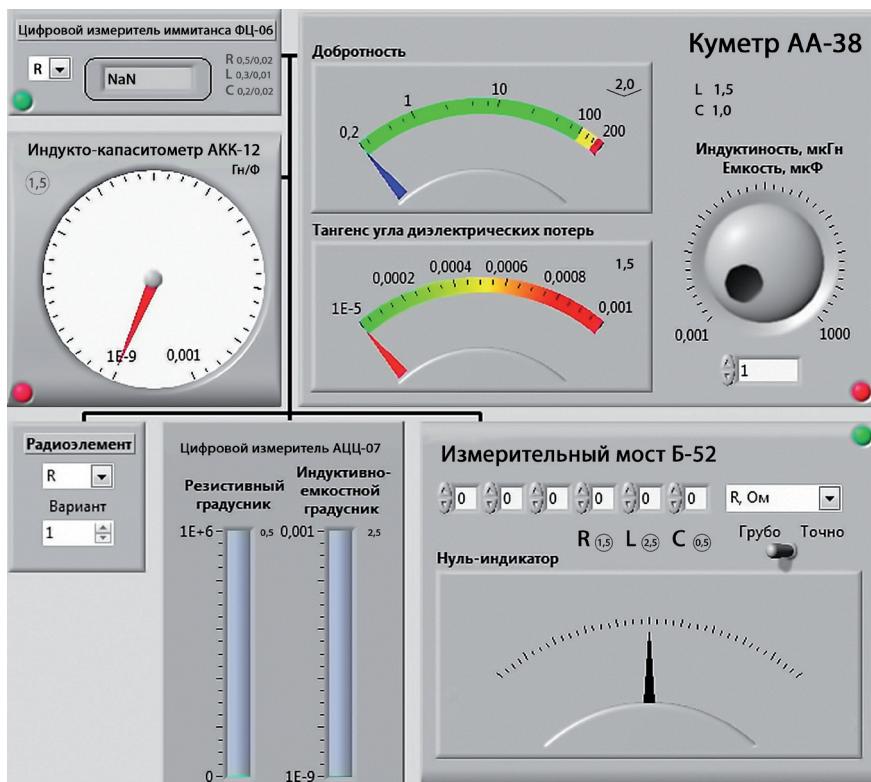


Рис. 1.13. Измерительная установка к выполнению лабораторной работы № 1

1.1. Измерение сопротивления, емкости и индуктивности с помощью цифрового измерителя иммитанса ФЦ-06

Цифровой измеритель иммитанса ФЦ-06 предназначен для измерения сопротивления, емкости и индуктивности. Внешний вид прибора приведен на рис. 1.14. Измерение происходит автоматически после выбора соответствующего параметра из выпадающего меню. Классы

точности и диапазон измерений представлены в табл. 1.4. Техническая схема прибора приведена в приложении 1.

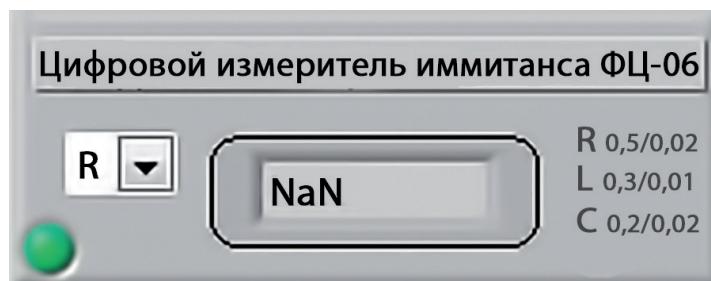


Рис. 1.14. Внешний вид цифрового иммитанса

Таблица 1.4

Основные характеристики цифрового измерителя иммитанса ФЦ-06

Значение/наименование характеристики	Сопротивление	Емкость	Индуктивность
Класс точности	0,5/0,02	0,3/0,01	0,2/0,02
Диапазон измерений	от 0 до 12 Ом	от 1 нФ до 1 мФ	от 1 нГн до 10 мГн

Необходимо произвести измерения сопротивления, емкости и индуктивности. На основании информации о классах точности рассчитать величины абсолютной погрешности для каждого из параметров. По формулам (1.11) и (1.12) рассчитать величины добротности контура и тангенса угла потерь и абсолютные погрешности.

Результаты занести в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Результаты измерений на цифровом измерителе иммитанса ФЦ-06

Параметр	R	L	C	$\text{tg}\delta_{\text{calc}}$	Q_{calc}
X					
ΔX					

1.2. Измерение сопротивления, емкости и индуктивности с помощью индукто-капаситометра АКК-12

Индукто-капаситометр АКК-12 предназначен для измерения емкости и индуктивности. Внешний вид прибора приведен на рис. 1.15. Измерение происходит автоматически после выбора соответствующего параметра из выпадающего меню. Классы точности и диапазон измерений представлены в табл. 1.6. Техническая схема прибора приведена в приложении 1.



Рис. 1.15. Внешний вид индукто-капаситометра АКК-12

Таблица 1.6

Основные характеристики индукто-капаситометра АКК-12

Значение/наименование характеристики	Емкость	Индуктивность
Класс точности	(5,0)	(5,0)
Диапазон измерений	от 1 нФ до 1 мФ	от 1 нГн до 10 мГн

Необходимо произвести измерения емкости и индуктивности. На основании информации о классах точности рассчитать величины абсолютной погрешности для каждого из параметров. По формулам (1.11) и (1.12) рассчитать величины добротности контура и тангенса угла потерь и абсолютные погрешности, сопротивление считать равным среднему, полученному с помощью других приборов. Результаты занести в табл. 1.7.

Таблица 1.7
Результаты измерений на индукто-капаситометре АКК-12

Параметр	L	C	$\operatorname{tg}\delta_{\text{calc}}$	Q_{calc}
X				
ΔX				

1.3. Измерение емкости, индуктивности, добротности и тангенса угла потерь с помощью куметра АА-38

Куметр АА-38 предназначен для измерения емкости, индуктивности, добротности и тангенса угла потерь. Внешний вид прибора приведен на рис. 1.16. Измерение происходит автоматически после выбора номера измеряемого параметра установочной ручкой. Классы точности и диапазон измерений представлены в табл. 1.8. Техническая схема прибора приведена в приложении 1.

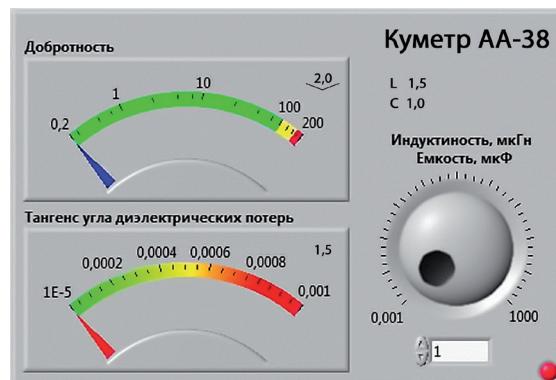


Рис. 1.16. Внешний вид куметра АА-38

Таблица 1.8

Основные характеристики куметра АА-38

Значение/наименование характеристики	Емкость	Индуктивность	Добротность	Тангенс угла потерь
Класс точности	(1,0)	(1,5)	2,0	1,5
Диапазон измерений	от 1 нФ до 1 мФ	от 1 нГн до 1 мГн	от 0 до 15 (нормирующее значение — половина диапазона)	от 0 до 4000 (нормирующее значение — половина диапазона)

Необходимо произвести измерения емкости, индуктивности, добротности, тангенса угла потерь. На основании информации о классах точности рассчитать величины абсолютной погрешности для каждого из параметров. По формулам (1.11) и (1.12) рассчитать величины добротности контура и тангенса угла потерь и абсолютные погрешности, сопротивление считать равным среднему, полученному с помощью других приборов. Результаты занести в табл. 1.9. Сравнить измеренные значения тангенса угла потерь и добротности с рассчитанными теоретически.

Таблица 1.9

Результаты измерений на кумете АА-38

Параметр	L	C	$\operatorname{tg}\delta$	Q	$\operatorname{tg}\delta_{calc}$	Q_{calc}
X						
ΔX						

1.4. Измерение сопротивления, ёмкости и индуктивности с помощью цифровом измерителя АЦЦ-07

Цифровой измеритель АЦЦ-07 предназначен для измерения сопротивления, ёмкости и индуктивности. Внешний вид прибора приведен на рис. 1.17. Измерение происходит автоматически после выбора соответствующего параметра из выпадающего меню.

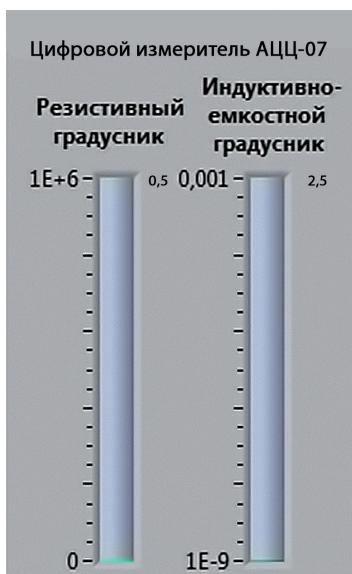


Рис. 1.17. Внешний вид цифрового измерителя АЦЦ-07

Классы точности и диапазон измерений представлены в табл. 1.10. Техническая схема прибора приведена в приложении 1.

Таблица 1.10

Основные характеристики цифрового измерителя АЦЦ-07

Значение/наименование характеристики	Сопротивление	Емкость	Индуктивность
Класс точности	5	(4)	(4)
Диапазон измерений	от 0 до 15 Ом	от 1 нФ до 1 мФ	от 1 нГн до 10 мГн

Необходимо произвести измерения сопротивления, емкости и индуктивности. На основании информации о классах точности рассчитать величины абсолютной погрешности для каждого из параметров. По формулам (1.11) и (1.12) рассчитать величины добротности контура и тангенса угла потерь и абсолютные погрешности. Результаты занести в табл. 1.11.

Таблица 1.11

Результаты измерений на цифровом измерителе АЦЦ-07

Параметр	R	L	C	$\operatorname{tg}\delta_{calc}$	Q_{calc}
X					
ΔX					

1.5. Измерение сопротивления, емкости и индуктивности с помощью измерительного моста Б-52

Цифровой измеритель АЦЦ-07 предназначен для измерения сопротивления, емкости и индуктивности. Внешний вид прибора приведен на рис. 1.18. Измерение происходит автоматически после выбора соответствующего параметра из выпадающего меню, ручка «грубо/точно» осуществлят переключение между пределами измерениями. Классы точности и диапазон измерений представлены в табл. 1.12. Техническая схема прибора приведена в приложении 1.



Рис. 1.18. Внешний вид измерительного моста Б-52

Таблица 1.12

Основные характеристики измерительного моста Б-52

Значение/наименование характеристики	Сопротивление	Емкость	Индуктивность
Класс точности	(1,5)	(0,5)	(2,5)
Диапазон измерений	от 0 до 130 Ом	от 1 нФ до 10 мФ	от 1 нГн до 50 мГн

Необходимо произвести измерения сопротивления, емкости и индуктивности. На основании информации о классах точности рассчитать величины абсолютной погрешности для каждого из параметров. По формулам (1.11) и (1.12) рассчитать величины добротности контура и тангенса угла потерь и абсолютные погрешности. Результаты занести в табл. 1.13.

Таблица 1.13

Результаты измерений на измерительном мосте Б-52

Параметр	R	L	C	$\operatorname{tg}\delta_{calc}$	Q_{calc}
X					
ΔX					

2. Расчет величин сопротивления, емкости, индуктивности с использованием метода рандомизации

Необходимо найти величины сопротивления, емкости и индуктивности на основании результатов из табл. 1.5, 1.7, 1.9, 1.11, 1.13 исследуемого элемента электрической цепи с помощью метода рандомизации. Алгоритм расчета включает в себя следующие пункты:

- оценка уровня доверительной вероятности;
- расчет среднеарифметического значения;
- расчет среднеквадратического отклонения;
- запись ответа с указанием уровня доверительной вероятности.

Структура отчета

Отчет должен содержать следующие данные:

- 1) цель лабораторной работы;
- 2) описание используемых приборов с указанием их основных характеристик, устройство и принцип работы;
- 3) заполненные таблицы 1.5, 1.7, 1.9, 1.11, 1.13;
- 4) результаты обработки измерений методом рандомизации;
- 5) выводы о работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое класс точности средства измерения?
2. Что такое промах?
3. Какие существуют типы систематических погрешностей?
4. Какие существуют методы устранения систематических погрешностей?
5. Какие существуют методы устранения случайных погрешностей?
6. Для чего при оценке погрешности средств измерений введено понятие приведенной погрешности?
7. Почему при однократных измерениях показания приборов снижают два — три раза, а не один?
8. Почему для существенно неравномерных шкал необходимо вводить отдельный тип класса точности средства измерения?
9. Что представляют собой косвенные измерения?

Список литературы для лабораторной работы № 1

1. РМГ 29–99. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2000. — 46 с.
2. ГОСТ 8.401–80. Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования. — М. : Издательство стандартов, 1986. — 82 с.
3. Международная рекомендация № 34. Классы точности средств измерений [Электронный ресурс]. — URL: http://www.fundmetrology.ru/depository/04_IntDoc_all/R_R_34.pdf.
4. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. — Л. : Энергоатомиздат, 1985. — 152 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Расчет величины статического коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером

Цель работы

Цель лабораторной работы № 2 включает в себя следующие аспекты:

- знакомство с принципом разделения (разбраковки) транзисторов по партиям;
- освоение процедуры измерения величины статистического коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером;
- освоение процедуры устранения промахов;
- изучение понятия классов точности приборов;
- освоение правил приема многократных измерений;
- освоение процедуры определения закона распределения результатов измерений;
- освоение процедуры оценки закона распределения по статистическим критериям;
- освоение методов определения доверительных интервалов случайной погрешности;
- освоение принципов записи результатов измерений.

Основные теоретические сведения

1. Принцип измерения статического коэффициента передачи тока биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером

Биполярный транзистор представляет собой трехэлектродный полупроводниковый прибор, состоящий из двух $p-n$ переходов. Исполь-

зуется в различных электронных устройствах в качестве усилителя электрических колебаний, также применяется как переключающий элемент в логических электронных схемах [1]. Устройство и схематическое обозначение биполярных транзисторов показано на рис. 2.1.

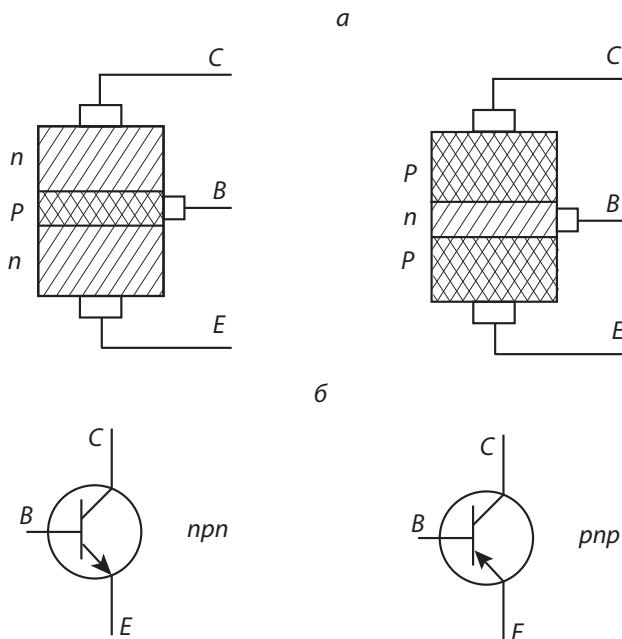


Рис. 2.1. Схема устройства (a) и обозначение биполярных транзисторов (б)

При включении биполярного транзистора в схему с общим эмиттером (рис. 2.2) входной сигнал подается в базу, а выходной — снимается с коллектора [2]. При этом каскад усиливает и ток, и напряжение, что позволяет получить наибольшее усиление по мощности.

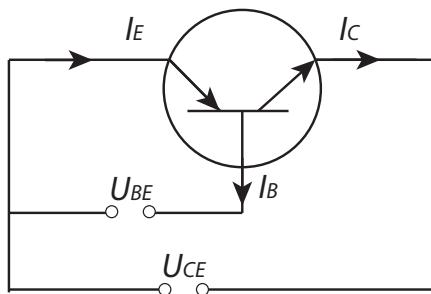


Рис. 2.2. Схема включения биполярного транзистора с общим эмиттером

Из рис. 2.2 видно, что для токов базы, эмиттера и коллектора справедливы следующие соотношения:

$$I_C = \alpha I_E,$$

$$I_E = I_B + I_C, \quad (2.1)$$

где α — коэффициент передачи тока эмиттера.

У большинства транзисторов коэффициент α принимает значение в диапазоне от 0,99 до 0,995. Из выражения (2.1) можно найти соотношение между током базы и током коллектора:

$$I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B = \beta I_B, \quad (2.2)$$

где β — статический коэффициента передачи тока. Поскольку коэффициент α принимает значения, близкие к единице, величина коэффициента β может быть очень велика. У отдельных типов транзисторов коэффициент β может доходить до 200.

Коэффициенты α и β определяются внутренними свойствами транзисторов. В силу малости размеров транзисторов при их изготовлении зачастую невозможно точно подобрать микропараметры, поэтому на практике их изготавливают с некоторым неизбежным разбросом параметров, а впоследствии разбивают на партии на основании измеренных значений коэффициентов α или β .

2. Обработка результатов многократных измерений

Под *многократным измерением* понимают измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т. е. состоящее из ряда однократных измерений [3]. В задачу нахождения истинного значения по многократным измерениям входят оценка измеряемой величины и нахождение интервала, в который она попадает с заданным уровнем доверительной вероятности. Таким образом, исходными данными при обработке многократных измерений являются ряд измерений количеством n не менее четырех и уровень доверительной вероятности P . Для рядовых технических измерений рекомендуется использовать уровень доверительной вероятности $P = 0,95$; при измерениях, связанных с безопасностью жизнедеятельности, здоровьем человека и другими особо оговориваемыми ситуациями, уровень доверительной вероятности увеличивается до 0,99 и выше [4].

Обработка результатов измерений величин статистического коэффициента (далее — измеряемой величины) включает следующие этапы:

- расчет среднего значения и среднего квадратического отклонения измеряемой величины;
- исключение промахов;
- определение закона распределения результатов измерений;
- оценка закона распределения по статистическим критериям;
- определение доверительных интервалов случайной погрешности;
- определение границ неисключенной систематической погрешности результата измерений;
- определение доверительной границы погрешности результата измерения;
- запись результата измерения [5].

2.1. Расчет среднего значения и среднего квадратического отклонения измеряемой величины

В соответствии с [5] расчет среднего значения и среднего квадратического отклонения производится по формулам (2.3) и (2.4) соответственно:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (2.3)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}, \quad (2.4)$$

где \bar{X} — среднее значение измеряемой величины; S_x — среднее квадратическое отклонение измеряемой величины; n — количество измерений; X_i — i -ое измерение.

2.2. Исключение промахов

Как отмечалось в основных теоретических сведениях к лабораторной работе № 1, *промах* — погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда [3]. Наличие промаха в серии наблюдений может привести к существенному искажению итогового результата измерения, поэтому такого рода погрешности должны быть в обязательном порядке исключены из имеющейся выборки. Делается это с применением специальных критериев, основанных на методе статистической проверки [6]. Поскольку при точных

измерениях ошибки являются независимыми друг от друга, то закон распределения описывается нормальным распределением, что определяет алгоритмы выявления промахов. Рассмотрим наиболее распространенные из них.

Критерий «трех сигм»

В основе этого метода лежит предположение, что результат, возникающий в выборке с вероятностью менее 0,003, сомнителен, и его можно считать промахом. Для нормального распределения это эквивалентно тому, что «расстояние» между средним значением и подозрительным результатом составляет приблизительно три величины S_x (рис. 2.3).

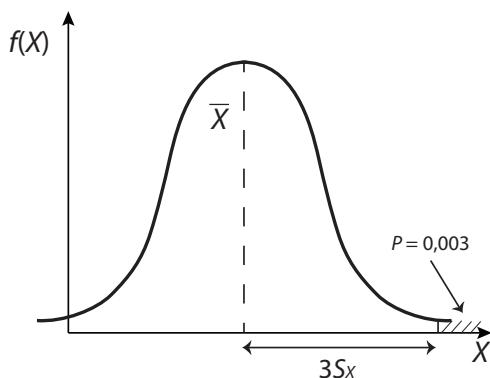


Рис. 2.3. Графическая иллюстрация критерия «трех сигм»

Алгоритм исключения промаха критерием «трех сигм» проводится следующим образом:

- 1) из выборки исключается подозрительное значение;
- 2) по формуле (2.3) рассчитывается среднее значение, по формуле (2.4) — среднеквадратическое отклонение;
- 3) проверяется условие $|\bar{X} - X_i| < 3S_x$, где X_i — подозрительный результат; если условие выполняется, то X_i не считается промахом, в противном случае X_i является промахом и исключается из выборки;
- 4) при необходимости процедура повторяется.

В общем случае критерий «трех сигм» считается надежным при объеме выборки от 20 до 50 элементов. Это достаточно жесткий метод, поэтому при большом объеме выборки используется критерий «четырех сигм».

Критерий Романовского

Этот критерий применяется при объеме выборки меньше 20 элементов. Алгоритм исключения промаха критерием Романовского проводится следующим образом:

- 1) из выборки исключается подозрительное значение;
- 2) по формуле (2.3) рассчитывается среднее значение, по формуле (2.4) — среднеквадратическое отклонение;
- 3) рассчитывается коэффициент $\beta_{calc} = |X_i - \bar{X}| / S_x$, затем полученное значение сравнивают с табличным β_{tab} при заданном уровне доверительной вероятности; значения табличных коэффициентов приведены в табл. 2.1;
- 4) если выполняется условие $\beta_{calc} \geq \beta_{tab}$, то подозрительное значение считается промахом и исключается из результатов, в противном случае подозрительный результат сохраняют;
- 5) при необходимости процедура повторяется.

Таблица 2.1

Табличные значения коэффициента β_{tab}

P	$n = 4$	$n = 6$	$n = 8$	$n = 10$	$n = 12$	$n = 15$	$n = 20$
0,99	1,73	2,16	2,43	2,62	2,75	2,90	3,08
0,98	1,72	2,13	2,37	2,54	2,66	2,80	2,96
0,95	1,71	2,10	2,27	2,41	2,52	2,64	2,78
0,90	1,69	2,00	2,17	2,29	2,39	2,49	2,62

Вариационный критерий Диксона

Этот метод показывает высокую надежность для выборки объемом менее десяти элементов. Алгоритм исключения промаха вариационным критерием Диксона проводится следующим образом:

- 1) из выборки исключается подозрительное значение;
- 2) результаты ранжируются от минимального значения к максимальному;
- 3) по формуле (2.3) рассчитывается среднее значение, по формуле (2.4) — среднеквадратическое отклонение;
- 4) в случае если подозрительное значение превосходит наибольшее из выборки, рассчитывается коэффициент по формуле $Z_{calc} = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1}$, а если подозрительное значение оказывается мень-

ше, чем минимальное из выборки, то коэффициент рассчитывается по формуле $Z_{calc} = \frac{X_2 - X_1}{X_n - X_1}$. Полученное значение сравнивают с табличным Z_{tab} при заданном уровне доверительной вероятности (значения табличных коэффициентов приведены в табл. 2.2);

- 5) если выполняется условие $Z_{calc} \geq Z_{tab}$, то подозрительное значение считается промахом и исключается из результатов, в противном случае подозрительный результат сохраняют;
- 6) при необходимости процедура повторяется.

Таблица 2.2

Табличные значения коэффициента Z_{tab}

P	$n = 4$	$n = 6$	$n = 8$	$n = 10$	$n = 14$	$n = 16$	$n = 18$	$n = 20$	$n = 30$
0,99	0,89	0,70	0,59	0,53	0,45	0,43	0,41	0,39	0,34
0,98	0,85	0,64	0,54	0,48	0,41	0,39	0,37	0,36	0,31
0,95	0,76	0,56	0,47	0,41	0,35	0,33	0,31	0,30	0,26
0,90	0,68	0,48	0,40	0,35	0,29	0,28	0,26	0,26	0,22

После того, как устраниены промахи из результатов измерений и сформирована итоговая выборка, необходимо вновь рассчитать среднее значение и среднеквадратическое отклонение.

2.3. Определение закона распределения результатов

Решение задачи об установлении принадлежности к тому или иному закону распределения решается в несколько этапов. На первом этапе необходимо разбить множество полученных результатов измерений на k -равных интервалов. Число k определяется следующим образом:

$$k = 1 + [3,322 \cdot \lg n], \quad (2.5)$$

где n — количество выполненных измерений; квадратные скобки означают взятие целого.

Выражение (2.5) называется *правилом Стерджеса* — эмпирическим правилом расчета количества интервалов при обработке серии наблюдений случайных величин. Далее рассчитываются n_k — количество измерений, попадающих в каждый из интервалов. Величина n_k на-

зывается *частотой попадания* в k -ый интервал. Поскольку закон распределения остается постоянным для случайных чисел идентичной природы, при математической обработке удобно уйти от количества результатов измерений одной конкретной серии, т. е. нормировать их на общее количество результатов. Величина n_k/n называется *относительной частотой* результатов наблюдения k -го интервала. В этом случае сумма значений относительных частот по всем интервалам всегда будет равна единице. На основании полученных значений n_k/n строится *гистограмма* — зависимость относительной частоты попадания от значений результатов измерений (рис. 2.4).

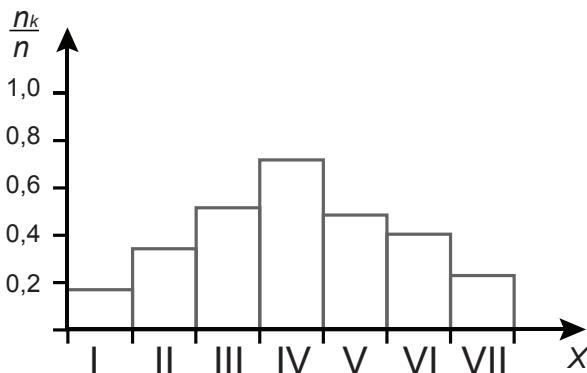


Рис. 2.4. Гистограмма, полученная для некой выборки из 100 измерений

На рис. 2.4 показана гистограмма, построенная на основе 100 измерений, соответственно, количество интервалов для нее будет равно семи. По оси абсцисс откладываются интервалы в порядке возрастания. Для удобства построения гистограммы допускается округлять крайние значения, причем минимальное значение должно быть округлено в меньшую сторону, максимальное — в большую. По оси ординат откладываются столбцы высотой в n_k/n . Площадь под каждым из столбцов будет пропорциональна числу наблюдений, приходящихся на данный интервал.

На следующем этапе строится *полигон* — ломаная кривая, соединяющая середины верхних оснований каждого из столбцов. Для крайних значений линия уходит на оси абсцисс в точку, соответствующую середине отрезка, равного длине интервалов гистограммы (рис. 2.5).

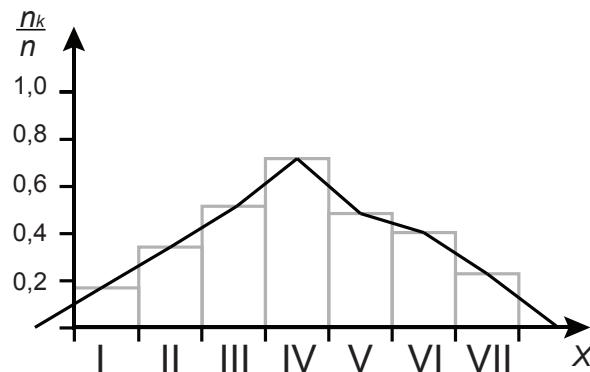


Рис. 2.5. Полягон, построенный для некой выборки из 100 измерений

Полигон более наглядно отражает распределение полученных результатов и позволяет сделать вывод о принадлежности к тому или иному семейству распределения кривых. Например, на рис. 2.5 распределение результатов измерений близко к нормальному.

Далее строится *кумулятивная кривая* — первообразная от гистограммы. Со статистической точки зрения кумулятивная кривая является оценочной величиной функции распределения. Кумулятивная кривая, построенная по гистограмме на рис. 2.4, показана на рис. 2.6.

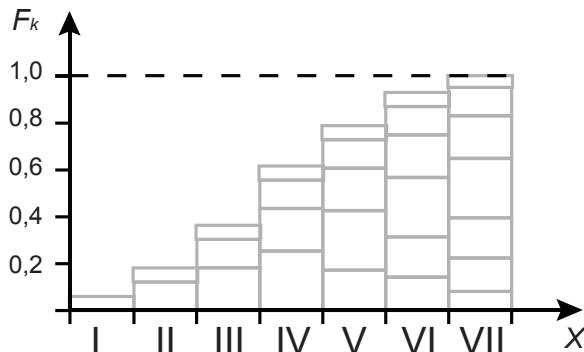


Рис. 2.6. Кумулятивная кривая, построенная по гистограмме на рис. 2.4

Для построения кумулятивной кривой необходимо по оси абсцисс на \$k\$-ом интервале отложить столбец высотой \$F_k = \sum n_j\$, где \$n_j\$ — все столбцы, лежащие левее \$k\$. Кумулятивная кривая позволяет уточнить форму распределения, аппроксимирующего выборку результатов измерений.

2.4. Оценка закона распределения по статистическим критериям

После того, как закон распределения измеряемой величины установлен, необходимо выполнить его проверку. Выбор статистического критерия осуществляется исходя из количества измерений. Если измерений больше 50, для идентификации закона распределения используется критерий Пирсона χ^2 (хи-квадрат) или критерий Мизеса — Смирнова (омега-квадрат). Если наблюдений меньше 50, но больше 10, применяется составной критерий (d -критерий). Если наблюдений меньше 10, принадлежность экспериментального распределения к одному из стандартных не проверяется. Решение принимается на основании анализа априорной информации.

Критерий согласия Пирсона χ^2 (хи-квадрат)

Этот критерий используется для проверки соответствия эмпирического распределения любому теоретическому распределению, причем в ряде случаев параметры теоретического распределения могут быть неизвестны. В связи с этим критерий согласия Пирсона является универсальным и, как следствие, наиболее часто используемым при многократных измерениях.

На первом этапе по результатам наблюдений строится гистограмма, причем количество интервалов l определяется количеством наблюдений n :

- если $n = 50$, то $l = 5\dots 8$;
- если $n = 100$, то $l = 10\dots 15$;
- если $n = 200$, то $l = 15\dots 20$;
- если $n = 400$, то $l = 25\dots 30$;
- если $n = 1000$, то $l = 35\dots 40$.

Интервалы, содержащие менее пяти наблюдений, допускается объединять с соседними.

Затем рассчитывается величина следующего вида:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^l \frac{(n_j - np_j)^2}{np_j}, \quad (2.6)$$

где l — количество интервалов после объединения; n_j — количество результатов измерений, соответствующее j -ому интервалу; p_j — вероятность попадания величины в j -ый интервал, рассчитанная согласно предполагаемому теоретическому распределению.

При вычислении p_j необходимо учитывать, что границы крайних интервалов имеющейся выборки должны совпадать с границами те-

оретического закона распределения, например, для нормального закона распределения эти интервалы будут равны $\pm \infty$.

Далее рассчитанная величина сравнивается с табличным значением, зависящем от уровня доверительной вероятности и количества интервалов l . Табличное значение можно найти в различных справочниках, посвященных статистическому анализу, например в [7] и [8]. Если выполняется условие $\chi^2 \leq \chi_{tab}^2$, то гипотеза о принадлежности выборки предполагаемому закону распределения считается верной.

Необходимо отметить, что критерий согласия Пирсона имеет один существенный недостаток — потерю части информации, обусловленной группировкой результатов и возможным объединением интервалов на начальном этапе.

Критерий Мизеса — Смирнова (ω^2)

Как и критерий согласия Пирсона, этот метод подходит для оценки распределения любого типа и считается достаточно надежным при объеме выборки более 15. На первом этапе все результаты измерений X_i располагаются в вариационном ряду от минимального значения к максимальному. Далее рассчитывается величина следующего вида:

$$\omega^2 = \left(\frac{1}{12n} + \sum_{i=1}^n (F(X_i) - W)^2 - \frac{0,4}{n} + \frac{0,6}{n^2} \right) \left(1 + \frac{1}{n} \right), \quad (2.7)$$

где n — количество наблюдений; $F(X_i)$ — значение теоретической функции распределения для результата измерения X_i ; W — накопленная частота, рассчитываемая как $W = \frac{2i-1}{2n}$.

Далее рассчитанная величина сравнивается с табличным значением, зависящим от уровня доверительной вероятности и количества результатов наблюдения n . Табличное значение можно найти в различных справочниках, посвященных статистическому анализу, например в [9]. Если выполняется условие $\omega^2 \leq \omega_{tab}^2$, то гипотеза о принадлежности выборки предполагаемому закону распределения считается верной.

В том случае, когда необходимо проверить выборку на принадлежность к нормальному распределению, величина ω^2 рассчитывается следующим образом:

$$\omega^2 = \left(\frac{1}{12n} + \sum_{i=1}^n (F(X_i) - W)^2 \right) \left(1 + \frac{1}{2n} \right). \quad (2.8)$$

Составной d -критерий

Этот метод используется только в том случае, если необходимо проверить выборку на принадлежность к нормальному закону распределения. На первом этапе рассчитывается величина следующего вида:

$$d = \frac{1}{n} \cdot \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{S^*}, \quad (2.9)$$

где n — количество наблюдений; \bar{X} — среднее значение, рассчитанное по формуле (2.3); S^* — смещенная оценка среднеквадратического отклонения, рассчитываемая как $S^* = \sqrt{\frac{1}{n} (X_i - \bar{X})^2}$.

Далее проверяется условие:

$$d_{\min} \leq d \leq d_{\max}, \quad (2.10)$$

где d_{\min} , d_{\max} — табличные значения, зависящие от уровня доверительной вероятности и количества измеренных значений.

Посмотреть табличные значения можно в [4] и в [10]. Если условие (2.10) не выполняется, то гипотеза о принадлежности выборки к нормальному распределению отклоняется. Если условие (2.10) выполняется, то для каждого из элементов выборки проверяется дополнительное условие:

$$|X_i - \bar{X}| \leq Z_{p/2} S_x, \quad (2.11)$$

где S_x — среднеквадратическое отклонение, рассчитанное по формуле (2.4); $Z_{p/2}$ — верхний квантиль распределения Лапласа, являющийся табличным значением и зависящим от уровня доверительной вероятности.

Посмотреть табличные значения можно в [11] и в [12]. Если для $(n-m)$ значений измерения условие (2.11) выполняется, то выборку считают нормально распределенной; $m=1$ при объеме выборки от 10 до 20 элементов, $m=2$ при объеме выборки от 20 до 50.

2.5. Определение доверительных интервалов случайной погрешности

Для нормального распределения и объема выборки более 10–15 элементов при заданном уровне доверительной вероятности граница доверительных интервалов определяется как

$$X(P) = \bar{X} \pm z_p \frac{S_x}{\sqrt{n}}, \quad (2.12)$$

где \bar{X} — среднее значение измеряемой величины, рассчитываемое по формуле (2.3); n — объем выборки; S_x — среднеквадратическое отклонение измеряемой величины, рассчитываемое по формуле (2.4); Z_p — коэффициент Z -распределения, зависящий от уровня доверительной вероятности (посмотреть его можно в [11] и в [12]).

Для нормального распределения и объема выборки менее 10–15 элементов при заданном уровне доверительной вероятности граница доверительных интервалов определяется как

$$X(P) = \bar{X} \pm t_p \frac{S_x}{\sqrt{n}}, \quad (2.13)$$

где t_p — коэффициент Стьюдента, зависящий от уровня доверительной вероятности и объема выборки (посмотреть его можно в [12] и в [13]).

2.6. Определение границ неисключенной систематической погрешности Θ результата измерений

Неисключенная систематическая погрешность — составляющая погрешности результата измерений, обусловленная погрешностями вычисления и введения поправок на влияние систематических погрешностей или систематической погрешностью, поправка на действие которой не введена вследствие ее малости [3]. Неисключенная систематическая погрешность характеризуется границами. Учет границ зависит от количества факторов, вызывающих неисключенные систематические погрешности [5]. В случае если присутствуют три фактора и менее, границы определяются выражением

$$\Theta = \pm \sum |\Theta_i|. \quad (2.14)$$

В случае если присутствуют четыре фактора и более, неисключенные систематические погрешности рассматриваются как независимые случайные величины, а границы определяются выражением

$$\Theta = \pm K \sqrt{\sum \Theta_i^2}. \quad (2.15)$$

Коэффициент K зависит от уровня доверительной вероятности. Так, при $P = 0,99$ K принимают равным 1,4, при $P = 0,95$ K принимают равным 1,1. Само значение P принимается равным тому же, что

и для вычисления доверительных границ случайной погрешности результата измерения.

2.7. Определение доверительной границы погрешности результата измерения

Расчет доверительных границ погрешности оценки измеряемой величины зависит от соотношения величин границ случайной погрешности и неисключенной систематической погрешности.

Если $\frac{\Theta S_x}{\sqrt{n}} < 0,8$, то неисключенной систематической погрешностью

пренебрегают и принимают границы погрешности результата равными $\Delta = \bar{X} \pm z_p \frac{S_x}{\sqrt{n}}$ либо $\Delta = \bar{X} \pm t_p \frac{S_x}{\sqrt{n}}$ в соответствии с разделом 2.5.

Если $\frac{\Theta S_x}{\sqrt{n}} > 8$, то случайной погрешностью пренебрегают и прини-

мают границы погрешности результата равными $\Delta = \Theta$ в соответствии с разделом 2.6.

Если $0,8 < \frac{\Theta S_x}{\sqrt{n}} < 8$, то доверительная граница погрешности оценки

измеряемой величины рассчитывается как сумма неисключенной систематической погрешности и случайной составляющей:

$$\Delta = \pm K \cdot S_{\Sigma}, \quad S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\Theta}^2 + \frac{S_x^2}{n}}, \quad (2.16)$$

где коэффициент K зависит от соотношения случайной составляющей погрешности и неисключенной систематической погрешности и определяется по специальному графику [5]; величина $S_{\Theta} = \frac{\Theta}{\sqrt{3}}$ — среднеквадратическое отклонение неисключенной систематической погрешности.

2.8. Запись результата

Результат измерения записывается как $X = \bar{X} \pm \Delta$ при доверительной вероятности P . При отсутствии данных о функциях распределения составляющих погрешности результаты измерений представляют в виде ряда \bar{X}, S_x, n, Θ при доверительной вероятности P . Ответы за-

писываются в соответствии с рекомендациями системы СИ, приведенными в приложении 1, и правилами округления результатов измерений, приведенными в приложении 2.

Лабораторное задание

Даны следующие партии транзисторов: КТ209 К, КТ340 А, КТ357 Б (Г), КТ630 Е, КТ201 А, МП42 Б, КТ501 (Б, Д, И, М), ГТ125 Л, КТ206 А. Необходимо для каждой партии произвести вычисление статического коэффициента, определить бракованные элементы и установить последние индексы транзистора.

1. Вычисление статического коэффициента передачи тока

С помощью системы амперметров, представленных на рис. 2.7, измерить значения тока базы для каждого из транзисторов предоставленных партий (выбор партии осуществляется с помощью выпадающего меню под надписью «Транзистор»). После этого по табл. 2.3 необходимо подобрать соответствующее ему значение тока коллектора.

Таблица 2.3

Справочные значения тока коллектора

Партия транзистора	Ток коллектора I_k , мА (при комнатной температуре)
КТ209	30
КТ340	10
КТ357	10
КТ630	150
КТ201	5
МП42	10
КТ501	30
ГТ125	100
КТ206	5

Значение тока коллектора выставляется на нижнем амперметре регулировочной ручкой, относительная погрешность которого составляет 1,5 %. После этого необходимо провести измерения тока базы на верхнем амперметре с относительной погрешностью 1,0 % для всей

партии. Выбор транзистора в партии производится с помощью поворота ручки угловой шкалы. Результаты занести в таблицы типа 2.4 для каждой партии.

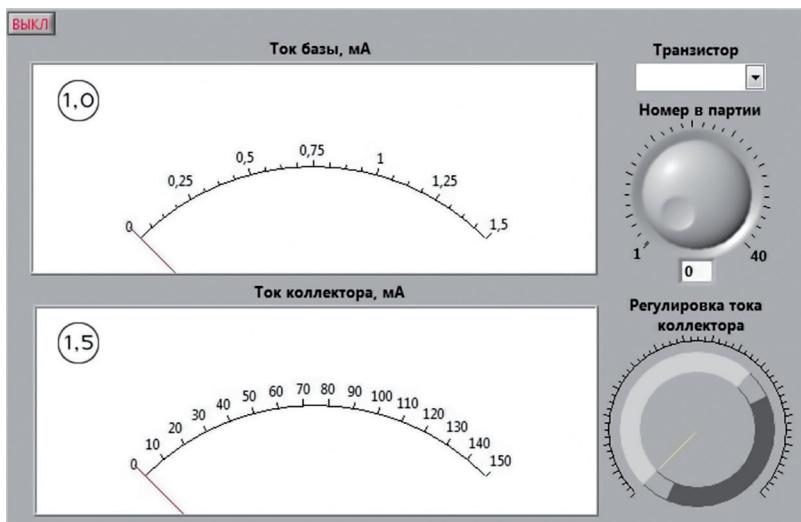


Рис. 2.7. Система амперметров для вычисления статического коэффициента передачи тока

Для всех значений токов коллектора и токов базы необходимо рассчитать величину абсолютной погрешности, далее по формуле (2.2) рассчитать значение статического коэффициента передачи тока β . В соответствии с правилами расчета косвенных погрешностей рассчитать абсолютное значение погрешности $\Delta\beta$. Результаты занести в таблицы типа 2.4 для каждой партии.

Таблица 2.4

Вычисление статического коэффициента передачи тока транзисторов заданной партии

№	I_B	I_K	ΔI_B	ΔI_K	β	$\Delta\beta$	Примечание
1							
2							
...							
40							
$\bar{\beta} = \quad , S_{\beta} = \quad$							

2. Исключение бракованных транзисторов

Для каждой партии выполнить расчет среднего значения и среднего квадратического отклонения для величины β по формулам (2.3) и (2.4) соответственно. Проверить полученные выборки на наличие промахов любым из подходящих критериев. Если какое-либо из рассчитанных значений β окажется промахом, это будет свидетельствовать о браке соответствующего транзистора. В этом случае промах необходимо исключить, а среднее значение и среднее квадратическое отклонение рассчитать заново. Результаты занести в таблицы типа 2.4 для каждой партии, информацию о промахе занести в виде примечаний.

3. Определение закона распределения результатов измерений

Величина коэффициента β определяет тип транзистора согласно его способности усиливать ток базы. Дифференциация величины β каждой партии определяет подгруппу, задаваемую в виде индекса. Со статистической точки зрения такая гистограмма величины β будет иметь несколько выраженных пиков. В этом случае выборку, соответствующую неоднородной партии, необходимо разбить на несколько отдельных групп величин β .

Для каждой партии по величине β необходимо построить гистограмму, полигон и кумулятивную кривую в соответствии с разделом 2.3. Сделать выводы об однородности каждой из партий транзисторов. В соответствии с величиной статического коэффициента передачи тока транзисторов с помощью [14] определить последние индексы партии транзисторов.

4. Оценка закона распределения по статистическим критериям

Установить величину доверительного интервала P . Оценить принадлежность полученных выборок по величине β к нормальному закону распределения любым из способов. Сделать выводы.

5. Определение доверительных интервалов случайной погрешности

Определить доверительный интервал случайной погрешности по формулам (2.12) или (2.13). Сравнить полученные результаты с абсолютными погрешностями, рассчитанными в таблицах типа 2.4 для каждой партии. Сделать выводы.

6. Запись результата измерения

Записать результат измерения величины β для каждой из полученных партий, а ответы — в соответствии с рекомендациями системы

СИ, приведенными в приложении 1, и правилами округления результатов измерений, приведенными в приложении 2.

Структура отчета

Отчет должен содержать следующие данные:

- 1) описание использованной системы амперметров с указанием схемы;
- 2) цель лабораторной работы;
- 3) заполненные таблицы типа 2.4 для всех партий;
- 4) перечень итоговых выборок транзисторов по партиям;
- 5) значения статического коэффициента передачи тока для всех партий транзисторов с указанием уровня доверительной вероятности и доверительных интервалов.

Контрольные вопросы

1. Каков принцип работы транзистора?
2. Что характеризует статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером?
3. Почему невозможно создать транзистор заданной партии?
4. Почему промахи опасны для измерительной процедуры?
5. Почему нельзя использовать критерий «трех сигм» применительно к распределению, отличающемуся от нормального?
6. Почему для табличных значений β_{tab} в критерии Романовского величины коэффициентов уменьшаются с уменьшением уровня доверительной вероятности при одном и том же количестве измерений?
7. Почему для Z_{tab} в вариационном критерии Диксона величина коэффициента уменьшается с ростом количества измерений при одном и том же уровне доверительной вероятности?
8. Почему нецелесообразно оценивать выборку, состоящую менее чем из 15 элементов, с применением статистических критериев?
9. Почему коэффициенты Z -распределения не подходят для определения доверительных интервалов для выборок с малым объемом?
10. Почему коэффициенты Стьюдента зависят от количества элементов выборки?

Список литературы для лабораторной работы № 2

1. Спиридов Н. С. Основы теории транзисторов. — К. : Техника, 1969. — 300 с.
2. Генерирование колебаний и формирование радиосигналов / В. Н. Кулешов [и др.]. — М. : МЭИ, 2008. — 416 с.
3. РМГ 29—99. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2000. — 46 с.
4. ГОСТ 8.207—76. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. — М. : Издательство стандартов, 1986. — 34 с.
5. ГОСТ Р 8.736—2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. — М. : Стандартинформ, 1986. — 70 с.
6. Ивановский Р. Теория вероятностей и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде *Mathcad*. — 528 с.
7. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. — М. : Наука, 1973.
8. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. — М. : Наука, 1983. — 416 с.
9. Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. — М. : Наука, 1983. — 416 с.
10. Третьяк Л. Н. Обработка результатов наблюдений : учебное пособие. Оренбург : Оренбургский гос. ун-т, 2004. — 171 с.
11. Теория вероятностей и математическая статистика / В. С. Мхитарян [и др.]. М. : Московский международный институт эконометрики, информатики, финансов и права. 2004. — 147 с.
12. Афанасьев В. В. Теория вероятностей : учеб. пособие для студентов вузов. — М. : ВЛАДОС, 2007. — 350 с.
13. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. — М. : Физматлит, 2006. — 816 с.
14. Полупроводниковые приборы: транзисторы: справочник / под общ. ред. Н. Н. Горюнова. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 903 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Калибровка средств измерений

Цель работы

Цель лабораторной работы № 3 включает в себя следующие аспекты:

- закрепление теоретических навыков дисциплинарного раздела «эталоны средств измерений»;
- освоение процедуры калибровки вольтметра;
- оформление документации, касающейся процедуры калибровки средств измерений.

Основные теоретические сведения

1. Базовые определения и понятия

Средство измерений (СИ) — техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени [1]. Таким образом, обязательными условиями СИ являются, с одной стороны, хранение или воспроизведение единицы физической величины, с другой стороны — обеспечение ее неизменности в течение промежутка времени, необходимого для выполнения измерительной процедуры. Эти важнейшие качества СИ делают возможным осуществление измерений как акта сравнения неизвестного размера физиче-

ской величины с его единицей. В общем случае свойства СИ хранить (воспроизводить) и поддерживать неизменной единицу физической величины численно выражаются метрологическими характеристиками. *Метрологическая характеристика СИ* — характеристика одного из свойств СИ, влияющая на результат измерений и на его погрешность [1]. Метрологические характеристики варьируются для разных СИ, общие требования, касающиеся допустимых величин погрешностей, излагаются в соответствующих ГОСТах [2–5], а также в нормативной документации к приборам.

В ходе измерительной процедуры погрешности СИ не должны выходить за пределы допускаемых. Для контроля этого аспекта измерения используются две специальные процедуры: калибровка СИ и поверка СИ.

Калибровка СИ — совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений, и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью определения действительных метрологических характеристик этого средства измерений [1]. В ходе калибровки могут быть установлены поправки, которые необходимо ввести в показания, и действительное значение измеряемой физической величины на данном СИ, может быть выполнена оценка погрешности СИ или определены иные метрологические характеристики СИ. Как правило, по итогам калибровки ответственная организация выдает сертификат о калибровке или на СИ наносится калибровочный знак, указывающий, что данное СИ отвечает требуемым стандартам. Также результаты калибровки заносятся в журнал к СИ.

Поверка СИ — установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям [1]. При поверке СИ используется рабочий эталон, созданный в соответствии с нормативными документами, действующими в данной области. На территории РФ ответственной за поверку организацией является Государственная метрологическая служба (ГМС) [6]. Проверка первичных эталонов и уникальных СИ проводится Государственным научным метрологическим центром. По итогам положительных результатов поверки СИ выдается Свидетельство о поверке, а на прибор также наносится поверительное клеймо. Если

по итогам поверки СИ признается непригодным, то на него оформляется извещение о непригодности.

Несмотря на близость понятий калибровки СИ и поверки СИ, между этими процедурами имеются существенные различия.

1. Поверка представляет собой процедуру проверки соответствия СИ заданным стандартам и требованиям в настоящей области измерений. Калибровка же заключается в приведении СИ к необходимым стандартам, т. е. определении значений метрологических характеристик СИ и выполнении технических процедур до сведения их величин к требуемому минимуму.

2. Поверка является обязательной процедурой для СИ, установленных в [7]. К их числу относятся СИ, используемые в областях здравоохранения (СИ показателей функционирования человеческой жизнедеятельности, приборы для измерения характеристик среды детских и образовательных учреждений), охране окружающей среды, безопасности человеческой жизнедеятельности, охране труда, торговли, почтовой связи, выполнении банковских, налоговых и таможенных операций, проведении масштабных спортивных мероприятий, деятельности прокуратуры и других органов исполнительной власти. Все прочие СИ подвергаются процедуре калибровки, которая является добровольной и проводится на усмотрение оператора либо владеющей СИ организацией. СИ, не входящие в перечень [7], также могут подвергаться добровольной поверке, это остается на усмотрение ответственной за СИ организации.

3. Поверка СИ проводится в обязательном порядке по готовности СИ до начала его эксплуатации и по завершении ремонтных работ. Далее по мере необходимости проводится периодическая поверка СИ согласно [8]². Калибровка СИ проводится на стадии сборки СИ, после ремонтных работ, перед продажей либо арендой СИ, а также на усмотрение оператора СИ.

4. Поверка осуществляется исключительно представителями ГМС либо органами, имеющими соответствующую аккредитацию. Калибровка может проводиться представителями любых метрологических служб вне зависимости от наличия аккредитации ГМС. На практике чаще всего калибровка выполняется оператором данного СИ.

² В настоящее время документ [8] утратил силу, однако нового положения, регламентирующего порядок проведения поверки СИ, не принято, поэтому ГМС продолжает руководствоваться [8].

Таким образом, несмотря на то, что калибровка и поверка СИ с технической точки зрения являются идентичными процедурами, за ними стоят совершенно разные законодательные требования. Непосредственные технические особенности процедур калибровки и поверки СИ определяются конструктивными особенностями приборов.

2. Порядок проведения калибровки электроизмерительных приборов

Нормативной базой для выполнения калибровки электроизмерительных приборов являются документы [9–11], а также техническое описание, инструкция по эксплуатации и паспорт СИ.

В общем случае процедура калибровки включает следующие этапы:

- внешний осмотр;
- опробование;
- испытание электрической прочности;
- определение действительной погрешности, вариации показаний и остаточного отклонения указателя приборов от нулевой отметки;
- оформление результатов (составление протокола либо свидетельства калибровки).

Внешний осмотр

В ходе внешнего осмотра выявляются такие дефекты, как трещины в корпусе, испорченная приборная шкала, искривленная стрелка для стрелочных приборов, неисправности зажимов и переключателей, непрочно закрепленные детали. Любой из обозначенных дефектов может привести к ошибкам измерения, преждевременному выходу из строя прибора, а также к травмам оператора.

Опробование

Опробование представляет собой тестовую процедуру работы электроизмерительного прибора. На этом этапе проверяется реагирование показаний СИ на изменения измеряемой физической величины, а также качество работы переключателей и регулировочных винтов.

Испытание электрической прочности

Этот этап калибровки (проверки) выделяет электроизмерительные приборы на фоне других СИ. Проверка электрической прочности проводится только на стадии сборки прибора и после выполнения ремонтных работ. На первом этапе проверяется изоляция между корпусом прибора и изолированными электрическими цепями, согласно [9], она должна выдерживать переменное синусоидальное напряже-

ние частотой 50 Гц на протяжении одной минуты. Амплитуда напряжения устанавливается в зависимости от значений параметров окружающей среды и технических характеристик СИ. Для отдельно взятых электроизмерительных приборов изоляция испытывается в условиях повышенной влажности. На втором этапе измеряется величина сопротивления изоляции при постоянном токе. Величина тока указывается в документации к СИ.

Определение действительной погрешности, вариации показаний и остаточного отклонения указателя приборов

Существуют две группы способов определения метрологических характеристик СИ в ходе калибровки (проверки): с помощью эталонного СИ и эталонной меры. Первый метод основан на сравнении результатов измерений калибруемого СИ с показаниями, полученными на эталонном измерительном приборе. Во втором методе используют эталонные меры электрических величин, значения которых хорошо известны. Основные требования к таким эталонным мерам описаны в [12]. Одним из примеров такой меры служит калибратор. *Калибратор* — специальная эталонная мера, предназначенная для поверки, калибровки или градуировки измерительных приборов и установок методом сличения [13]. Независимо от того, какой из методов калибровки (проверки) используется, отношение пределов допускаемых погрешностей эталонного СИ (меры) и калибруемого СИ должно составлять 1:5.

Действительная погрешность СИ — разница между показаниями калибруемого СИ и величиной, задаваемой эталонным СИ либо эталонной мерой. Для нормальных условий полученное в ходе калибровки СИ значение действительной погрешности не должно превышать инструментальную погрешность, устанавливаемую классом точности. Описание классов точности приведено в основных теоретических сведениях к лабораторной работе № 1, нормальные условия эксплуатации задаются в технической документации к СИ.

Вариация показаний СИ — разность показаний прибора в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе к этой точке со стороны меньших и больших значений измеряемой величины [1]. Эта метрологическая характеристика рассчитывается как алгебраическая разность минимального и максимального результатов при многократных измерениях идентичной физической величины при одинаковых внешних условиях. На практике чаще пользуются относительной вариацией — отношением вариации к значению меры эталонного СИ

либо эталонной меры. Величина относительной вариации не должна превышать половины величины класса точности, выраженной в долях.

Остаточное уклонение СИ определяется как показание по приборной шкале при плавном уменьшении значения физической величины до нуля. Величина остаточного уклонения не должна превышать половины величины класса точности, выраженной в долях.

Оформление результатов

Результаты калибровки заносятся в калибровочный протокол, в котором приводятся значения метрологических характеристик СИ. Также на исследуемое СИ оформляется сертификат калибровки — документ, подтверждающий соответствие калибруемого СИ техническим требованиями и дающий право его применения в коммерческих целях.

Лабораторное задание

Необходимо произвести калибровку вольтметра ЧСВ-99 с помощью калибратора. По результатам составить калибровочный протокол и оформить калибровочный сертификат.

1. Условия проведения калибровки вольтметра ЧСВ-99

Согласно [9–11], прибор должен быть полностью укомплектован в соответствии с технической документацией, кроме того, должны быть соблюдены условия эксплуатации. Фрагменты паспорта вольтметра ЧСВ-99 приведены в приложении 3. На этом этапе необходимо снять с измерительной установки показания температуры, влажности и давления (рис. 3.1). Погрешности измерения параметров внешних условий составляют половину цены деления шкалы. Результаты занести в калибровочный протокол.

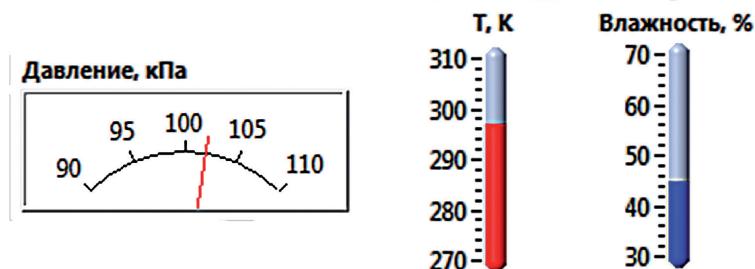


Рис. 3.1. Индикаторы давления, температуры и влажности на измерительной установке

2. Определение метрологических характеристик вольтметра ЧСВ-99

Определение метрологических характеристик осуществляется с применением калибратора ВТФ-228. Внешний вид измерительной установки представлен на рис. 3.2. Диапазон изменения напряжения вольтметра составляет $[1 \text{ мВ}; 100 \text{ В}]$, максимально допустимая погрешность калибратора — $2 \cdot 10^{-6} \text{ В}$.

2.1. Определение действительной погрешности

Для определения действительной погрешности на калибраторе поочередно выставляются значения напряжения 1 мВ, 5 мВ, 10 мВ, 50 мВ, 100 мВ, 1 В, 5 В, 10 В, 50 В, 100 В, при этом каждый раз снимаются показания вольтметра ЧСВ-99. Результаты заносятся в табл. 3.1.

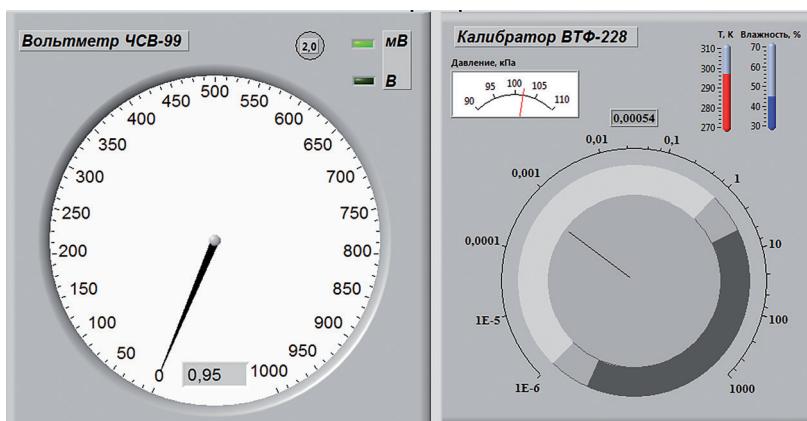


Рис. 3.2. Внешний вид вольтметра ЧСВ-99

Таблица 3.1

Результаты определения действительной погрешности вольтметра ЧСВ-99

$U_{cal}, \text{ В}$	$U_{vol}, \text{ В}$	$\Delta U_{theor}, \text{ В}$	$\Delta U_{act}, \text{ В}$	$\Delta U_{act} - \Delta U_{theor}, \text{ В}$
1
5
...

В таблице 3.1 U_{cal} — значения напряжения калибратора, U_{vol} — значения напряжения вольтметра ЧСВ-99, ΔU_{theor} — теоретическое значение инструментальной погрешности вольтметра, определяемое классом

точности, ΔU_{act} — величина действительной погрешности вольтметра, определяемое как разность между U_{cal} и U_{vol} .

2.2. Определение вариация показаний

Для определении вариации необходимо снять показания напряжения калибратора 5 мВ, 10 мВ, 50 мВ, 100 мВ, 1 В, 5 В, 10 В, 50, причем каждое из значений должно быть снято двумя способами. В первом случае напряжение выставляется от минимального значения калибратора, во втором случае — от максимального. Результаты заносятся в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Результаты определения вариации вольтметра ЧСВ-99

U_{cal} , В	U_{up} , В	U_{dn} , В	Δ_{var} , В	γ_{var}
5
10
...

В табл. 3.2 U_{cal} — значения напряжения калибратора, U_{up} — значения напряжения вольтметра ЧСВ-99 при режиме измерения от минимального значения, U_{dn} — значения напряжения вольтметра ЧСВ-99 при режиме измерения от максимального значения. Величина Δ_{var} представляет собой вариацию показаний вольтметра для данного значения входного напряжения и рассчитывается как

$$\Delta_{var} = |U_{up} - U_{dn}|. \quad (3.1)$$

Величина γ_{var} — относительная вариация показаний вольтметра для данного значения входного напряжения, рассчитывается как

$$\gamma_{var} = \frac{\Delta_{var}}{U_{cal}}. \quad (3.2)$$

Величина относительной вариации в процентах не должна превышать половины величины класса точности вольтметра.

2.3. Определение остаточного уклонения

Для определении остаточного уклонения необходимо выставить показания напряжения калибратора 1 мВ, 5 мВ, 10 мВ, 50 мВ, 100 мВ, 1 В, 5 В, 10 В, 50 В, 100 В, а затем плавно уменьшать показания калибратора до нулевой отметки. Результаты заносятся в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Результаты определения остаточного уклонения вольтметра ЧСВ-99

U_{cal} , В	U_{vol} , В
1	...
5	...
...	...

3. Заполнение калибровочного протокола и сертификата

Калибровочный протокол приведен в приложении 6. В него заносятся данные о калибруемом вольтметре и основные характеристики, представленные в паспорте к прибору (приложение 3). Указывается метод и средство калибровки с приведением основных характеристик, приводятся условия калибровки. Далее заносятся метрологические характеристики вольтметра с указанием максимально допустимых значений. После этого делается заключение о соответствии либо несоответствии прибора метрологическим требованиям с указанием ответственных за калибровку организаций и лиц. Сертификат протокола приведен в приложении 7.

Структура отчета

Отчет должен содержать следующие данные:

- 1) цель лабораторной работы;
- 2) описание калибруемого вольтметра с указанием его основных характеристик, устройства и принципа работы;
- 3) заполненные таблицы 3.1, 3.2, 3.3;
- 4) заполненный калибровочный протокол;
- 5) заполненный сертификат о калибровке;
- 6) вывод, содержащий полученные метрологические характеристики прибора и заключение о пригодности либо непригодности СИ для дальнейшего использования.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается различие между процедурами поверки и калибровки СИ?

2. Для каких СИ процедура поверки является обязательной?
3. Необходимо ли выполнять поверку СИ, используемых в ходе учебного процесса ИРИТ-РТФ?
4. Какая организация отвечает за поверку СИ в г. Екатеринбурге?
5. Каково соотношение пределов допускаемой основной погрешности калибруемого СИ и эталонных мер? Почему?
6. Какие различают метрологические характеристики СИ?
7. На основании каких нормативных документов проводятся процедуры поверки и калибровки СИ?
8. Что представляет собой основная погрешность СИ?
9. Почему в калибровочном сертификате приводится максимальное значение основной погрешности СИ?

Список литературы для лабораторной работы № 3

1. РМГ 29—99. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2000. — 46 с.
2. ГОСТ 26433.0—85. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Общие положения. — М. : Стандартинформ, 2005. — 43 с.
3. ГОСТ 8.401—80. Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования. — М. : Стандартинформ, 2010. — 62 с.
4. ГОСТ 8.002—71. Государственная система обеспечения единства измерений. Организация и порядок проведения поверки, ревизии и экспертизы средств измерений. — М. : Издательство стандартов, 1985. — 24 с.
5. ГОСТ 8.326—89. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическая аттестация средств измерений. — М. : Издательство стандартов, 1990. — 47 с.
6. Об обеспечении единства измерений № 102-ФЗ : Федер. закон [принят Гос. Думой 6 июня 2008] // Российская газета. — 2008. — № 140.
7. О перечне средств измерений, поверка которых осуществляется только аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений государственными региональными центрами метрологии № 250 : Постановление Правительства РФ [от 26 апреля

2010] // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2010. — № 17. — ст. 2099.

8. ПР 50.2.006–94. Порядок проведения поверки средств измерений. Российские вести. — 1994. — № 154.

9. ГОСТ 8.497–83. Государственная система обеспечения единства измерений. Амперметры, вольтметры, ваттметры, варметры. Методика поверки. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2005. — 24 с.

10. ГОСТ 8.027–2001. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2001. — 19 с.

11. ГОСТ 8.402–80. Государственная система обеспечения единства измерений. Вольтметры электронные аналоговые постоянного тока. Методы и средства поверки. — М. : Издательство стандартов, 1981. — 13 с.

12. ГОСТ 8711–93. Приборы аналоговые показывающие электрические измерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 2. Особые требования к амперметрам и вольтметрам. — М. : Стандартинформ, 2007. — 47 с.

13. Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / под ред. А. М. Прохорова. — 3-е изд. — М. : Советская энциклопедия, 1969–1978.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Оценка качественных показателей онлайн-приложения

Цель работы

Цель лабораторной работы № 4 включает в себя следующие аспекты:

- закрепление теоретических навыков дисциплинарного раздела «квалиметрия»;
- освоение процедуры составления номенклатуры показателей качества продукции;
- освоение метода балльных оценок.

Основные теоретические сведения

1. Базовые определения и понятия

В сегодняшних экономических реалиях задача повышения качества продукции (услуг) является одной из основополагающих в РФ. Для разработки оптимальных методов решения этой задачи необходимо создание алгоритмов количественной оценки качества. На этапе осмысливания проблематики измерения и оценки качества и возникла новая дисциплинарная область — квалиметрия [1]. *Квалиметрия* — область науки, предметом которой являются количественные методы оценки качества продукции [2]. Исторически квалиметрия разрабатывалась на базе метрологии, но если в задачи метрологии входили вопросы изучения измерений физических величин, то квалиметрия занимала

лась измерениями показателей качества. Объектами квалиметрии могут быть любые продукты человеческой деятельности либо природы. Квалиметрия состоит из двух дисциплинарных областей — прикладной и теоретической. Теоретическая квалиметрия занимается общими вопросами количественного оценивания объектов исследования, прикладная — адаптацией результатов теоретической квалиметрии к конкретным продуктам.

Любой тип продукции (услуги) обладает множеством разнообразных свойств, которые обуславливают ее общность или различие с другими продукциями, и проявляется в соотношении с ними [3]. Свойства продукции или услуги характеризуют индивидуальные особенности конкретного оцениваемого объекта исследований. По отношению к объекту исследования свойства принято делить на внутренние и внешние. Внутренние свойства определяются целостностью объекта, т. е. взаимодействием между собой отдельных его компонентов. Внешние свойства связаны с взаимодействием объекта и внешний среды, в которой он проектируется, создается и используется. Таким образом, свойства продукции (услуги) могут выражаться как сами по себе, так и при эксплуатации³ или потреблении⁴. Принято разделять свойства на два класса: простые и сложные. Простые свойства можно охарактеризовать единственной выделенной особенностью (жирность молока, прочность детали и т. д.), сложные свойства характеризуются уже комплексом особенностей, которые проявляются в своей совокупности (усвоемость пищевого продукта, эффективность работы конструкции и т. д.).

Исходя из имеющихся свойств продукции (услуги) можно проанализировать ее соответствие имеющимся требованиям, т. е. оценить качество. *Качество продукции (услуги)* — совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением [2]. Качество продукции (услуги) определяется двумя группами факторов — внутренними и внешними.

Внутренние факторы:

- финансовая и материальная база выпускающего предприятия;
- квалификация ответственного персонала;

³ Термин «эксплуатация» применяется к такой продукции, которая в процессе использования расходует свой ресурс [2].

⁴ Термин «потребление» относится к продукции, которая при ее использовании по назначению расходуется сама [2].

- эффективность проекта;
- соответствие работы передовым научным достижениям.

Внешние факторы:

- запрос потребителей;
- своевременная поставка используемых ресурсов, расходных материалов и сопроводительных услуг;
- деятельность ответственных органов надзора;
- актуальность законодательной базы в рассматриваемой области.

В ряде случаев выделяют третий класс факторов, связанный с организационно-управленческой деятельностью. Сюда относятся менеджмент предприятия, маркетинг и реклама.

Для эффективной работы с качеством продукции необходимо проводить его адекватную оценку. *Показатель качества продукции (услуг)* — количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, входящих в ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации или потребления [2]. Для показателей качества определены измерения, которые дифференцируются на три группы: традиционные физические единицы измерения (секунда, грамм, вольт и т. д.), условные единицы измерения (баллы, процент избирателей, рейтинг и т. д.) и безразмерные (вероятность ожидаемого события). У любого типа продукции либо услуги есть своя номенклатура показателей, определяемая назначением, особенностями производства и эксплуатации (потребления) и многими другими аспектами. *Номенклатура показателей качества продукции* — перечень характеристик свойств продукции, применяемый при оценке качества. Создание номенклатуры показателей качества является базовым этапом для объективной оценки качества, поскольку четкость задания показателей и полнота охвата ими интересующих свойств продукции определяет адекватность конечного результата и дальнейшую стратегию по улучшению качества продукции. В общем случае для многофункциональной продукции номенклатура может быть многочисленной.

2. Классификация показателей качества

Многообразие видов объектов исследования в квалиметрии и используемых номенклатур показателей качества (ПК) приводит к необходимости классификации используемых параметров свойств. Существует несколько способов систематизации ПК (рис. 4.1) [4].

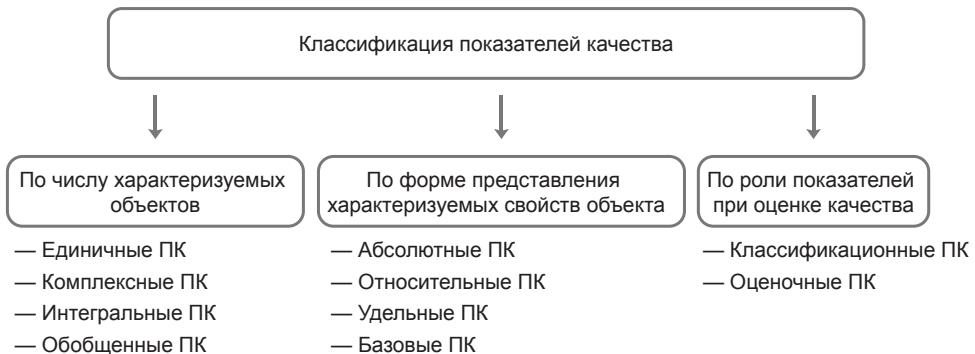


Рис. 4.1. Классификация показателей качества

Классификация в зависимости от числа характеризуемых свойств

Единичные ПК опираются на одно из свойств объекта, что подразумевает возможность его выделения и оценки, независимой от прочих характеристик. Такие показатели описываются функционалом от единственной характеристики объекта. Примерами единичного ПК являются: стойкость вкуса пищевого продукта, фактура материала, показатель мощности и т. п.

Комплексные ПК характеризуются множеством взаимосвязанных свойств, образующих целостное качество объекта. Эти показатели зависят от ряда характеристик, каждая из которых опирается на свой параметр. С помощью комплексных ПК часто конструируются новые номенклатуры, что позволяет уменьшить входное число исследуемых параметров. Примерами этих показателей являются: внешняя отделка помещения, показатель удельной мощности (отношение мощности к массе конструкции) и т. п.

Интегральные ПК описывают качество объекта с позиции его общей эффективности. Они выражают отношение полезности эффекта применения объекта к стоимости его использования с учетом общепринятых ограничений и рекомендаций. Интегральные ПК рассчитываются по формуле

$$I = \frac{P_{\Sigma}}{E_{\Sigma C} + E_{\Sigma U}}, \quad (4.1)$$

где P_{Σ} — суммарный полезный эффект; $E_{\Sigma C}$ — суммарные затраты на создание либо приобретение; $E_{\Sigma U}$ — суммарные затраты на эксплуатацию (ремонт, техническое обслуживание и прочие затраты).

Этот вид показателя является универсальным методом оценки конкурентоспособности продукции. Например, интегральный ПК автомобиля рассчитывается как отношение пробега к сумме трат на разработку, изготовление, техническое обслуживание и ремонт.

Обобщенные ПК характеризуют множество свойств объекта и представляют собой набор комплексных ПК. Примерами обобщенного ПК являются надежность разрабатываемой конструкции и итоговая цена производимого товара.

Классификация по форме представления характеризуемых свойств

Абсолютные ПК опираются на отдельно взятые свойства объекта как таковые. Единицами измерения абсолютных показателей служат соответствующие свойству физические величины (например, масса изделия в кг, скорость автомобиля в км/час и т. д.).

Относительные ПК характеризуют отдельно взятые свойства по отношению к некой величине, взятой за единицу. Эти показатели являются безразмерными и показывают долю представляющего интерес свойства. Примером относительного ПК является надежность как вероятность безотказной работы системы.

Удельные ПК рассчитываются как функция от двух и более разнородных свойств объекта. С помощью удельных показателей оценивается динамика развития товаров по сравнению с прошлыми аналогами. Такие показатели рассчитываются по формуле

$$K = \frac{M_{\Sigma}}{F_{\Sigma}}, \quad (4.2)$$

где M_{Σ} — материальные показатели, а F_{Σ} — функциональные.

Примерами удельных показателей являются удельная масса (плотность), удельная мощность, плотность упаковки товара в объеме и т. д.

Базовые ПК представляют собой принятые за эталон показатели, используемые в процедуре оценки качества продукции. В свою очередь, существуют единичные, комплексные и интегральные базовые ПК. Примерами таких показателей служат показатели, достигнутые на отдельно взятом предприятии, характеристики лучших товаров, произведенных на территории РФ, показатели, заданные в технической документации.

Классификация по роли показателей при оценке качества

Классификационные ПК характеризуют принадлежность объекта исследования к заданной выборке в установленной классификационной

системе. Такие показатели применяются на предварительных стадиях оценки качества объекта, что позволяет установить пределы сопоставления оцениваемой продукции с аналогичными. Классификационные ПК дают возможность выявить общие требования к качеству отдельно взятой классификационной группы, что позволяет грамотно составить номенклатуру ПК.

Оценочные ПК используются для количественного оценивания свойств исследуемого объекта на всех стадиях его жизненного цикла. Такого рода показатели применяют для нормирования, контроля и сертификации продукции (услуг). Оценочные показатели являются самыми широко используемыми типами показателей, для них существует своя система классификации (рис. 4.2) [4].

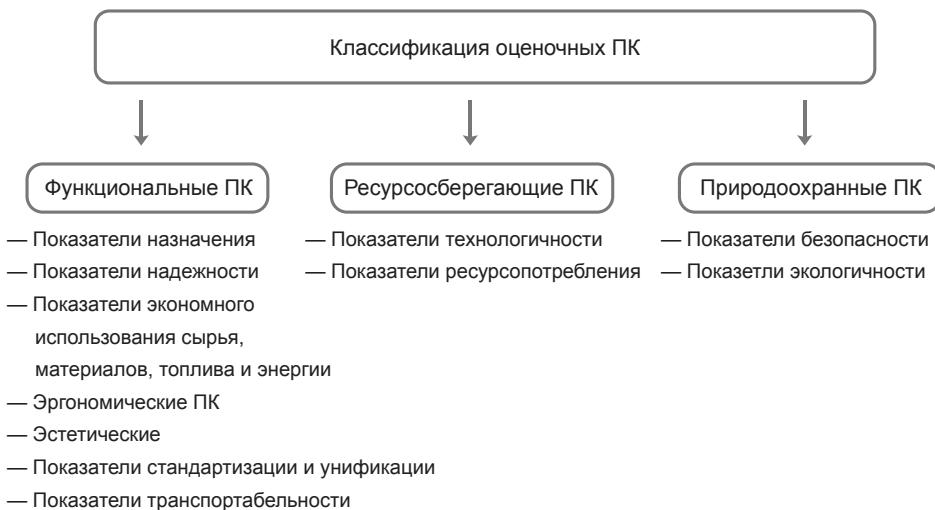


Рис. 4.2. Классификация оценочных показателей качества

Функциональные оценочные ПК

Эти показатели используются в случае необходимости установления функциональной пригодности исследуемого объекта.

Показатели назначения описывают свойства объекта, характеризующего те его качества, для использования которых он предназначен. Их применяют для рассмотрения пригодности продукции (услуг) с позиции ее первостепенного предназначения. Как правило, именно показатели качества наиболее интересны потребителю и производителю, кроме того, информация об этих показателях позволяет отнести объект к определенной классификационной группе. Например,

такие показатели качества персонального компьютера, как объем оперативной карты, сведения о видеоадаптере и характеристики жесткого диска могут указывать на область его функционального использования. Показатели назначения принято разделять на несколько групп:

- классификационные показатели, указывающие на принадлежность объекта к определенной классификационной группе серии (например, прочность конструкции, мощность двигателя);
- показатели функциональной и технической эффективности, иллюстрирующие выгоду от потребления либо эксплуатации объекта (например, КПД двигателя, точность средства измерения);
- конструктивные показатели, характеризующие качество проектирования объекта и актуальность конструкторских решений (например, удельная мощность двигателя, степень стандартизации);
- показатели состава и структуры, указывающие на процентное соотношение элементов в составе объекта (например, содержание примесей в сплаве, процентное содержание полезных элементов в продукте питания).

Показатели надежности предназначены для описания способности объекта исследования сохранять неизменным в рамках заданного времени значения заданных параметров. Принято разделять эти показатели на следующие группы:

- безотказность, определяющая свойство объекта сохранять работоспособность в течение заданного промежутка времени (например, безотказность системы, вероятность сбоя);
- долговечность, характеризующая свойство объекта сохранять работоспособность до предельного момента времени (например, средний срок службы, средний ресурс);
- ремонтопригодность, определяющая приспособленность объекта исследования к проведению технического обслуживания для своевременного предупреждения неисправностей (например, среднее время и стоимость выполнения ремонта, стоимость технического обслуживания);
- сохраняемость, характеризующая способность объекта сохранять неизменными показатели безотказности, долговечности и ремонтопригодности в течение заданного промежутка времени (например, срок сохраняемости, определяющийся через вероятность γ).

Показатели надежности определяются не сами по себе, а в сочетании с условиями эксплуатации и временем применения. Для их адекватного учета необходимо вводить коэффициент использования:

$$K_u = \frac{T_{\min} - T_{ps}}{T_{ef}}, \quad (4.3)$$

где T_{\min} — минимальное время износа объекта; T_{ps} — время простоя объекта (с учетом ремонта и пр.); T_{ef} — срок службы объекта согласно технической документации.

Показатели экономического использования сырья, материалов, топлива и энергии отвечают за свойства объекта и характеризуются степенью потребления ресурсов в ходе изготовления либо эксплуатации. Различают четыре типа такого рода показателей:

- удельный расход ресурсов;
- удельная масса изделия;
- коэффициент использования ресурсов (отношение полезного расхода к расходу на производство единицы объекта);
- коэффициент полезного действия.

Эргономические ПК характеризуют взаимосвязь между потребителем и объектом и опираются на свойства человеческого воздействия, проявляющиеся в разнообразных жизненных процессах. Такие показатели используются в задачах повышения эффективности потребления человеком продукции (услуги), полная номенклатура определена в [5]. Принято разделять эргономические показатели на четыре класса:

- гигиенические показатели, отвечающие за те стороны взаимодействия человека и объекта, которые могут вызвать нарушения здоровья потребителя (сюда входят всевозможные характеристики освещенности, вибраций, шума, перегрузок, радиационного излучения, интенсивности электромагнитных полей, а также ряд климатических факторов, таких, как температура окружающей среды, влажность и атмосферное давление);
- антропометрические показатели, характеризующие соответствие параметров продукции человеческому организму (применяются в задачах оценивания рабочих мест и разнообразных бытовых приборов);
- физиологические и психофизиологические показатели, определяющие соответствие параметров продукции (услуги) человеческому организму с физиологической точки зрения (сюда входят

показатели, отвечающие за корреляцию диапазона человеческих органов чувств исследуемому объекту, таким, как зрительные, слуховые, обонятельные, силовые, осязательные возможности потребителя). Физиологические и психофизиологические показатели играют важнейшую роль в задачах оценки качества приспособлений, которые потенциально могут привести к человеческим травмам;

- психологические показатели, отвечающие за те свойства объекта, которые характеризуют восприятие, мышление и формируемые навыки человека.

При оценивании качества продукции (услуги) наиболее значимыми являются эргономические показатели, отвечающие за удобство работы, восприятия информации и обслуживания и обеспечение комфорта конечного потребителя.

Эстетические ПК отвечают за эстетическую сторону взаимодействия человека и объекта. Они характеризуют эстетическую ценность продукции (услуги) и соответствие концептуальному содержанию объекта. Различают четыре группы эстетических ПК:

- информационная выразительность, отвечающая за художественное выражение значимой информации в рамках установленных общественных норм, оригинальность продукции, стилевое соответствие периоду времени и господствующих в обществе эстетических вкусов;
- рациональность, характеризующая степень соответствия облика объекта его функциональному предназначению;
- целостность композиции, отвечающей за такие показатели, как пропорциональность и ритмичность внешнего вида продукции, художественное обоснование, пластичность и степень упорядоченности отдельных элементов либо фрагментов объекта;
- совершенство исполнения и сохранности, куда входят устойчивость к повреждениям, тщательность выполнения отделки, четкость знаков и качество текста сопроводительной документации.

Как правило, единицами измерения эстетических показателей служат баллы, присваиваемые группой экспертов. Существуют как единичные, так и комплексные эстетические ПК.

Показатели стандартизации и унификации используются для оценки степени полноты сертификации, унификации продукции (услуги) как самих по себе, так и в отношении с другими типами анало-

гичной продукции (услуги). Различают три типа показателей такого рода:

- стандартные показатели, характеризующие степень соответствия продукции объекта и ее фрагментов международным, государственным и локальным стандартам;
- унифицированные показатели, характеризующие те виды объекта, которые применяются как минимум в двух различных выходных изделиях, а также элементы объекта, получаемые от сторонних организаций в качестве комплектующих;
- оригинальные показатели, к которым относятся фрагменты объекта, разработанные для не имеющих аналогов изделий.

Коэффициент применяемости рассчитывается по формуле

$$K_{app} = \frac{N_u - N_{u0}}{N_u}, \quad (4.4)$$

где N_u — суммарное количество элементов объекта с единым конструктивным решением; N_{u0} — количество оригинальных элементов объекта с единым конструктивным решением.

Коэффициент повторяемости рассчитывается по формуле

$$K_n = \frac{N_u - N_{u0}}{N_u}, \quad (4.5)$$

где N — общее количество элементов объекта.

Коэффициент унификации применяется для оценки ряда объектов одной серии и рассчитываемый по формуле

$$K_{un} = \frac{\sum N_{ui} - m}{\sum N_{ui} - N_{u\max}}, \quad (4.6)$$

где N_{ui} — количество элементов объекта с единым конструктивным решением; $N_{u\max}$ — максимальное количество элементов объекта с единым конструктивным решением; m — общее количество неповторяющихся элементов объекта с единым конструктивным решением. Суммирование ведется по количеству объектов ряда в серии.

Показатели транспортабельности используются для оценки возможностей транспортировки объекта и всевозможных сопроводительных процедур. Сюда входят сопутствующие транспортировке и подготовке к ней финансовые, материальные и человеческие затраты. Как правило, такого рода показатели относятся к конкретному типу

транспортировки: железнодорожной, воздушной и т. д. Примерами показателей транспортабельности являются трудоемкость подготовки единицы продукции к перевозке, стоимость перевозки продукции на единицу расстояния, продолжительность разгрузки продукции, используемые емкости, а также свойство продукции сохранять неизменными свои параметры в ходе транспортировки.

Ресурсосберегающие ПК

Этот вид ПК используется для оценки уровня затрачиваемых ресурсов в ходе разработки, создания и эксплуатации исследуемого объекта. Ресурсосберегающие ПК делятся на две группы: показатели технологичности и показатели ресурсопотребления.

Показатели технологичности характеризуют структуру и состав объекта в контексте уровня материальных затрат (расходные материалы, энергия, труд и время). Такого рода показатели выбираются на основании специфических особенностей продукции с учетом требований, установленных в [6] и [7]. Примерами показателей технологичности являются: удельная трудоемкость, удельная материалоемкость, коэффициент сборности и коэффициент использования материала. Эти показатели используются для оценки труда, финансовых затрат и расхода энергии и времени на весь жизненный цикл единицы продукции. На их основании производится планирование и прогнозирование развития отдельной ветви промышленности.

Показатели ресурсопотребления характеризуют материальные, энергетические и человеческие затраты по использованию объекта исследования. Примерами таких показателей являются расход топлива и количество задействованных операторов.

Природоохранные ПК

Эта группа показателей направлена на оценивание воздействия продукции (услуги) на окружающую среду в целом и на человека в частности. Природоохранные показатели делятся на два класса: показатели безопасности и показатели экологичности.

Показатели безопасности исследуют те свойства объекта, которые влияют на безопасность человека на всех жизненных циклах продукции (услуги), включая потребление, транспортировку, хранение и утилизацию. Примерами таких показателей являются параметры изоляции электрических приборов и время срабатывания защитных механизмов. Номенклатура этих показателей разрабатывается на основании специфики использования продукции для разнообразных видов опас-

ности: травмоопасность, пожароопасность, взрывоопасность, химическая опасность, биологическая опасность и т. д. Численная оценка показателей безопасности проводится на основании требований государственных регламентов по безопасности труда, а также норм пожарной безопасности и иных документов в области безопасности жизнедеятельности.

Показатели экологичности характеризуют параметры продукции (услуги), отвечающие за вредное воздействие на окружающую среду на всем жизненном цикле объекта. Примерами таких показателей являются: уровень опасных химических соединений, выделяющихся в окружающую среду, уровень акустических и вибрационных воздействий на окружающую среду, уровень радиационного и электромагнитного излучений.

Допускаемые пределы численных значений экологических показателей устанавливаются на основании требований международных и государственных стандартов, а также иных документов в области охраны природных ресурсов. На основании этих показателей делаются выводы о степени рациональности природопользования, защите окружающей среды и безопасности граждан.

На практике качество продукции (услуги) зачастую оценивают, исходя из наличия товарного знака. *Товарный знак* — условное обозначение, выделяющее данную продукцию из серии аналогов. Наличие товарного знака существенным образом меняет конкурентоспособность товара. Это достигается за счет упрощения ориентации среди однотипных товаров с точки зрения покупателя. В настоящее время товарные знаки часто являются объектами продажи, причем стоимость коррелирует с уровнем популярности среди потребителей данной продукции.

В целом, любую продукцию или услугу можно оценить, используя разные показатели качества, сочетание которых будет отражать разные аспекты объекта исследования. Целесообразность применения тех или иных ПК устанавливается на этапе создания номенклатуры ПК продукции.

3. Выбор номенклатуры ПК

Номенклатуры ПК составляются из соображений назначения продукции (услуги), маркетинговых исследований, ГОСТов и иных нормативных документов в заданной сфере. В общем виде это долгая и сложная процедура, часто приводящая к противоречиям. Поскольку на данный момент на территории РФ отсутствуют единые реко-

мендации по составлению номенклатуры ПК, эта задача решается на основании субъективных подходов. Общий алгоритм составления номенклатуры ПК предполагает следующие этапы: выбор группы продукции, определение задачи номенклатуры ПК, итоговое составление.

Выбор группы продукции осуществляется в соответствии с международной классификацией товаров и услуг [8]. Всего существует 45 классов МКТУ, классы с 1 по 34 включительно относятся к товарам, классы с 35 по 45 — к услугам. Каждому классу соответствует своя номенклатура ПК, причем в зависимости от конкретного типа продукции и конечных целей она может быть изменена за счет добавления новых показателей либо устранения неактуальных.

Международная классификация товаров и услуг (классы 1–45)

1 — химическая продукция; необработанные синтетические смолы, необработанные пластические материалы; удобрения; составы для тушения огня; препараты для закалки и пайки металлов; препараты для консервирования пищевых продуктов; kleящие вещества для промышленных целей.

2 — краски, олифы, лаки; защитные средства; красящие вещества; протравы; необработанные природные смолы; листовые и порошкообразные металлы.

3 — препараты для отбеливания и прочие вещества для стирки; препараты для чистки, полирования, обезжиривания и абразивной обработки; мыла; парфюмерные изделия, эфирные масла, косметика; зубные пасты.

4 — технические масла и смазки; смазочные материалы; составы для поглощения, смачивания и связывания пыли; топлива (в том числе моторные бензины) и осветительные материалы; фитили и свечи для освещения.

5 — фармацевтические и ветеринарные препараты; гигиенические препараты для медицинских целей; диетическое питание; пищевые добавки; пластиры, перевязочные материалы; материалы для пломбирования зубов и изготовления зубных слепков; дезинфицирующие средства.

6 — обычные металлы и их сплавы; металлические строительные материалы; передвижные металлические конструкции и сооружения; металлические материалы для рельсовых путей; скобяные и замочные изделия; металлические трубы; изделия из обычных металлов, не относящиеся к другим классам; руды.

7 — машины и станки; двигатели; соединения и элементы передач; сельскохозяйственные орудия, иные, чем орудия с ручным управлением; инкубаторы; торговые автоматы.

8 — ручные орудия и инструменты; ножевые изделия, вилки и ложки; холодное оружие; бритвы.

9 — приборы и инструменты научные, морские, геодезические, фотографические, кинематографические, оптические, для взвешивания, измерения, сигнализации, контроля (проверки); аппаратура для записи, передачи, воспроизведения звука или изображений; магнитные носители информации, диски звукозаписи; программное обеспечение; оборудование для тушения огня.

10 — приборы и инструменты хирургические, медицинские, стоматологические и ветеринарные; протезы конечностей, глазные и зубные протезы; ортопедические изделия; материалы для наложения швов.

11 — устройства для освещения, нагрева, тепловой обработки пищевых продуктов, для охлаждения, сушки, вентиляции, водораспределительные и санитарно-технические.

12 — транспортные средства; аппараты, перемещающиеся по земле, воде и воздуху.

13 — огнестрельное оружие; боеприпасы и снаряды; взрывчатые вещества; фейерверки.

14 — благородные металлы и их сплавы, изделия или покрытия из них, не относящиеся к другим классам; ювелирные изделия, бижутерия, драгоценные камни; часы и прочие хронометрические приборы.

15 — музыкальные инструменты;

16 — бумага, картон; печатная продукция; материалы для переплетных работ; фотоснимки; писчебумажные товары; клейкие вещества для канцелярских и бытовых целей; принадлежности для художников; кисти; учебные материалы и наглядные пособия; пластмассовые материалы для упаковки; шрифты;

17 — каучук, резина, асбест, слюда и изделия из этих материалов, не относящиеся к другим классам; изделия из частично обработанных пластмасс; материалы для конопачения;

18 — кожа и имитация кожи, изделия из них, не относящиеся к другим классам; шкуры животных; дорожные сундуки, чемоданы; зонты от дождя и солнца; трости; хлысты, кнуты, конская сбруя и шорные изделия;

19 — неметаллические строительные материалы; неметаллические жесткие трубы для строительных целей; асфальт, смолы и битум; неме-

таллические передвижные конструкции и сооружения; неметаллические памятники;

20 — мебель, зеркала, обрамления для картин и т. п.; изделия, не относящиеся к другим классам, из дерева, пробки, камыша, тростника, ивы, рога, кости, слоновой кости, китового уса, панциря черепах, раковин, янтаря, перламутра, морской пенки, из заменителей этих материалов или из пластмасс;

21 — домашняя или кухонная утварь и посуда; расчески и губки; щетки (за исключением кистей); приспособления для чистки и уборки; мочалки металлические; необработанное или частично обработанное стекло (за исключением строительного стекла); изделия из стекла, фарфора и фаянса, не относящиеся к другим классам;

22 — канаты, веревки, бечевки, сети, палатки, навесы, брезент, паруса и мешки, не относящиеся к другим классам; текстильное волокнистое сырье;

23 — нити текстильные и пряжа;

24 — ткани и текстильные изделия, не относящиеся к другим классам; покрывала постельные и скатерти; одеяла;

25 — одежда, обувь, головные уборы;

26 — кружева и вышитые изделия, тесьма и ленты; пуговицы, кнопки, крючки и блочки, булавки и иглы; искусственные цветы;

27 — ковры, циновки, маты, линолеум и прочие покрытия для полов; стенные обои и обивочные материалы (нетекстильные);

28 — игры, игрушки; гимнастические и спортивные товары, не относящиеся к другим классам; елочные украшения;

29 — мясо, рыба, птица и дичь; мясные экстракти; овощи и фрукты консервированные, желе, варенье, компоты; яйца; молоко и молочные продукты; масла и жиры пищевые;

30 — кофе, чай, какао и заменители кофе; рис; мука и зерновые продукты; хлебобулочные изделия, кондитерские изделия; мороженое; сахар, мед; соль; горчица; уксус, приправы; пряности; лед для охлаждения;

31 — зерно и сельскохозяйственные, садово-огородные и лесные продукты, не относящиеся к другим классам; живые животные; свежие фрукты и овощи; семена; живые растения и цветы; корма для животных; солод;

32 — пиво; минеральные и газированные воды и прочие безалкогольные напитки; фруктовые напитки и фруктовые соки; сиропы и прочие составы для изготовления напитков;

-
- 33 — алкогольные напитки (за исключением пива);
 - 34 — табак, курительные принадлежности; спички;
 - 35 — реклама; менеджмент в сфере бизнеса; административная деятельность в сфере бизнеса; офисная служба;
 - 36 — страхование; финансовая деятельность; кредитно-денежные операции; операции с недвижимостью;
 - 37 — строительство; ремонт; установка оборудования;
 - 38 — телекоммуникации;
 - 39 — транспортировка; упаковка и хранение товаров; организация путешествий;
 - 40 — обработка материалов;
 - 41 — воспитание; обеспечение учебного процесса; развлечения; организация спортивных и культурно-просветительных мероприятий;
 - 42 — научные и технологические услуги и относящиеся к ним научные исследования и разработки; услуги по промышленному анализу и научным исследованиям; разработка и усовершенствование технического и программного обеспечения компьютеров.
 - 43 — услуги по обеспечению пищевыми продуктами и напитками; обеспечение временного проживания;
 - 44 — медицинские услуги; ветеринарные услуги; услуги в области гигиены и косметики для людей и животных; услуги в области сельского хозяйства, огородничества и лесоводства;
 - 45 — услуги юридические; службы безопасности для защиты имущества и индивидуальных лиц; персональные и социальные услуги, оказываемые другим для удовлетворения потребностей индивидуальных лиц.

Определение задачи номенклатуры ПК осуществляется для достижения следующих целей:

- повышение качества продукции (услуги);
- дальнейшее включение номенклатуры ПК в техническую или иную сопроводительную документацию к продукции;
- оформление сертификата продукции (услуги).

Итоговая номенклатура ПК конкретной продукции (услуги) устанавливается с учетом анализа существующих в заданной области стандартов и потребительских запросов. После ее составления можно приступать к непосредственной оценке качества исследуемого объекта.

4. Методы определения значений ПК

Существуют три основных метода определения значений ПК: метод экспертизы оценок, метод корреляционного анализа, метод анализа затрат.

Метод экспертных оценок

Этот метод оценки значений ПК основывается на использовании опыта специалистов в конкретной области интереса. Корректность принятия решения определяется знаниями, опытом и способностью делать прогнозирующие выводы привлекаемой группы экспертов, а также рядом иных индивидуальных навыков, учесть которые невозможно [9]. Метод экспертных оценок применяется в следующих случаях:

- элементы номенклатуры ПК не могут быть формализованы математически;
- отсутствует представительная статистика по свойствам исследуемого объекта;
- продукция эксплуатируется в условиях высокой неопределенности;
- отсутствуют технические возможности для выполнения точных количественных расчетов либо финансирование этих технических возможностей;
- есть экстремальная ситуация.

В общем случае методы экспертной оценки разделяются на два класса: индивидуальные оценки, основанные на индивидуальном мнении каждого из членов экспертной группы, и коллективные оценки, основанные на принятом коллективом экспертов решении. Методы, основанные на коллективной работе экспертов, считаются более точными и полными, поскольку предполагают разносторонний анализ объекта исследования. С другой стороны, они могут быть отягощены сложностью формирования итогового решения коллектива из-за психологической несовместимости отдельных участников, а также по причине давления «авторитетов» на других участников. Как индивидуальные, так и коллективные оценки могут варьироваться в принципах анализа информации. Классификация экспертных методов представлена на рис. 4.3.

Метод анкетного опроса основан на разработке анкет с перечнем вопросов об исследуемом объекте. Анкеты направляются экспертам, заполняются ими в установленный промежуток времени и возвращаются ответственному за проведение оценки качества лицу. Затем анкетные данные обрабатываются с использованием статистических методов. Достоинством анкетного опроса является его скорость и независимость мнения отдельных экспертов, недостатком — принципиальная невозможность составить наиболее эффективный перечень вопросов, учитывающий опыт отдельно взятых экспертов.

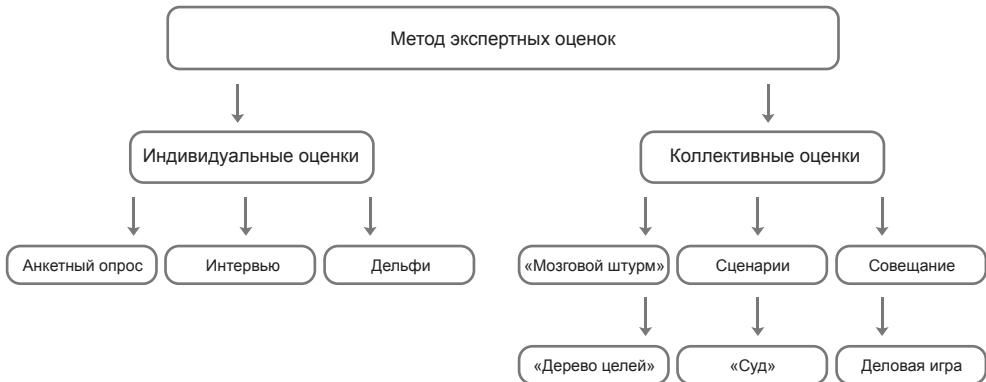


Рис. 4.3. Классификация экспертных методов

Метод интервью основан на беседе с каждым из членов экспертной группы, в ходе которой задаются заранее установленные вопросы. Достоинство этого метода заключается в возможности получения дополнительной информации, выходящей за пределы классического анкетного опроса. Важным фактором является личность интервьюера, скорость его мышления и способность ориентироваться в ситуации.

Метод Дельфи (метод дельфийского оракула) является итеративной формой метода анкетного опроса. На первом этапе проводится традиционный анкетный опрос экспертов, причем у них нет необходимости аргументировать свои оценки. После этого данные обрабатываются, выделяются общие закономерности экспертной оценки, касающиеся различных свойств исследуемого объекта. На втором этапе полученная информация сообщается экспертам — они могут либо согласиться с общими выводами, либо выставить новые оценки, причем в этот раз их необходимо аргументировать. Затем процедура повторяется еще несколько раз. После четвертой итерации, как правило, значения ПК, выставленные экспертами, стабилизируются, и оценку можно считать завершенной. Достоинство метода Дельфи заключается в наличии обратной связи с членами экспертной группы, что существенно повышает информативность всей процедуры. С другой стороны, этот метод весьма трудоемок и требует значительных временных ресурсов.

Метод «мозгового штурма» основан на активном творческо-ориентированном обсуждении. Этот метод проводится в два этапа: генерация идей и последующий их анализ. На первом этапе выдвигается как можно большее количество аргументов в пользу того или иного итогового решения об оценке качества продукции (услуги), при этом запре-

щается критика, обоснование высказываний, присоединение к чужому мнению. Также на первом этапе в экспертную группу могут входить специалисты из разных областей с разным профессиональным опытом, снимаются любые ограничения по компетентности, статусу, возрасту и социальному положению, создается атмосфера взаимопонимания и непринужденности. На втором этапе отбираются наиболее ценные высказывания; в группу включены только специалисты, досконально знакомые с объектом исследования. Все предложения, выдвинутые на первом этапе, анализируются, при необходимости уточняются и дорабатываются. Достоинством этого метода является непринужденная обстановка, в ходе которой происходит обмен опытом и видением будущего отдельными участниками экспертной комиссии, возникают новые видения проблемы и новые подходы к исследованию объекта оценивания. Существует множество вариаций метода «мозгового штурма», например, такие, как методы «мозговой атаки», «обратного мозгового штурма», «двойного мозгового штурма». Более подробно они рассмотрены в [10].

Метод сценариев используется в задачах прогнозирования и оптимизации. На первом этапе эксперты составляют сценарий — документ с подробным анализом свойств исследуемого объекта и дальнейшие предложения по улучшению качества продукции (услуги). На втором этапе сценарии обсуждаются и согласуются между собой, после чего экспертная группа составляет единый итоговой сценарий. Достоинством метода сценариев является комплексный подход к оценке качества, охватывающий весь жизненный цикл продукции. К недостаткам можно отнести вероятностный характер выдвигаемых прогнозов.

Метод совещаний является самым простым и быстрым способом получения коллективной оценки. Он основывается на проведении дискуссии между членами экспертной комиссии для присвоения величин ПК оцениваемой продукции. В отличие от метода «мозгового штурма», участники могут критиковать чужие высказывания, что позволяет уменьшить вероятность упущения отдельных факторов в ходе принятия итогового решения. Недостатком метода совещаний является вероятность допущения ошибки из-за авторитетности одного из участников экспертной комиссии, его социального положения и ораторских способностей.

Метод «дерева целей» основан на анализе многоуровневых ПК, выстроенных иерархическим образом. В этом методе задача общей оцен-

ки качества разбивается на подзадачи, те, в свою очередь, также разбиваются на более детальные составляющие. Метод «дерева целей» используется в случае, когда необходимо разложить комплексный ПК на более простые составляющие. Характер взаимосвязи между отдельными составляющими чрезвычайно сложен, поэтому часто «дерево целей» корректируется по ходу создания. Более подробно про этот метод можно почитать в [11]. Достоинством его является эффективность и объективность процедуры оценки качества, к недостаткам можно отнести большие временные затраты.

Метод «суда» представляет собой одну из форм метода совещаний. Его реализация проходит по аналогии с судебным процессом, при этом в роли «обвиняемых» выступают значения ПК исследуемого объекта, в роли «защиты» и «прокурора» — члены экспертной комиссии, в роли «свидетелей» — различные сопутствующие жизненному циклу продукции условия. Метод «суда» используется в случае, если в экспертной группе присутствуют специалисты с резко отличающимися мнениями относительно исследуемого объекта.

Метод деловых игр предполагает моделирование исследуемого объекта с принятymi значениями ПК. В отличие от большей части коллективных разновидностей экспертных методов, где итоговая оценка качества выставляется в ходе обсуждения, в этом методе предполагается активная деятельность членами экспертной комиссии в соответствии с заранее составленными правилами. Деловые игры активно применяются в управленческой деятельности крупных организаций. Главное достоинство этого метода заключается в гибкости и возможности учета новых факторов на любом этапе проведения оценки, к недостаткам можно отнести большую трудоемкость и сложность организации деловой игры.

Метод корреляционного анализа

В основе корреляционного анализа лежит установление взаимосвязи между отдельными параметрами исследуемого объекта. Этот метод, как правило, включает в себя четыре этапа.

1. Постановка цели оценки качества объекта исследования, сбор априорной информации о продукции, формирование номенклатуры ПК. На первом этапе необходимо учитывать физическую природу предмета оценки, поскольку включение в номенклатуру ПК логически не связанных параметров приведет к некорректной модели. С другой стороны, выбираемые ПК не должны находиться между собой в пря-

мой функциональной связи, что сделает модель объекта избыточной. Также все ПК должны быть приведены в единой безразмерной шкале.

2. Сбор статистических данных по всей номенклатуре ПК, причем результаты наблюдений должны быть независимыми, а выборка — полной и репрезентативной.

3. Составление корреляционной матрицы, т. е. расчет параметров зависимости каждого ПК от всех возможных параметров. Это и будут коэффициенты корреляции, по определению [12] их значения будут принадлежать диапазону от 0 до 1. При этом коэффициенты корреляции ранжируются по силе корреляционной связи: для параметров со слабой связью коэффициент корреляции будет находиться в диапазоне от 0 до 0,3; для параметров со средней связью — от 0,3 до 0,7; для параметров с сильной связью — от 0,7 до 1.

4. Расчет выборочного коэффициента корреляции (значения ПК) для каждого из параметров на основе наиболее сильных элементов корреляционной матрицы и оценка точности. Существует множество методов определения выборочного коэффициента корреляции и оценки его точности, подробно они описаны в [13].

Корреляционный анализ должен выполняться с высокой тщательностью, поскольку в случае изменения одного из параметров исследуемого объекта могут поменяться и другие. Эти неучтенные изменения впоследствии могут привести к существенным ошибкам в итоговом выводе [14]. Достоинством корреляционного анализа является точная математическая формализация и возможность оценить погрешность полученных результатов, однако часто итоговые зависимости между параметрами оцениваемого объекта существенно упрощаются за счет предположения о линейности наблюдаемой корреляции.

Метод анализа затрат

Этот метод основан на разделении затрат на разработку, создание, эксплуатацию и утилизацию объекта. Метод анализа затрат используется при необходимости оценить продукцию либо услугу с рыночной точки зрения. Суть метода заключается в присвоении ПК номенклатуры весовых коэффициентов в зависимости от степени вклада конкретного показателя в итоговую оценку продукции и последующий отбор наиболее актуальных показателей. Существует несколько вариаций метода анализа затрат [15]:

- *метод технического нормирования*, в основе которого лежит поэлементный расчет материальных норм используемых ресурсов;

- *индексный метод*, анализирующий степень влияния изменения качества продукции на сопутствующие затраты;
- *метод балльной оценки*, в котором каждому параметру исследуемого объекта присваивается балл, а затем производится расчет среднего балла, характеризующего объект в целом;
- *метод удельной цены*, с помощью которого рассчитывается стоимость единицы параметра продукции.

Лабораторное задание

Необходимо выставить оценку онлайн-приложению методом балльной оценки. Основные факторы оценки — соответствующий своим задачам функционал, скорость реакции и удобство пользователя.

1. Составление номенклатуры ПК

В международной классификации товаров и услуг онлайн-приложения попадают в 9 класс (программное обеспечение). Согласно международному стандарту [16], программные обеспечение рекомендуются оценивать на основании *типовой номенклатуры*.

В зависимости от цели использования онлайн-приложения часть показателей может быть устранена, также могут быть добавлены принципиально новые ПК, наилучшим образом представляющие интерес свойства исследуемого приложения. Студенту необходимо составить номенклатуру ПК для оценки своего онлайн-приложения (не менее пяти ПК из перечня и не менее трех новых ПК, оптимально отвечающих поставленной задаче и максимально эффективно характеризующих предложенное онлайн-приложение). Составленную номенклатуру ПК вместе с описанием необходимо занести в табл. 4.1.

Номенклатура ПК, рекомендуемая для оценки качества программного обеспечения

1. Показатели надежности:

- устойчивость — возможность поддержания программы в рабочем состоянии в случае технического сбоя, некорректности входных данных и ошибок пользователя;
- работоспособность — способность функционировать в течение длительного времени при максимальном потоке обрабатываемой информации.

2. Показатели сопровождения:

- структурность — согласованность отдельных узлов ПО;
- наглядность — представление отдельных элементов ПО в наиболее легко воспринимаемой форме;
- простота конструкции — наиболее рациональное выполнение структуры ПО с точки зрения восприятия;
- повторяемость — процентное содержание типовых проектных решений.

3. Показатели удобства:

- простота и удобство — выполнение ПО в форме, максимально способствующей быстрому пониманию и освоению;
- доступность описания — простота, наглядность и полнота описания сопроводительной документации.

4. Показатели эффективности:

- уровень автоматизации — степень автоматизации процесса обработки входных данных;
- ресурсоемкость — минимальное количество необходимых компьютерных ресурсов;
- универсальность — возможность использования ПО для решения разнообразных задач;
- мобильность — возможность применения ПО на мобильных устройствах;
- работа в интернете — возможность адаптации ПО к интернету;
- модифицируемость — возможность оперативного внесения изменений в структуру ПО.

5. Показатели корректности:

- полнота реализации — полное соответствие функционала ПО решаемой с его помощью задачи;
- согласованность — однозначная и непротиворечивая обработка входных данных;
- корректность работы — корректность обработки выходных данных;
- проверенность — полнота и актуальность тестовых данных.

2. Присвоение весовых коэффициентов ПК

Каждому из выбранных ПК необходимо присвоить весовой коэффициент ω_i . Значение каждого из коэффициентов ω_i должно находиться в диапазоне $[0;1]$, причем чем больший вклад i -ый ПК вносит в общую оценку о качестве онлайн-приложения, тем ближе значение

ние ω_i к единице. Весовые коэффициенты должны быть нормированы, т. е. $\sum \omega_i = 1$. Если какое-либо из значений оказывается нулевым либо слишком близким к нулю, то необходимо вернуться к предыдущему этапу и выбрать ПК заново. Полученные весовые коэффициенты нужно занести в таблицу 4.1.

3. Присвоение баллов выбранным ПК

Каждому из ПК необходимо поставить оценку по десятибалльной шкале, руководствуясь следующими соображениями:

- 0 — качество неприемлемо;
- 1—9 — качество находится на некоем приемлемом уровне, причем чем лучше выражено, по мнению студента, качество, тем выше балл;
- 10 — качество очень высоко.

Результаты необходимо занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Оценка качества онлайн-приложения

Показатель качества	Описание	Весовой коэффициент ω_i	Балл K_i
ПК1	Описание 1	ω_1	K_1
ПК2	Описание 2	ω_2	K_2
ПК 3	Описание 3	ω_3	K_3
...

4. Расчет итоговой оценки качества онлайн-приложения

Рассчитать итоговую оценку качества онлайн-приложения по формуле

$$K = \sum K_i \cdot \omega_i \quad (4.7)$$

Структура отчета

Отчет должен содержать следующие данные:

- 1) цель лабораторной работы;
- 2) описание исследуемого онлайн-приложения с указанием ссылки на его расположение;
- 3) заполненную табл. 4.1;
- 4) рассчитанную по формуле (4.7) оценку качества онлайн-приложения;
- 5) вывод, содержащий общую характеристику качества онлайн приложения, выявленные в ходе выполнения лабораторной работы дефекты и рекомендации по его улучшению.

Контрольные вопросы

1. Что такое качество?
2. Какие задачи в современном обществе решает квалиметрия?
3. Приведите пример задачи, которая решается на основе оценки качества продукции (услуги).
4. Что такое номенклатура ПК?
5. В чем заключается различие комплексных и единичных ПК?
6. Что характеризуют показатели надежности?
7. Для решения каких задач используются эргономические ПК?
8. Приведите пример природоохранных ПК.
9. Как осуществляется составление номенклатуры к конкретной продукции или услуге?
10. Какие существуют методы определения значений ПК?
11. В каких случаях используется метод экспертных оценок?
12. В чем заключается преимущество метода корреляционного анализа?
13. Для чего в методе балльной оценки необходимо нормировать весовые коэффициенты?

Список литературы для лабораторной работы № 4

1. Что такое качество? / Г. Г. Азгальдов [и др.]. — М. : Экономика, 1968. — 112 с.

2. ГОСТ 15467–79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. — М. : Стандартинформ, 2009. — 22 с.
3. Уемов А. И. Вещи, свойства и отношения. — М. : Издательство академии наук СССР, 1963. — 96 с.
4. Чекмарев А. Н. Квалитетрия и управление качеством. Ч. 1. Квалитетрия : учеб. пособие. — Самара : Изд-во Самарского гос. аэрокосм. ун-та, 2010. — 172 с.
5. ГОСТ 16456–70. Качество продукции. Эргономические показатели. Номенклатура. — М. : Издательство стандартов, 1980. — 16 с.
6. ГОСТ 14.201–83. Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования. — М. : Стандартинформ, 2009. — 22 с.
7. ГОСТ 14.202–73. Единая система технологической подготовки производства. Правила выбора показателей технологичности конструкции изделий. — М. : Издательство стандартов, 1984. — 12 с.
8. Международная классификация товаров и услуг для регистрации знаков. Десятая редакция (4-е изд.). МКТУ (10–2015) [Электронный ресурс]. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/420273241>.
9. Орлов А. И. Экспертные оценки : учеб. пособие. — М. : ИВСТЭ, 2002. — 98 с.
10. Jonah Lehrer. The brainstorming myth // The New Yorker, 2012. — 52 с.
11. Азгальдов Г. Г., Береза Т. Н. Деревья свойств в оценке качества продукции. Препринт — М. : ЦЭМИ РАН, 2007. — 245 с.
12. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов. — 10-е издание. — М. : Высшая школа, 2004. — 479 с.
13. Елисеева И. И., Юзбашев М. М. Общая теория статистики : учебник. — М. : Финансы и Статистика, 2002. — 480 с.
14. Рябушкин Т. В. Статистические методы анализа экспертных оценок. — М. : Наука, 1977. — 384 с.
15. Основы оценивания качества продукции : учеб. пособие / В. В. Рыжаков [и др.]. — Пенза : Изд-во Пенз. технол. ин-та, 2001. — 308 с.
16. ISO 9126:1991. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению. — М. : Издательство стандартов, 1994. — 22 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Сертификация средств связи

Цель работы

Цель лабораторной работы № 5 включает в себя следующие аспекты:

- закрепление теоретических навыков дисциплинарного раздела «сертификация»;
- изучение системы сертификации средств связи в Российской Федерации;
- освоение практических навыков по работе с сертификационной документацией в области связи.

Основные теоретические сведения

Сертификация в области связи

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

Сертификация осуществляется в целях:

- удостоверения соответствия продукции, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работ, услуг или иных объектов техническим регламентам, стандартам, сводам правил, условиям договоров;
- содействия приобретателям в компетентном выборе продукции, работ, услуг;

- повышения конкурентоспособности продукции, работ, услуг на российском и международном рынках;
- создания условий для обеспечения свободного перемещения товаров по территории Российской Федерации, а также для осуществления международного экономического и научно-технического сотрудничества и международной торговли.

В случаях, установленных техническими регламентами и законодательством, для продукции (услуг) может требоваться процедура обязательного подтверждения соответствия — обязательной сертификации или декларирования соответствия [1].

Так, в соответствии с федеральным законом Российской Федерации «О связи» от 07.07.2003 № 126-ФЗ [2] оборудование (продукция), используемое в сетях связи общего пользования, подлежит обязательному подтверждению соответствия в области связи. Определение этому понятию дано постановлением Правительства Российской Федерации № 214 от 13.04.2005: обязательное подтверждение соответствия средств связи — это документальное удостоверение соответствия средств связи техническому регламенту, принятому согласно законодательству Российской Федерации о техническом регулировании и требованиям, предусмотренным нормативными правовыми актами Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (Минкомсвязи России) по вопросам применения средств связи посредством их обязательной сертификации или принятия декларации о соответствии.

Государственные органы–участники процедуры обязательного подтверждения соответствия средств связи

Государственными органами, участвующими в осуществлении процедуры обязательного подтверждения соответствия в области связи, являются:

- Правительство Российской Федерации (определяет порядок организации и проведения работ по обязательному подтверждению соответствия средств связи и утверждает правила проведения сертификации);
- Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (Минкомсвязи России)⁵ (определяет порядок осуществления контроля над соблюдением правил держателями

⁵ Образовано в 2008 г., до того приведенные далее функции выполнялись Министерством информационных технологий и связи Российской Федерации (2004–2008 гг.), Министерством транспорта и связи Российской Федерации (март — май 2004 г.), Министерством связи и информатизации Российской Федерации (1999–2004 гг.)

сертификатов и декларантами обязательств по обеспечению соответствия; определяет порядок ведения реестров сертификатов соответствия и деклараций о соответствии; утверждает форму заявки о проведении обязательной сертификации средств связи, формы сертификата соответствия и декларации о соответствии, а также методики проведения испытаний);

- Федеральное агентство связи (Россвязь)⁶ (федеральный орган исполнительной власти в области связи, указанный в 126-ФЗ. В сфере сертификации и декларирования соответствия средств связи Россвязь является непосредственным организатором системы сертификации в области связи, регистрирует декларации о соответствии, осуществляет учет бланков сертификатов соответствия, ведет и публикует реестры сертификатов соответствия и деклараций о соответствии);
- Федеральная служба по надзору в сфере связи (Россвязьнадзор)⁷ (осуществляет контроль над соблюдением держателями сертификатов соответствия и декларантами обязательств по обеспечению соответствия поставляемых средств связи установленным требованиям в период действия сертификатов соответствия и деклараций о соответствии);
- Федеральная служба по аккредитации (Росаккредитация) (осуществляет аккредитацию органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров)).

Обязательная сертификация и декларирование соответствия с обласди связи

Перечень средств связи, подлежащих обязательной сертификации, утвержден постановлением Правительства Российской Федерации № 532 от 25.06.2009 [4] и включает, в основном, оборудование, выполняющее функции коммутации и маршрутизации, радиопередающее оборудование, цифровые транспортные системы, оборудование используемое для учета объема оказанных услуг. На такое оборудование оформляется сертификат соответствия. Для оборудования, не включенного в данный перечень, но подключенного к единой сети электросвязи, оформляется декларация о соответствии.

⁶ Образовано в 2004 г., до того приведенные далее функции выполнялись Министерством связи и информатизации Российской Федерации.

⁷ Образована в 2004 г., до того приведенные далее функции выполнялись Министерством связи и информатизации Российской Федерации.

Обязательное подтверждение соответствия не требуется для оборудования, не подключаемого к единой сети электросвязи (вещательные телевизионные и радиоприемники, рации и т. п.).

Процедура сертификации средства связи

С 2005 г. процедура сертификации средств связи выполняется органом по сертификации — организацией, аккредитованной на данный вид деятельности. По состоянию на 1 сентября 2016 г. в Российской Федерации аккредитовано пять соответствующих органов [7].

Заявитель (юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, заинтересованный в сертификации оборудования, производитель или продавец оборудования) направляет заявку в орган по сертификации, который ее принимает, а также образцы сертифицируемого оборудования. Далее орган по сертификации проводит идентификацию и отбор образцов, выбирает установленные требования, на соответствие которым будет проводиться сертификация, и направляет отобранные образцы для проведения испытаний в аккредитованную испытательную лабораторию (центр) (по состоянию на 1 сентября 2016 г. их насчитывается 19 [8]).

Испытательная лаборатория непосредственно осуществляет сертификационные испытания образцов на соответствие требованиям, указанным органом по сертификации, и оформляет протоколы испытаний, которые направляются обратно в орган по сертификации. На основании протоколов орган по сертификации принимает решение о выдаче заявителю сертификата соответствия средства связи либо мотивирует отказ в его выдаче. В случае положительного решения заверенная копия сертификата направляется в Россвязь для регистрации в реестре сертификатов. В случае отрицательного решения сведения о средствах связи, не прошедших обязательную сертификацию, направляются в Россвязьнадзор.

После успешного прохождения сертификации заявитель приобретает статус держателя сертификата соответствия на срок его действия.

Процедура декларирования соответствия средства связи

Процедура декларирования соответствия средства связи несколько проще процедуры сертификации и применяется к оборудованию, неспособному серьезно нарушить функционирование сети связи общего пользования. В отличие от сертификации, декларирование осуществляется самим заявителем путем принятия декларации о соответствии на основании собственных доказательств и доказательств, полученных с участием аккредитованной испытательной лаборатории.

Для проведения данной процедуры заявитель сам устанавливает требования, на соответствие которым будут испытываться образцы, сам заключает договор с испытательной лабораторией, которой он предоставляет образцы декларируемого средства связи и его техническое описание на русском языке, и, наконец, на основании протоколов испытаний сам составляет декларацию соответствия, два экземпляра которой он направляет в Россвязь⁸.

Лабораторное задание

1. Ознакомиться с нормативно-правовой документацией, регламентирующей подтверждение соответствия в области связи:

- Федеральный закон Российской Федерации «О связи» от 07.07.2003 № 126-ФЗ [2];
- Постановление Правительства Российской Федерации № 214 от 13.04.2005 [3];
- Постановление Правительства Российской Федерации № 532 от 25.06.2009 [4];
- Приказ Мининформсвязи России № 66 от 07.06.2005 (с изм. и доп.) «Об утверждении формы сертификата соответствия» [5];
- Приказ Минкомсвязи России № 288 от 29.07.2015 «Об утверждении формы декларации о соответствии средств связи» [6].

2. Ознакомиться с информационными порталами Минкомсвязи России и Россвязи. На информационном портале Россвязи найти названия и реквизиты организаций, осуществляющих работы, необходимые для проведения сертификации и декларирования средств связи, а также список приказов Минкомсвязи России по утверждению различных «Правил применения оборудования...» (раздел «Документы» → → «Приказы Министерства связи и массовых коммуникаций»).

3. Получить индивидуальное задание от преподавателя, содержащее название двух средств связи (одно из которых подлежит обязательной сертификации), для которых потребуется выполнение процедуры подтверждения соответствия.

4. Для средства связи, не требующего обязательной сертификации, выбрать требования, по которым оно должно испытываться при декла-

⁸ В отличие от сертификата соответствия, декларация соответствия изготавливается на обычной бумаге по форме, утвержденной Минкомсвязи России.

рировании соответствия, и оформить декларацию соответствия средства связи согласно образцу⁹ и требованиям приложения 4, исходя из предположения, что все испытания пройдены успешно. Для этого:

- в п. 1 в качестве заявителя указать реквизиты вымышленной организации, в качестве руководителя указать себя;
- средство связи (там же) указать в соответствии с вариантом задания, данные о заводе-изготовителе найти с помощью поисковых систем, в том числе с помощью информационных ресурсов Россвязи;
- для заполнения перечня требований (там же) можно воспользоваться пп. [7–13] списка литературы к главе;
- декларируемое утверждение (там же) выделить жирным шрифтом;
- в п. 2 на основании технической документации устройства (найти самостоятельно) указать сведения, требуемые по форме декларации; если какой-либо из пунктов отсутствует, то указать «не требуется» или «не применяется»; в случае невозможности найти с помощью поисковых систем какие-либо необходимые для заполнения реальные сведения об устройстве — подставить правдоподобные вымышленные;
- в п. 3 указать ссылки на протоколы испытаний (вымышленные), проведенных испытательной лабораторией;
- датой принятия декларации (п. 4) считать дату проведения лабораторной работы;
- сведения в п. 5 не заполнять.

5. Для средства связи, требующего обязательной сертификации, подготовить заявку на ее прохождение (см. образец в приложении 5). Для этого:

- в полях «наименование органа по сертификации» и «адрес места нахождения органа по сертификации» указать реквизиты одной из организаций, найденных при выполнении п. 2 задания;
- в поле «Заявитель» указать название вымышленного юридического лица, выступающего в роли, указанной преподавателем
- в поле «Наименование средства связи» внести соответствующие данные устройства, назначенного преподавателем;
- информацию для заполнения полей «наименование изготовителя...» и «наименование предприятия...» найти самостоятельно с помощью глобальных поисковых систем;

⁹ См., напр.: декларация соответствия для устройства *iPhone A1687* (*«iPhone 6s Plus»*), заявленная ООО «Эппл Рус», копия которой представлена на информационном портале Россвязи ([http-адрес: https://www.rossvyaz.ru/docs/scan/f4758fcf0719323c5ad8960dfd49cc09.pdf](https://www.rossvyaz.ru/docs/scan/f4758fcf0719323c5ad8960dfd49cc09.pdf)).

- указать вымышленную (но правдоподобную) контактную информацию;
- подготовить документы к заявке в соответствии с перечнем приложения 5. Необходимые сведения найти в открытых источниках с помощью поисковых систем.

6. Сформировать бригаду из двух человек.

7. Произвести обмен заявками на сертификацию между членами бригады и от имени органа по сертификации заполнить сертификат соответствия для принятой заявки согласно образцу¹⁰ в предположении, что все испытания устройства пройдены успешно. Для этого указать:

- реквизиты органа по сертификации;
- наименование средства связи, версию ПО (технические условия не указывать);
- наименование и другие необходимые реквизиты предприятия-изготовителя;
- наименование и другие необходимые реквизиты завода-изготовителя;
- перечень требований, на соответствие которым проводились испытания (см. [7–13]);
- реквизиты (вымышленные) протоколов испытаний, проведенных испытательной лабораторией;
- условия применения (воспользовавшись образцами сертификатов для сертифицированных устройств аналогичного назначения);
- наименование и реквизиты держателя сертификата;

После слов «СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ» сделать сноску с текстом: «Распечатывается на бланке, описание которого утверждено (далее указать реквизиты приказов Минкомсвязи России, утверждающих описание бланка сертификата)». Сам сертификат распечатать при подготовке отчета на отдельной странице.

Структура отчета

Отчет должен содержать следующие данные:

- 1) цель лабораторной работы;
- 2) заполненную декларацию о соответствии средства связи;

¹⁰ См., напр.: сертификат соответствия для маршрутизаторов *D-Link DIR-300* и др., копия которого представлена на информационном портале Россвязи ([http-адрес: https://www.rossvyaz.ru/docs/scan/17dfadfd7df8a9ac5719846067133358.pdf](http://www.rossvyaz.ru/docs/scan/17dfadfd7df8a9ac5719846067133358.pdf)).

- 3) комплект документов заявки на проведение обязательной сертификации средства связи;
- 4) заполненный сертификат соответствия средства связи;
- 5) вывод, содержащий результаты ознакомления с нормативно-правовой базой в области обязательного подтверждения соответствия средств связи.

Контрольные вопросы

1. Какие государственные и аккредитованные негосударственные организации участвуют в процессе обязательного подтверждения соответствия средств связи?
2. В какой орган (организацию) требуется направлять заявку на проведение сертификации средства связи? на проведение декларирования соответствия?
3. Какой орган (организация) выдает сертификат соответствия средства связи?
4. Какой государственный орган утверждает формы декларации соответствия и сертификата соответствия в области связи?
5. Какой орган (организация) непосредственно проводит сертификационные испытания средства связи?
6. Какой орган (организация) непосредственно проводит испытания средства связи при декларировании соответствия?
7. В каких случаях требуется обязательная сертификация средства связи?
8. В каких случаях обязательное подтверждение соответствия средства связи не требуется?
9. Какова роль Правительства Российской Федерации в системе обязательного подтверждения соответствия в области связи?
10. Какова роль Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации в системе обязательного подтверждения соответствия в области связи?
11. Какова роль Федерального агентства связи (Россвязи) в системе обязательного подтверждения соответствия в области связи? Какой государственный орган осуществляет руководство деятельностью Россвязи?

Список литературы для лабораторной работы № 5

1. О техническом регулировании № 184-ФЗ : Федер. закон [принят Гос. Думой 27 декабря 2002] // Российская газета. — 2002. — № 245.
2. О связи № 126-ФЗ : Федер. закон [принят Гос. Думой 7 июля 2003] // Российская газета. — 2003. — № 135.
3. Об утверждении Правил организации и проведения работ по обязательному подтверждению соответствия средств связи № 214 : Постановление Правительства РФ [от 13 апреля 2005] // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2005. — № 16. — ст. 1463.
4. Об утверждении перечня средств связи, подлежащих обязательной сертификации № 532: Постановление Правительства РФ [от 25 июня 2009] // Собрание законодательства Российской Федерации. — 20096. — № 26. — ст. 3206.
5. Об утверждении формы сертификата соответствия № 66: Приказ Мининформсвязи России [от 7 июня 2005 (с изм. и доп.)] // СвязьИнформ. — 2005. — № 8.
6. Об утверждении формы декларации о соответствии средств связи № 288 : Приказ Минкомсвязи России [от 29 июля 2015] // Официальный интернет-портал правовой информации [Электронный ресурс]. — URL: www.pravo.gov.ru.
7. Перечень аккредитованных органов по сертификации [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.rossvyaz.ru/activity/correlation/certification/registerCertOrgans>.
8. Перечень аккредитованных испытательных лабораторий (центров) [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.rossvyaz.ru/activity/correlation/certification/registerLabs>.
9. Правила применения оконечного оборудования, подключаемого к двухпроводному аналоговому стыку телефонной сети связи общего пользования / утв. Приказом Мининформсвязи России № 102 от 29 августа 2005 года [в ред. Приказа Минкомсвязи России от 23.04.2013 № 93] // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2005. — № 37.
10. Правила применения абонентских терминалов систем подвижной радиотелефонной связи стандарта *UMTS* с частотным дуплексным разносом и частотно-кодовым разделением радиоканалов, работающих в диапазоне 2000 МГц / утв. Приказом Мининформсвязи России № 100 от 27 августа 2007 года [в ред. Приказов Минкомсвя-

зи России от 20.04.2012 N 119, от 25.06.2013 N 147, от 10.03.2015 N 68, от 05.05.2015 № 153, от 12.05.2015 N 157] // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2011. — № 47.

11. Правила применения оборудования коммутации и маршрутизации пакетов информации / утв. Приказом Мининформсвязи России № 144 от 6 декабря 2007 года [в ред. Приказа Минкомсвязи России от 23.04.2013 N 93] // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2008. — № 10.

12. Правила применения абонентских станций (абонентских радиостанций) сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта *GSM-900/1800* / утв. Приказом Мининформсвязи России № 21 от 19 февраля 2008 года [в ред. Приказов Минкомсвязи России от 21.04.2014 № 95, от 10.03.2015 № 68, от 05.05.2015 № 153] // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2008. — № 15.

13. Правила применения оборудования радиодоступа. Часть I. Правила применения оборудования радиодоступа для беспроводной передачи данных в диапазоне от 30 МГц до 66 ГГц / утв. Приказом Минкомсвязи России № 124 от 14 сентября 2010 года [в ред. Приказов Минкомсвязи России от 23.04.2013 № 93, от 22.04.2015 № 129] // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2010. — № 46.

14. Правила применения абонентских терминалов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта *LTE* / утв. Приказом Минкомсвязи России № 128 от 6 июня 2011 года [в ред. Приказов Минкомсвязи России от 12.05.2014 № 123, от 06.10.2014 № 333, от 10.03.2015 № 68, от 05.05.2015 № 153] // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2011. — № 31.

15. Правила применения абонентских терминалов систем подвижной радиотелефонной связи стандарта *UMTS* с частотным дуплексным разносом и частотно-кодовым разделением радиоканалов, работающих в диапазоне частот 900 МГц / утв. Приказом Минкомсвязи России № 257 от 13 октября 2011 года [в ред. Приказов Минкомсвязи России от 10.03.2015 № 68, от 05.05.2015 № 153, от 12.05.2015 № 157] // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2011. — № 47.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Схематическое описание приборов, используемых в лабораторной работе № 1

1. Принцип работы индукто-капаситометра АКК-12

Прибор предназначен для измерения емкости и индуктивности. В основе конструкции прибора лежит мостовая схема и используется нулевой метод измерений, когда суммарный эффект воздействия измеряемой величины и эталонной меры сводится к нулевому значению. Неизвестный элемент подключается в цепь, как показано на рис. П1.1, а значения параметров z_1 , z_2 , z_3 варьируются таким образом, чтобы на индикаторе I получился ноль. В этом случае будет соблюдено условие равновесия моста $z_x \cdot z_3 = z_1 \cdot z_2$, и значение искомого параметра

может быть найдено как $z_x = \frac{z_1 \cdot z_2}{z_3}$. Напряжение питания подводится от генератора *Gen* частотой 100 Гц.

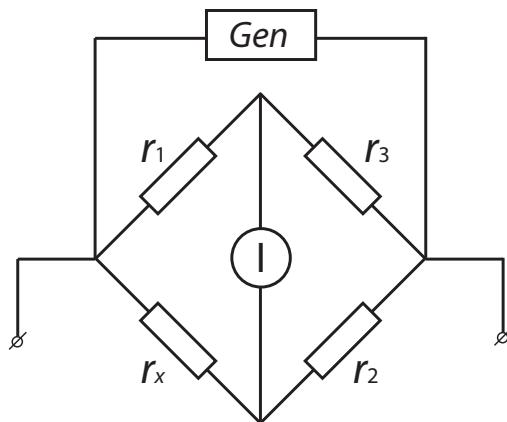


Рис. П1.1. Структура измерительного моста

2. Принцип работы куметра АА-38

Принцип действия измерителя добротности (куметра) основан на том, что в колебательном контуре с небольшими потерями, настроенным в резонанс, падение напряжения на реактивных элементах может многократно превышать амплитуду приложенного (вносимого) гармонического напряжения. Более того, отношение этих напряжений будет приблизительно равно добротности контура, а именно:

$$U_c / U_{\text{вн}} = \sqrt{1 + Q^2} \approx Q,$$

где U_c — напряжение на емкости контура. При этом полагается, что потерями конденсатора (по отношению к потерям в катушке) можно пренебречь. Для точных измерений этими потерями пренебрегать нельзя, поэтому правильнее воспользоваться следующим соотношением:

$$U_c / U_{\text{вн}} = \sqrt{1 + \left(\frac{Q_L Q_C}{Q_L + Q_C} \right)^2}.$$

Прибор позволяет прямо измерять добротность катушек индуктивности и косвенно — их номинал. Измерение емкостей производится методом замещения¹¹.

Структурная схема прибора (рис. П1.2.) включает в себя генератор опорного напряжения, питающего контур (ГОН), сам измерительный контур (К), измерители входного и выходного напряжения, цепи питания и калибровок.

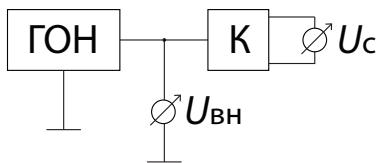


Рис. П1.2. Структура измерительного моста

3. Принцип работы цифрового измерителя АЦЦ-07

Прибор предназначен для измерения емкостей конденсаторов и тангенсов угла потерь в них. Измерение осуществляется с помощью мостовой цепи (рис. П1.3, М), питаемой переменным напряжением (ГОН).

¹¹ См., напр.: В. И. Яненко, С. Е. Корепанов. Измерение параметров радиотехнических цепей : методические указания к лабораторной работе № 1. — Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2008. — 16 с.

Уравновешивание моста производится с помощью набора дискретных элементов (резисторов (НС) и конденсаторов (НК) с определенными весовыми соотношениями), подключаемых в мост блоком автоматического управления (БУ) последовательно от большего к меньшему. Входной сигнал на блок управления подается от фазового детектора (ФД), генерирующего напряжение, пропорциональное разбалансу фаз. Поочередное уравновешивание по каждому из параметров прекращается после отработки элементов с самыми младшими весами.

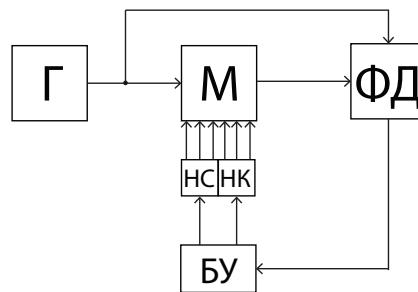


Рис. П1.3. Схема прибора АЦЦ-07

4. Принцип работы измерительного моста Б-52

Измерительный мост Б-52 предназначен для измерения емкости, индуктивности и сопротивления. Принцип работы аналогичен АКК-12 с той лишь разницей, что регулировка мостовой схемы осуществляется не непрерывно, а дискретно, путем подключения элементов из встроенного магазина сопротивлений и реактивностей (так же, как в АЦЦ-07, но в ручном режиме).

5. Принцип работы цифрового измерителя имmittанса ФЦ-06

Цифровой измеритель имmittанса ФЦ-06 предназначен для измерения емкости, индуктивности и сопротивления. Принцип действия прибора основан на автоматическом уравновешивании мостовой схемы. Структурная схема прибора (рис. П1.4) включает в себя генератор опорного гармонического напряжения частотой 1 кГц, собственно измерительный мост, усилитель разбаланса, фазовый детектор, управляющий генератор импульсов и реверсивный счетчик. Элемент, номинал которого требуется измерить, включается в измерительный мост, питаемый от генератора опорного гармонического напряжения (ГОН). Работа измерительного устройства строится с использованием отрицательной обратной связи. Исходно мост неуравновешен, и напряже-

ние разбаланса через усилитель разбаланса (УБ) поступает на фазовый детектор ($\Phi\Delta$), где сравнивается с опорным напряжением, снимаемым с опорного генератора. Сигнал с выхода фазового детектора, пропорциональный сдвигу фаз напряжений, поступает на управляемый генератор импульсов (УГ), частота которых пропорциональна величине подаваемого напряжения, а полярность — знаку сдвига фаз. Подсчет импульсов производится реверсивным счетчиком (РСч), который одновременно вырабатывает гармоническое напряжение, фаза которого пропорциональна частоте импульсов. Это гармоническое напряжение через трансформаторы вносится в обратно мостовую схему таким образом, что происходит уравновешивание моста. В структуре измерителя иммитанса таких цепей две — для активной составляющей (цепь «AC») и для реактивной (цепь «PC»).

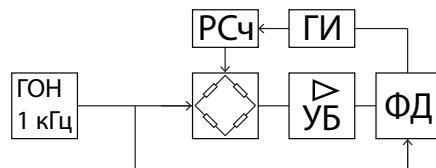


Рис. П1.4. Схема прибора ФЦ-06

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Правила округления результатов измерений

Округление числа — процедура отбрасывания значащих цифр справа до определенного разряда с возможным изменением цифры этого разряда¹².

1. В случае если первая из отбрасываемых цифр (считая слева направо) меньше пяти, то последняя сохраняемая цифра не меняется. Лишние цифры в целых числах заменяются нулями, а в десятичных дробях отбрасываются.

До округления:

3,4824
285,3
22,482
19,2400

После округления:

3,48
285
20
19,24

2. В случае если первая из отбрасываемых цифр (считая слева направо) больше пяти, то последняя сохраняемая цифра увеличивается на единицу.

До округления:

6783,6
12,34701
12,482
19,98281

После округления:

6784
12,35
12,5
20,0

3. В случае если первая из отбрасываемых цифр (считая слева направо) равна пяти и является крайней справа либо за ней идут нули, то последняя сохраняемая цифра увеличивается на единицу. Если отбрасываемая цифра получилась в результате предыдущего округле-

¹² Стандарт СЭВ СТ СЭВ 543–77. Числа. Правила записи и округления.

ния в большую сторону, то последняя сохраняемая цифра сохраняется. Если отбрасываемая цифра получилась в результате предыдущего округления в меньшую сторону, то последняя оставшаяся цифра увеличивается на единицу (с переходом при необходимости в следующие разряды)¹³.

До округления:	Предыдущий этап	После округления:
0,145	—	0,15
0,15	0,149	0,1
0,25	0,252	0,3

4. При записи результата измерения на первом этапе округляются погрешности измерений. Округление выполняется по следующему правилу: если первая значащая цифра — единица или двойка, то после округления оставляют две значащие цифры. Если же первая значащая цифра — тройка и более, то оставляют одну значащую цифру.

До округления:	После округления:
0,17295	0,17
4,8329	5
0,97283	1,0
0,006298	0,006 или $0,6 \cdot 10^{-2}$ или $6 \cdot 10^{-3}$

Во втором примере первая значащая цифра — «4», поэтому результат округления представляет собой одно число, и ноль после запятой не добавит никакой информации о точности полученного значения. В третьем примере ноль после запятой возникает естественным образом в процессе округления, в этом случае его необходимо указывать.

5. Далее округляется само числовое значение **ФВ**, причем количество ее знаков после запятой должно совпадать с количеством знаков после запятой погрешности.

До округления:	После округления:
$3,4874 \pm 0,17295$	$3,49 \pm 0,17$
$285,396 \pm 4,8329$	285 ± 5
$12,482 \pm 0,97283$	$12,5 \pm 1,0$
$19,98281 \pm 0,8138$	$20,0 \pm 0,8$

¹³ Стандарт СЭВ СТ СЭВ 543–77. Числа. Правила записи и округления.

6. Если при округлении погрешности указан порядок, т. е. 10^n , то такой же порядок должен быть и у самой величины, при этом оба числа заключаются в скобки, и множитель 10^n указывается один раз.

До округления:

$$0,283984 \pm 0,006298$$

$$72903 \pm 384,53$$

$$2374 \pm 48$$

После округления:

$$0,284 \pm 0,006$$

$$\text{или } (28,4 \pm 0,6) \cdot 10^{-2} \text{ или } (284 \pm 6) \cdot 10^{-3}$$

$$72900 \pm 400 \text{ или } (72,9 \pm 0,4) \cdot 10^3$$

$$\text{или } (729 \pm 4) \cdot 10^2$$

$$2370 \pm 50 \text{ или } (2,37 \pm 0,05) \cdot 10^3$$

$$\text{или } (23,7 \pm 0,5) \cdot 10^2$$

7. Процедуру округления необходимо выполнять не поэтапно, а сразу до необходимого количества значащих цифр. Например, округление числа 55,46 до двух значащих цифр даст 55. Если же выполнять округление последовательно, то на первом шаге получится число 55,5, на втором шаге — число 56, что будет ошибкой.

Арифметические операции с приближенными числами

Если два числа X_1 и X_2 являются результатами измерений, то по определению они будут являться лишь приближенными величинами от истинных значений стоящих за ними ФВ. В этом случае и арифметические операции над числами X_1 и X_2 также дадут приближенные величины. Правила арифметических операций над приближенными числами изложены в ГОСТ 8032–84¹⁴. Рассмотрим наиболее часто встречающиеся из них.

1. Возвведение в степень приближенного числа

При возведении в степень m приближенного числа, где m — целое, дробное, положительное либо отрицательное число, в итоговой форме записи полученного числа количество значащих цифр совпадает с количеством значащих цифр исходного числа, например: $(3,4 \cdot 10^2)^3 = 39304000 \approx 3,9 \cdot 10^7$.

До возвведения в степень:

$$(3,4 \cdot 10^2)^3$$

$$0,26^{1/2}$$

После возвведения в степень:

$$3,9 \cdot 10^7$$

$$0,51$$

2. Сложение и вычитание

При сложении и вычитании приближенных чисел сохраняется столько знаков после запятой, сколько их имеет слагаемое с наименьшим количеством знаков после запятой.

¹⁴ ГОСТ 8032–84. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел.

До сложения/вычитания:

$$5,14 + 12,1 + 6,353$$

После сложения/вычитания:

$$26,6$$

3. Умножение и деление

При умножении и делении приближенных чисел сохраняется столько знаков после запятой, сколько их имеет приближенное число с наименьшим количеством знаков после запятой.

До умножения/деления:

$$1,5 \cdot 35$$

После умножения/деления:

$$52$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Выдержки из паспорта цифрового вольтметра ЧСВ-99

Краткое описание

СИ предназначено для измерения величины постоянного напряжения. Может применяться в отраслях промышленности, сельского хозяйства, а также в домашних целях. Страна-производитель — Российская Федерация. СИ произведено в соответствии с ГОСТ 8711—93¹⁵.

Комплектация

Комплектация включает в себя следующие составляющие:

- вольтметр ЧСВ-99;
- чехол для хранения;
- инструкция;
- паспорт прибора.

Условия эксплуатации вольтметра¹⁶

Нормальными условиями для применения СИ являются:

- температура окружающей среды от -20 до $+30$ °C;
- относительная влажность $(60 \pm 15)\%$;
- отсутствие внешних электрических и магнитных полей;
- закрытые помещения без агрессивных примесей в воздухе;
- положение прибора горизонтальное, в пределах (± 2) °;
- атмосферное давление в пределах от 84 до 107 кПа.

Технические характеристики вольтметра

Основные технические характеристики СИ приведены в табл. П3.1.

Техническое обслуживание

Техническое обслуживание СИ при умеренной эксплуатации необходимо проводить не реже одного раза в четыре месяца. Процедура тех-

¹⁵ ГОСТ 8711—93. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 2. Особые требования к амперметрам и вольтметрам.

¹⁶ Приведенные требования также являются условиями безопасности при эксплуатации.

нического обслуживания заключается в проверке соединений, состояния электрической изоляции, а также механической чистке.

Таблица П3.1
Технические характеристики вольтметра ЧСВ-99

Наименование характеристики	Значение
Цвет	Серый
Дисплей	Цифровой
Напряжение питания	Номинальное значение 220 В
Частота	Номинальное значение 50 Гц
Тип	Тестер
Потребляемая мощность	Не более 4 Вт
Класс точности	(2,0)
Диапазон измерений	До 100 В
Степень защиты корпуса	IP54
Значение входного сопротивления	Не более 100 кОм
Система	Электродинамическая
Количество входов	1
Время реагирования на входной сигнал	Не более 1 с
Размеры	(75 × 50 × 82) ± 1 мм
Размеры в чехле	(80 × 56 × 88) ± 1 мм
Масса	Не более 0,5 кг
Средний срок службы	8 лет

Транспортировка и хранение

Транспортировка и хранение СИ производится в соответствии с условиями, приведенными в ГОСТ 15150–69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды». Транспортировка СИ производится в закрытом транспорте. Должны быть приняты меры по уменьшению вибраций и ударов. Хранить

СИ необходимо на стеллажах в прилагаемом в комплектации чехле. В воздухе должны отсутствовать агрессивные примеси, уровень радиации не должен превышать пределы 100 Бк на один кубический метр. Внешние электрические и магнитные поля должны отсутствовать.

Лист калибровки СИ

Лист калибровки СИ приведен в табл. П3.2.

Таблица П3.2

Лист калибровки СИ

Дата	Основные метрологические характеристики			Комментарии	Подпись
	ΔU_{act}	γ_{var}	U_{null}		

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Требования к оформлению декларации соответствия средства связи

Декларация оформляется на русском языке в двух экземплярах и должна содержать:

1) наименование и место нахождения Заявителя и изготовителя средства связи;

2) техническое описание средства связи на русском языке, содержащее:

- наименование, назначение, комплектность средства связи и выполняемые им функции, версию программного обеспечения (при наличии);
- электрические (оптические) характеристики;
- характеристики радиоизлучения (для радиоэлектронных средств связи);
- условия применения на сети связи общего пользования;
- емкость коммутационного поля (для средств связи, выполняющих функции систем коммутации);
- схемы подключения к сети связи общего пользования с указанием реализуемых интерфейсов, протоколов сигнализации;
- сведения о наличии (отсутствии) встроенных средств криптографии (шифрования), приемников глобальных спутниковых навигационных систем;
- условия эксплуатации, включая климатические и механические требования, способы размещения, типы электропитания;

3) письменное подтверждение того, что средство связи при использовании его в соответствии с целевым назначением и принятии Заявителем мер по обеспечению соответствия средства связи установленным требованиям не окажет дестабилизирующее воздействие на целост-

ность, устойчивость функционирования и безопасность единой сети электросвязи Российской Федерации;

4) сведения о проведенных в установленном порядке исследованиях (испытаниях), а также о документах, на основании которых подтверждается соответствие средства связи;

5) срок действия декларации о соответствии.

При указании сведений о наименовании РЭС следует применять Порядок формирования наименований РЭС и ВЧУ.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Образец заявки на прохождение обязательной сертификации

(наименование органа по сертификации)

(адрес места нахождения органа по сертификации)

ЗАЯВКА

на проведение обязательной сертификации средства связи

1. Заявитель _____
(полное наименование заявителя и адрес места нахождения)

в лице _____
(должность, ФИО руководителя)

просит провести сертификацию _____
(наименование средства связи)

изготовленного _____
(наименование изготовителя средства связи, адрес места нахождения)

на предприятии (заводе) _____
(наименование предприятия (завода)-изготовителя средства связи, адрес места нахождения)

,
на соответствие установленным требованиям по правилам организации и проведения работ
по обязательному подтверждению соответствия средств связи.

2. Заявитель является:

Изготовителем Продавцом Лицом, обеспечивающим на основании договора
с изготовителем соответствие поставляемых
средств связи установленным требованиям

3. Контактная информация:

почтовый адрес: _____

телефон: _____

факс: _____

e-mail: _____

4. К Заявке прилагаются _____. Приложений всего на _____ листах.

5. Заявитель обязуется выполнять правила организации и проведения работ по обязательному
подтверждению соответствия средств связи.

«____» ____ 20 ____ г.

_____ (подпись) _____ (Ф.И.О. руководителя)

М. П.

Перечень приложений к заявке о проведении обязательной сертификации средства связи

1. Техническое описание средства связи на русском языке, содержащее:

- 1.1. Наименование, назначение, комплектность средства связи и выполняемые им функции.
- 1.2. Версию программного обеспечения (при наличии).
- 1.3. Электрические (оптические) характеристики.
- 1.4. Характеристики радиоизлучения (для радиоэлектронных средств связи).
- 1.5. Условия применения на сети связи общего пользования.
- 1.6. Емкость коммутационного поля (для средств связи, выполняющих функции систем коммутации).
- 1.7. Схемы подключения к сети связи общего пользования с указанием реализуемых интерфейсов, протоколов сигнализации.
- 1.8. Сведения о наличии (отсутствии) встроенных средств криптографии (шифрования), приемников глобальных спутниковых навигационных систем.
- 1.9. Условия эксплуатации, включая климатические и механические требования, способы размещения, типы электропитания.

2. Документ изготовителя, подтверждающий факт производства им заявляемого для проведения обязательной сертификации средства связи (если заявитель является продавцом)¹⁷.

При необходимости, заявитель предоставляет органу по сертификации дополнительную информацию, например:

- 1) копию решения Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) о выделении полос радиочастот;
- 2) сведения о габаритных размерах ($B \times W \times H$) и весе средства связи;
- 3) цветную фотографию средства связи размером 10×15 см.

¹⁷ При выполнении лабораторной работы пропустить.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Калибровочный протокол вольтметра

Протокол №_____

калибровки _____ тип _____ № _____ ,
(наименование прибора)

владелец _____
(наименование организации)

Основные характеристики вольтметра

Изготовитель	Тип тока	Система прибора	Класс точности	Диапазон

Метод и средство калибровки _____

Условия калибровки:

Температура _____

Давление _____

Влажность _____

1. Действительная погрешность прибора не превышает _____
при максимально допустимом значении _____
2. Относительная вариация прибора не превышает _____
при максимально допустимом значении _____
3. Остаточное уклонение от нулевой отметки не превышает _____
при максимально допустимом значении _____

Заключение _____

(соответствие метрологическим требованиям)

(наименование организации, проводившей проверку)

Калибровку провел _____
(подпись)

(ФИО)

« ____ » _____ 20 ____ г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

СЕРТИФИКАТ О КАЛИБРОВКЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

№ XXXXXXXX

(наименование органа, аккредитовавшего данную метрологическую службу)

(наименование метрологической службы юридического лица)

СЕРТИФИКАТ о калибровке средства измерений

Наименование прибора, тип, основные характеристики

Средство и метод калибровки

Измеренные значения метрологических характеристик

Условия калибровки

(должность ответственного
проводившего калибровку лица)

(ФИО)

(подпись)

МП

« ____ » 20 ____ г.

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
Базовые определения и понятия метрологии	5
Список литературы	11
 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Измерение параметров радиотехнических цепей.....	12
Цель работы.....	12
Основные теоретические сведения	12
1. Погрешности измерений и погрешности средств измерений ..	12
2. Классы точности средств измерений	24
3. Методы устранения постоянных систематических погрешностей	29
4. Погрешности косвенных измерений	33
Лабораторное задание.....	36
1. Измерение сопротивления, емкости, индуктивности, добротности, тангенса угла потерь.....	36
2. Расчёт величин сопротивления, емкости, индуктивности с использованием метода рандомизации	44
Структура отчёта	44
Контрольные вопросы	44
Список литературы для лабораторной работы № 1	45
 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Расчёт величины статического коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером.....	46
Цель работы.....	46

Основные теоретические сведения	46	
1. Принцип измерения статического коэффициента передачи тока биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером.....	46	
2. Обработка результатов многократных измерений	48	
Лабораторное задание	60	
1. Вычисление статического коэффициента передачи тока	60	
2. Исключение бракованных транзисторов	62	
3. Определение закона распределения результатов измерений....	62	
4. Оценка закона распределения по статистическим критериям	62	
5. Определение доверительных интервалов случайной погрешности	62	
6. Запись результата измерения.....	62	
Структура отчёта	63	
Контрольные вопросы	63	
Список литературы для лабораторной работы № 2	64	
 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Калибровка средств измерений.....		65
Цель работы.....	65	
Основные теоретические сведения	65	
1. Базовые определения и понятия	65	
2. Порядок проведения калибровки электроизмерительных приборов	68	
Лабораторное задание	70	
1. Условия проведения калибровки вольтметра ЧСВ-99	70	
2. Определение метрологических характеристик вольтметра ЧСВ-99	71	
3. Заполнение калибровочного протокола и сертификата.....	73	
Структура отчёта	73	
Контрольные вопросы	73	
Список литературы для лабораторной работы № 3	74	
 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Оценка качественных показателей онлайн-приложения		76
Цель работы.....	76	
Основные теоретические сведения	76	
1. Базовые определения и понятия	76	

2. Классификация показателей качества	78
3. 3. Выбор номенклатуры ПК.....	87
4. Методы определения значений ПК	91
Лабораторное задание	97
1. Составление номенклатуры ПК	97
2. Присвоение весовых коэффициентов ПК	98
3. Присвоение баллов выбранным ПК	99
4. Расчёт итоговой оценки качества онлайн-приложения	99
Структура отчёта	99
Контрольные вопросы	100
Список литературы для лабораторной работы № 4	100
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. Сертификация средств связи	102
Цель работы.....	102
Основные теоретические сведения	102
Сертификация в области связи	102
Лабораторное задание.....	106
Структура отчёта	108
Контрольные вопросы	109
Список литературы для лабораторной работы № 5	110
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Схематическое описание приборов, используемых в лабораторной работе № 1.....	112
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Правила округления результатов измерений.....	116
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Паспорт цифрового вольтметра ЧСВ-99. Выдержки	120
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Требования к оформлению декларации соответствия средства связи	123
Образец заявки на прохождение обязательной сертификации	125
Перечень приложений к заявке о проведении обязательной сертификации средства связи	126
ПРИЛОЖЕНИЕ 6.....	127
ПРИЛОЖЕНИЕ 7.....	128

Учебное издание

**Виноградова Нина Сергеевна
Курганский Андрей Андреевич**

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Лабораторный практикум

Редактор *M. A. Терновая*
Верстка *E. B. Ровнушкиной*

Подписано в печать 23.05.2017. Формат 70×100 1/16.
Бумага писчая. Цифровая печать. Гарнитура *Newton*.
Усл. печ. л. 10,64. Уч.-изд. л. 6,6. Тираж 50 экз. Заказ 151.

Издательство Уральского университета
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ
620049, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5
Тел.: 8 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41
E-mail: rio@urfu.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре УрФУ
620000, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: 8 (343) 350-90-13, 358-93-06, 350-58-20
Факс: 8 (343) 358-93-06
<http://print.urfu.ru>



9785799620929