

Содержание

Введение	4
Назначение методических указаний	4
Требования к знаниям и умениям студентов	4
1 Цель лабораторной работы	6
2 Сведения из теории	6
2.1 Назначение осциллографа	6
2.2 Виды электронных осциллографов и основные характеристики	8
2.3 Устройство и принцип действия осциллографа С-1-70	9
2.4 Методика измерения параметров исследуемого сигнала	17
3 Меры безопасности при работе с осциллографом	21
4 Подготовка к проведению измерений	22
4.1 Калибровка канала вертикального отклонения	22
4.2 Калибровка канала горизонтального отклонения	22
5 Программа выполнения лабораторной работы и отчетность	23
5.1 Программа выполнения работы	23
5.2 Отчетность по лабораторной работе	23
5.3 Оборудование для работы	24
6 Контрольные вопросы	24
7 Критерии оценки работы студентов	25
Список использованной литературы	25
Приложение А	26
Приложение Б	27

Введение

В результате изучения дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» обучающиеся получают навыки проведения измерений, обработки их результатов и оценки достигнутой точности, а так же теоретические знания в области основных принципов, методов и средств измерения физических величин.

Знания по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» необходимы студентам для усвоения знаний по следующим дисциплинам: Б.1.В.1– диагностика и надежность автоматизированных систем, Б.1.В.10– – технические измерения и приборы, Б.1.Б.23– – моделирование систем и процессов.

Назначение методических указаний

Лабораторная работа посвящена изучению видов, принципов и методов измерений, а также методов планирования и обработки результатов измерений.

При выполнении работы возможно применение пакетов прикладных программ Matlab, Mathcad, Excel и др.

Требования к знаниям и умениям студентов

В результате выполнения лабораторной работы студенты должны:

знать:

- организационную и техническую базу метрологического обеспечения жизненного цикла продукции;
- основные законодательные и нормативно-правовые акты в области метрологии, стандартизации и технических измерений, обязательные требования к объектам технического регулирования и цели принятия технических регламентов; виды, системы, схемы и порядок проведения сертификации продукции;
- правила оформления конструкторской документации в соответствии с ЕСКД;
- перспективы технического развития и особенности деятельности организаций, компетентных на законодательно-правовой основе в области технического регулирования и метрологии;
- методы и средства обеспечения единства измерений; методы и средства контроля качества продукции, правила проведения контроля, испытаний и приемки продукции;
- методы и средства поверки (калибровки) средств измерений, методики выполнения измерений

уметь:

- применять полученные знания в области метрологии,

- стандартизации и сертификации при принятии проектных решений;
- выбирать наиболее подходящие методы измерений и использовать средства измерений с заданными метрологическими характеристиками;
- производить обработку результатов измерений при наличии различных видов погрешностей и представлять результаты с учетом требуемой точности;
- работать с приборами и схемами, которые используются в физических и технологических лабораториях, и понимать принципы их действия; ориентироваться в современной и вновь создаваемой технике с целью ее быстрого освоения, внедрения и эффективного использования в практической деятельности;
- применять компьютерные технологии для планирования и проведения работ по метрологии, стандартизации и сертификации: методы унификации и симплификации и расчета параметрических рядов при разработке стандартов и другой нормативно-технической документации; методы контроля качества продукции и процессов при выполнении работ по сертификации продукции и систем качества; технологию разработки и аттестации методик выполнения измерений, испытаний и контроля;
- применять методы и средства поверки (калибровки) и юстировки средств измерения, правила проведения метрологической и нормативной экспертизы документации; методы расчета экономической эффективности работ по метрологии, стандартизации и сертификации; порядок разработки, утверждения и внедрения стандартов, технических условий и другой нормативно-технической документации; системы качества, порядок их разработки, сертификации, внедрения и проведения аудита;

владеть:

- методиками выполнения метрологических расчётов и правилами оформления результатов;
- навыками выбора схем сертификации продукции;
- навыками обработки экспериментальных данных и оценки точности (неопределенности) измерений, испытаний и достоверности контроля;
- навыками работы на контрольно-измерительном и испытательном оборудовании;
- навыками применения современного математического инструментария для решения профессиональных задач;
- навыками использования основных приемов обработки экспериментальных данных.

1 Цель лабораторной работы

Цель работы. Изучение видов, методов, средств и погрешностей измерений. Получение практических навыков планирования и обработки результатов прямых и косвенных измерений.

2 Теоретические сведения

2.1 Основные понятия. Величины, шкалы измерений

Метрология (от греч. *metron* –мера и *logos*-учение, понятие, слово) – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Под *единством измерений* понимают такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.

Как любая точная наука, метрология имеет свои **основополагающие принципы**. В качестве таких принципов обычно постулируют следующие аксиомы.

Аксиома 1. Без априорной информации измерение невозможно.

Нельзя получить оценку интересующего свойства, ничего не зная о нем заранее. Следовательно, необходимость в измерении вызвана дефицитом количественной информации об изучаемом свойстве объекта и измерение направлено на уменьшение этого дефицита (если об этом свойстве известно все, измерять ничего уже не нужно).

Аксиома 2. Измерение есть не что иное, как сравнение.

Единственным способом получения информации о каких-либо размерах является сравнение их между собой. Следствием этой аксиомы является необходимость введения эталонов физических величин и системы передачи их размера к образцовым и рабочим средствам измерений.

Аксиома 3. Результат измерения без округления является случайным.

Результат измерения всегда зависит от множества факторов, в том числе и случайных, точный учет которых невозможен в принципе. Следовательно, для описания результатов измерений в полной мере необходимо использовать аппарат математической статистики.

Современная метрология развивается по следующим основным направлениям:

- общая теория измерений;
- образование единиц физических величин и их систем;
- создание эталонов и образцовых средств измерений;
- методы передачи единиц от эталонов к образцовым СИ и рабочим СИ;
- методы измерений и методы определения точности измерений;

– основы обеспечения единства измерений (законодательная метрология).

В настоящее время в метрологии и измерительной технике используется ряд основных понятий, относящихся к измерениям, таких как: измерение; точность измерений; физическая величина; единица физической величины; средство измерения; метод и принцип измерения; истинное значение физической величины; погрешность (или ошибка) измерения и т.д. [3, 6].

Величина – это свойство чего либо, что может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе и количественно. Величина имеет место лишь постольку, поскольку существует объект со своими свойствами, выраженными данной величиной.

Прежде всего, величины делятся на *реальные* и *идеальные*. Идеальной величиной является любое числовое значение. По существу – это математическая абстракция, не связанная с каким-либо реальным объектом.

Поэтому идеальные величины рассматриваются не в метрологии, а в математике.

Реальные величины делятся на *физические* и *нефизические*.

Нефизические величины вводят, определяют и изучают в информатике, общественных, экономических и гуманитарных научных дисциплинах (например, в социологии, лингвистике). Примерами нефизических величин являются количество информации в битах, различные рейтинги, определяемые путем социологических опросов.

Физические величины, рассматриваемые в метрологии, являются свойствами материальных объектов, процессов и явлений. В отличие от нефизических, они объективно, независимо от желания человека существуют в окружающем нас материальном мире.

Физические величины по способу количественного оценивания разделяют на *измеряемые* и *оцениваемые*.

Отличительной особенностью измерений является наличие *средства измерений* (СИ). К оцениванию относят экспертные и органолептические (с помощью органов чувств человека) оценки величин, такие, например, как определение расстояния «на глаз». Гарантии объективности результата оценивания может дать только применение технического средства, лишенного человеческих недостатков. Именно поэтому измерения являются высшей формой количественного оценивания величин.

Физической величиной называется свойство общее в качественном отношении для многих объектов, но индивидуальное в количественном отношении для каждого объекта. Классификация физических величин представлена на рисунке 1 [3].

Под **истинным значением** физической величины понимают значение, которое идеальным образом отражает как в качественном, так и

в количественном отношении соответствующее свойство объекта. Поскольку истинное значение есть идеальное значение, то чаще всего вместо него используют понятие **действительного значения**, определяемого с помощью образцовых мер и приборов.

Единица физической величины – величина, размеру которой присвоено значение «1».

Совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые (*основные*), а другие определяют как их функции (*производные*) называется **системой физических величин**.

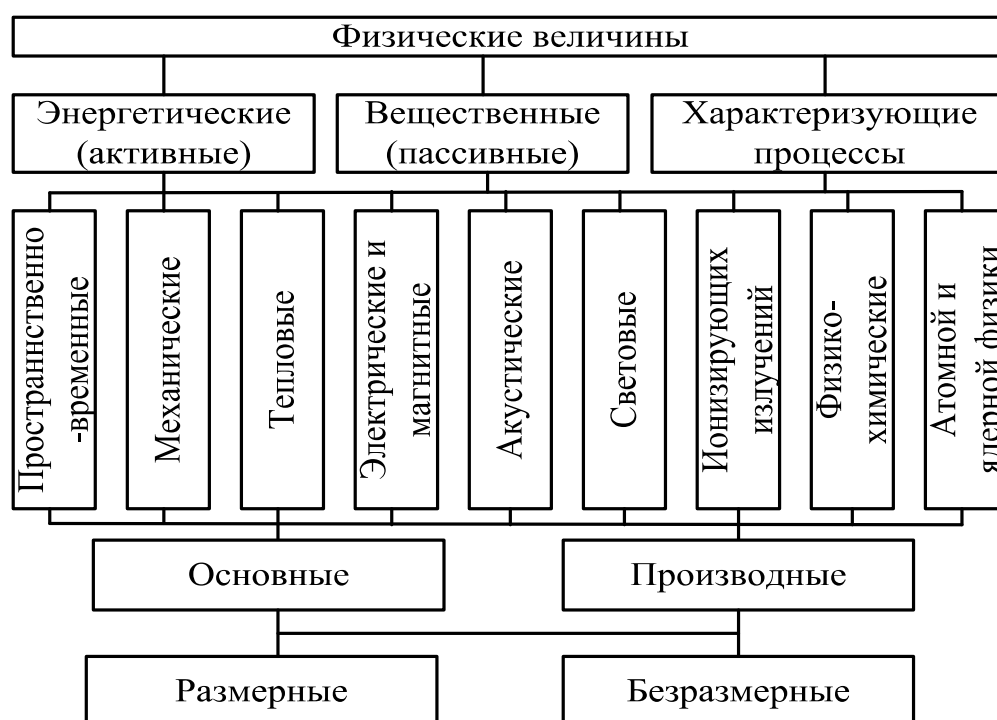


Рисунок 1 – Классификация физических величин

Согласованная Международная система единиц физических величин была принята в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам весам. Международная система - СИ (*SI*), *SI* - начальные буквы французского наименования *Systeme International*. В системе предусмотрен перечень из семи основных единиц: метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела, моль и двух дополнительных: радиан, стерадиан, а также даны приставки для образования кратных и дольных единиц (таблица 1).

Качественной характеристикой измеряемых величин является их **размерность**. Формализованная размерность обозначается символом ***dim***, происходящим от слова *dimension*, которое в зависимости от контекста может переводиться и как размер, и как размерность.

Размерность величины - выражение, составленное из произведений символов основных физических величин в различных степенях и отражающее связь данной величины с физическими величинами,

принятыми в данной системе за основные с коэффициентом пропорциональности, равным 1.

Таблица 1 – Основные единицы физических величин системы *SI*

Величина		Единица	
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Длина	L	метр	м/m
Масса	M	килограмм	кг/kg
Время	T	секунда	с/s
Сила электрического тока	I	ампер	А/A
Термодинамическая температура Кельвина	Θ	кельвин	К/K
Сила света	J	кандела	кд/cd
Количество вещества	N	моль	моль/mol
Плоский угол		радиан	рад/grad
Телесный угол		стерадиан	ср/sr

В соответствии с международным стандартом ISO/IEC 80000 «Величины и единицы измерения» в системе СИ размерность величины X записывается:

$$\dim X = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} I^{\delta} \Theta^{\varepsilon} N^{\lambda} J^{\mu} \quad (1)$$

где L, M, T и т.д. – символы основных величин,
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \lambda, \mu$ – показателями размерности производной физической величины X .

Упорядоченная последовательность значений физической величины, принятая по соглашению на основании результатов точных измерений, называется **шкалой измерений** (РМГ 83-2007 - Рекомендации по межгосударственной стандартизации «Шкалы измерений. Термины и определения»). В соответствии с логической структурой проявления свойств различают пять основных типов шкал измерений :

- **Шкала наименований** - шкала измерений качественного свойства, характеризующаяся только соотношениями эквивалентности или отличиями проявлений этого свойства.
- **Шкала порядка** - шкала измерений количественного свойства (величины), характеризующаяся соотношениями эквивалентности и порядка по возрастанию (убыванию) различных проявлений свойства.

- **Шкала интервалов**- шкала измерений количественного свойства (величины), характеризующаяся соотношениями эквивалентности, порядка, суммирования интервалов различных проявлений свойства.
- **Шкала отношений** - шкала измерений количественного свойства (величины), характеризующаяся соотношениями эквивалентности, порядка, пропорциональности (допускающими в ряде случаев операцию суммирования) различных проявлений свойства.
- **Шкала абсолютная** - шкала отношений безразмерной величины.

2.2 Измерения, методы и погрешности измерений

Измерение физической величины – 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.

В метрологии измерения принято классифицировать по различным признакам [2,4,5]. Классификация измерений представлена на рисунке 3.

Прямые измерения являются основой более сложных (косвенных, совокупных, совместных) измерений и поэтому целесообразно рассматривать методы прямых измерений: метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой [1,3,4].



Рисунок 3 - Классификация измерений

По зависимости измеряемой величины от времени измерения подразделяются на статические, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени в процессе измерения, и на динамические, при которых измеряемая величина изменяется в процессе измерения.

Классификация по сложившимся совокупностям измеряемых величин является в большей степени условной, однако, широко применяется в измерительной технике.

По третьему классификационному признаку измерения подразделяются на три класса. Измерения максимально возможной точности – это измерения, связанные с созданием и воспроизведением эталонов, а также с измерением универсальных констант. Контрольно-поверочные измерения – это измерения погрешности, которых не должны превышать заданного значения. Технические измерения – измерения, в которых погрешность результата определяется характеристиками средств измерения.

Четвертым признаком служит число измерений, выполняемых для получения результата (с однократным и многократным наблюдением).

Значение величины получают в результате ее измерения или вычисления в соответствии с *основным уравнением измерения*:

$$Q = X/[Q], \quad (2)$$

где Q — значение величины;

X — числовое значение измеряемой величины в принятой единице;

$[Q]$ — выбранная для измерения единица.

В простейшем случае модель измерения может быть описана функциональной зависимостью изменения выходного сигнала СИ y от изменения входного сигнала x , как $y = f(x)$.

По способу получения результата измерения подразделяются на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Наиболее часто используются *прямые* измерения, состоящие в том, что искомое значение измеряемой величины находят из опытных данных путем экспериментального сравнения (непосредственно по шкале прибора). Уравнение прямого измерения:

$$y = X. \quad (3)$$

где X — показание прибора.

Косвенным измерением называется определение искомой величины на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, найденными прямыми измерениями. Уравнение косвенного измерения:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n — результаты прямых измерений величин, связанных

известной функциональной зависимостью f с искомым значением измеряемой величины Y

Совокупные измерения - одновременные измерения нескольких одноименных величин, при которых искомое значение измеряемой величины находят решением системы уравнений, получаемых в результате прямых измерений различных сочетаний этих величин.

*Совместными** называются производимые одновременно (прямые и косвенные) измерения двух или нескольких разноименных величин. Целью этих измерений является нахождение функциональной связи между величинами.

Уравнение совокупных и совместных измерений:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1(X_1, X_2, ..., X_n, Y_1, Y_2, ..., Y_m, k_{11}, k_{12}, ..., k_{1m}) = 0 \\ F_2(X_1, X_2, ..., X_n, Y_1, Y_2, ..., Y_m, k_{21}, k_{22}, ..., k_{2m}) = 0 \\ \\ F_i(X_1, X_2, ..., X_n, Y_1, Y_2, ..., Y_m, k_{i1}, k_{i2}, ..., k_{im}) = 0 \\ \\ F_n(X_1, X_2, ..., X_n, Y_1, Y_2, ..., Y_m, k_{n1}, k_{n2}, ..., k_{nm}) = 0 \end{array} \right., \quad (5)$$

где X_1, X_2, \dots, X_n – величины, значения которых определяют путем прямых измерений,

Y_1, Y_2, \dots, Y_m – искомые величины (одноименные или разноименные*),
 k_{ij} – известные коэффициенты.

2.2.2 Классификация методов измерений

Принцип измерений – физическое явление или эффект, положенное в основу измерений.

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

Метод измерений обычно обусловлен устройством средств измерений. Различают следующие методы измерений: непосредственной оценки и сравнения с мерой (нулевой, дифференциальный, замещения, совпадения и т.д.) [2-5].

Прямые измерения являются основой более сложных (косвенных, совокупных, совместных) измерений и поэтому целесообразно рассмотреть методы прямых измерений.

С учетом того, что метод измерений представляет совокупность приемов использования принципов и средств измерений, различают два метода измерений: метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой (мера-средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера).

Классификационным признаком в таком разделении является

наличие или отсутствие при измерениях меры.

Метод непосредственной оценки – метод измерений, в котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора.

Метод сравнения с мерой – метод измерения, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. В зависимости от наличия или отсутствия при сравнении разности между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, подразделяют на нулевой и дифференциальный.

Дифференциальный метод характеризуется измерением разности между измеряемой величиной и известной величиной, воспроизводимой мерой. Метод позволяет получить результат высокой точности при использовании относительно грубых средств измерений.

Нулевой метод - аналогичен дифференциальному, но разность между измеряемой величиной и мерой сводится к нулю.

2.2.3 Погрешности измерений

Знание классификации методов позволяет выбрать тот или иной метод для оптимального решения измерительной задачи. Но даже если правильно выбран метод измерений и эксперимент проведен с помощью точного средства измерения, истинное значение измеряемой величины получено не будет, так как каждый результат содержит какие-нибудь погрешности измерения. Для того чтобы определить их вид и использовать выработанные метрологией приемы их использования, необходимо знать классификацию погрешностей измерений.

Погрешности измерений принято делить на две группы: систематические и случайные.

Систематическая погрешность – это составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

Случайная погрешность – это составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

Систематические погрешности принято классифицировать по двум признакам:

- по причине возникновения - погрешность метода, инструментальная погрешность, погрешность установки, погрешность от влияющих величин, субъективная погрешность;
- по характеру проявления – постоянная и переменная погрешность.

Методические, личные, инструментальные систематические погрешности легче определить, чем случайные. Но в большинстве случаев в результат измерения все-таки входят не исключенные остатки систематических погрешностей, которыми нельзя пренебречь. При

измерениях в случае присутствия в результате таких погрешностей необходимо выявить, учесть или исключить из результата измерения.

Систематическая погрешность представляет собой определенную функцию влияющих величин, состав которых зависит от физических, конструктивных и технологических особенностей средств измерений, условий их применения, а также индивидуальных качеств наблюдателя.

Случайные погрешности подразделяются на ожидаемые, грубые и промахи.

В большинстве случаев истинное значение измеряемой величины получают в результате многократных измерений и последующей обработки этих результатов. Рассеивание результатов измерений должно отвечать определенной закономерности. В этом случае появляется возможность использования математического аппарата, понятий теории вероятностей для обработки результатов измерений и как итог, получение действительного значения измеряемой величины.

Случайные погрешности нельзя исключить полностью, но их влияние можно быть уменьшено путем обработки результатов измерений. Для этого должны быть известны вероятностные и статистические характеристики (закон распределения, математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, доверительная вероятность и доверительный интервал). Часто для предварительной оценки закона распределения используют относительную величину среднеквадратического отклонения – коэффициент вариации:

$$v = \sigma_x / \bar{x}. \quad (6)$$

где σ_x - среднеквадратическое отклонение результатов измерения,
 \bar{x} - истинное значение измеряемой величины.

2.3 Средства измерений и их характеристики

2.3.1. Классификация средств измерений

Средство измерения - техническое средство, применяемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические характеристики.

Успех измерений зависит от грамотного использования средств измерений, от знаний их свойств.

В первую очередь необходимо знать классификацию средств измерений, их метрологические характеристики, погрешности средств измерений и причины их порождающие. Уже по обозначениям на шкале прибора можно определить, с какой погрешностью может получиться результат, но для этого надо знать формы представления метрологических характеристик.

Метрологическая сущность средств измерений заключается в

умении хранить (или воспроизводить) единицу физической величины и в неизменности размера хранимой единицы во времени. Средство измерений является обобщенным понятием, объединяющим самые разнообразные конструктивно законченные устройства, которые реализуют одну из функций:

- воспроизводят величину заданного (известного) размера;
- вырабатывают сигнал (показание), несущий информацию о значении измеряемой величины. Показания СИ либо непосредственно воспринимаются наблюдателем, либо они недоступны восприятию человеком и используются для преобразования другими СИ.

Классификация средств измерений представлена ниже:

- 1) по роли в системе обеспечения единства измерений:
 - а) метрологические;
 - б) рабочие;
- 2) по уровню автоматизации:
 - а) неавтоматические;
 - б) автоматизированные
 - в) автоматические
- 3) по уровню стандартизации:
 - а) стандартизованные;
 - б) не стандартизованные;
- 4) по отношению к измеряемой физической величине:
 - а) основные;
 - б) вспомогательные;
- 5) по функциональному назначению:
 - а) эталоны;
 - б) меры;
 - в) измерительные приборы;
 - г) измерительные преобразователи;
 - д) измерительные установки;
 - е) измерительные системы;

Главными метрологическими операциями по обеспечению единства измерений являются воспроизведение, передача размера и хранение единиц измерений.

- **Воспроизведение единицы физической величины** — это совокупность операций по материализации единицы физической величины (ФВ) с наивысшей точностью посредством государственного эталона или исходного образцового СИ. Различают воспроизведение основной и производной единиц.
- **Воспроизведение основной единицы** — это воспроизведение единицы путем создания фиксированной по размеру ФВ в соответствии с определением единицы. Оно осуществляется с помощью государственных первичных эталонов.
- **Воспроизведение производной единицы** — это определение

значения ФВ в указанных единицах на основании косвенных измерений других величин, функционально связанных с измеряемой. Так, воспроизведение единицы силы — ньютона — осуществляется на основании известного уравнения механики $F=mg$, где m — масса; g — ускорение свободного падения.

- **Передача размера единицы** — это приведение размера единицы,
- хранимой поверяемым средством измерений, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном, осуществляемое при поверке или калибровке. Размер единицы передается "сверху вниз" — от более точных СИ к менее точным.

2.3.2 Погрешности средств измерений

Погрешность (или ошибка) измерения — отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Инструментальная погрешность (погрешность измерительных устройств) имеет определяющее значение для наиболее распространенных технических измерений.

На рисунке 3.2 приведена классификация погрешностей средств измерений.



Рисунок 3.2- Классификация погрешностей средств измерений

В зависимости от условий применения измерительных устройств различают основную и дополнительную погрешности.

Основной — называют погрешность СИ при использовании его в нормальных условиях. Нормальными называются условия, при которых влияющие величины имеют номинальные значения или находятся в пределах нормальной области значений.

Дополнительной погрешностью СИ называют изменение его погрешности, вызванное отклонением одной из влияющих величин от ее нормативного значения или выходом ее за пределы нормальной области значений. В зависимости от режима применения различают *статическую* и *динамическую* погрешности СИ.

Абсолютной погрешностью СИ ΔX называют разность показаний прибора X_n и истинного (действительного) X_d значения измеряемой величины:

$$\Delta X = |X_n - X_d|. \quad (7)$$

Относительной погрешностью называют отношение абсолютной погрешности СИ к действительному значению измеряемой величины. Относительную погрешность обычно выражают в процентах:

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X_d} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Приведенной погрешностью называют отношение абсолютной погрешности СИ к нормирующему значению X_N . Приведенную погрешность также выражают в процентах:

$$\gamma X = \frac{\Delta X}{X_N} \cdot 100\%. \quad (9)$$

В качестве нормирующего значения используется верхний предел измерений (если нулевая отметка находится на краю шкалы), диапазон измерений и др.

Для рассмотрения зависимости погрешности СИ от значения измеряемой величины удобно использовать понятие номинальной и реальной функции преобразования измерительного устройства.

Номинальной функцией преобразования называют функцию, которая приписана измерительному устройству данного типа, указана в его паспорте и используется при выполнении с его помощью измерений.

Реальной функцией преобразования называют ту функцию, которой обладает конкретный экземпляр измерительного устройства.

Из-за несовершенства конструкции и технологии изготовления реальная функция преобразования отличается от номинальной. Отклонения реальной функции от номинальной различны и зависят от значения измеряемой. По этому признаку различают погрешности аддитивную, мультипликативную, линейности и гистерезиса (рисунок 3.3.).

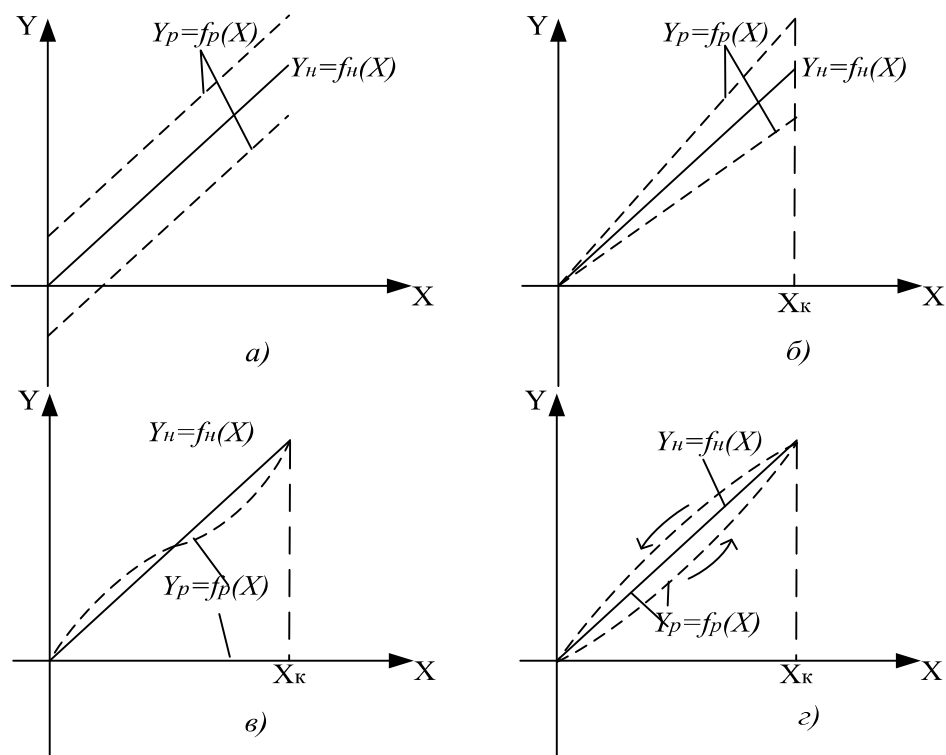


Рисунок 4 - Зависимость погрешности от измеряемой величины:
 $Y_n = f_n(X)$ – номинальная функция преобразования (измерения);
 $Y_p = f_p(X)$ – реальная функция преобразования (измерения)

Аддитивная погрешность или погрешность нуля (рисунок 4, а) – это погрешность, которая остается постоянной при всех значениях измеряемой величины.

Мультипликативная погрешность или погрешность чувствительности (рисунок 4, б) – погрешность, которая линейно возрастает (или убывает) с увеличением измеряемой величины.

Погрешностью линейности (рисунок 4, в) – называют несовпадение номинальной и реальной функций преобразования, вызванное нелинейными эффектами.

Погрешность гистерезиса или погрешность обратного хода (рисунок 4, г) – несовпадение номинальной и реальной функций преобразования при прямом и обратном ходе, т.е. при постепенном увеличении и постепенном уменьшении измеряемой величины.

2.3.3 Выбор средств измерений

При выборе средств измерений учитывают совокупность метрологических (цена деления, погрешность, пределы измерений и др.), эксплуатационных и экономических показателей, к которым относятся стоимость и надежность СИ, метод измерения, время на настройку и

процесс измерения, режим работы и т.д. Таким образом можно выделить несколько основных положений выбора СИ:

- Для гарантированной заданной или расчетной погрешности измерения $\delta_{\text{и}}$ относительная погрешность СИ $\delta_{\text{СИ}}$ должна быть на 25-30% ниже чем $\delta_{\text{и}}$ (21):

$$\Delta_{\text{СИ}} = 0,7\delta_{\text{и}}; \quad (10)$$

- Если известна приведенная погрешность измерения, то приведенная погрешность СИ (22):

$$\gamma_{\text{СИ}} = \gamma_{\text{и}} \frac{x}{X_{\text{N}}}; \quad (11)$$

где x и $x_{\text{н}}$ – результат измерения и нормированное значение шкалы СИ.

- При выборе СИ по метрологическим характеристикам необходимо учитывать:
 - а) возможность существенного отклонения измеряемого параметра за пределы допуска, т.е. Пределы шкалы СИ должны превышать диапазон рассеяния значений параметра;
 - б) цена деления шкалы должна выбираться с учетом заданной точности измерения;
 - в) поскольку качество измерения определяется величиной относительной погрешности, то относительная погрешность в пределах рабочего участка шкалы СИ не должна превышать приведенную погрешность более чем в 3 раза;
 - г) цена деления, учитывающая вариацию, должна быть равна удвоенному значению приведенной погрешности $c=2\gamma$.

2.4 Нормирование метрологических характеристик средств измерений

Все рассмотренные выше характеристики измерительных устройств, принято называть *метрологическими*, так как они влияют на точность осуществляемых с помощью этих устройств измерений.

Посредством нормирования метрологических характеристик обеспечивается взаимозаменяемость средств измерений и единство измерений. Реальные значения метрологических характеристик СИ определяются при их изготовлении, а затем периодически проверяются в процессе эксплуатации. Определенную специфику имеет нормирование основной и дополнительной погрешности.



2.4.1 Нормирование основной погрешности

Основная погрешность устройства нормируется путем установления предела абсолютной, относительной и приведенной погрешностей. Способ

задания пределов допускаемой основной погрешности СИ определяется зависимостью их погрешности от значения измеряемой величины и требованиями простоты.

Согласно ГОСТ 8.401-80 для указания нормированных пределов допускаемых погрешностей значение классов точности выражаются в процентах и выбираются из ряда чисел: $(1;1,5;2;2,5;3;4;5 \text{ и } 6) \times 10^n$, где $n=+1;0;-1;-2;-3$ и т.д. С использованием чисел указанного ряда разработаны следующие условные обозначения классов точности СИ и наносимые на них обозначения (таблица 2).

Таблица 2 – Формулы погрешностей и обозначения классов точности СИ

Обозначение класса точности		Форма выражения погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности	СИ, рекомендуемые к обозначению таким способом
на СИ	в НТД			
N или III	Класс точности N или III	Абсолютная	$\Delta(x) = \pm 0,02 A$	Меры
0,1	Класс точности 0,1	Приведенная	$\gamma(x) = \pm 0,1\%$	Аналоговые СИ, если X_N в единицах величины
	Класс точности 1,5		$\gamma(x) = \pm 1,5\%$	Омметры, если X_n определяется длиной шкалы или ее части
	Класс точности 1,5	Относительная	$\delta(x) = \pm 1,5\%$	Мосты, счетчики, делители, измерительные трансформаторы
0,2/0,1	Класс точности 0,2/0,1		$\delta(x) = \pm \left[0,2 + 0,1 \left(\frac{X_k}{x} - 1 \right) \right] \%$	Цифровые СИ, магазины емкостей (сопротивлений)
C или II	Класс точности C или II		$\delta(x) = \frac{\Delta_0}{x} + \gamma_s + \frac{x}{\Delta_\infty}$ Δ_0 и Δ_∞ - нижний и верхний пороги чувствительности, γ_s - относительная погрешность, ограничивающая снизу рабочий диапазон	Многопредельные цифровые частотомеры, измерительные мосты

2.4.2 Нормирование дополнительных погрешностей

Дополнительные погрешности также нормируют их допускаемыми пределами – оценками погрешностей сверху. Для выпускаемых промышленностью измерительных устройств обычно задают две дополнительные погрешности: температурную и погрешность из-за изменений питающего напряжения.

Дополнительную температурную погрешность чаще всего выражают

в долях основной погрешности при изменении температуры среды на 10°С относительно ее номинального значения. Температурную погрешность $\Delta_{\text{дпт}}$ (при T° в рабочей области значений) можно рассчитать по формуле, предусматривающей линейную зависимость от температуры T° окружающей среды:

$$\Delta_{\text{дпт}} = k\Delta_{\text{оп}} \frac{|T^\circ - 20^\circ|}{10^\circ}, \quad (12)$$

где 20° - номинальная температура в градусах Цельсия;
 k – постоянный коэффициент. Обычно равный 1 или 0,5.

Иногда дополнительную погрешность из-за изменений питающего напряжения задают в форме (при U_n вне нормальной области значений):

$$\Delta_{\text{дпу}} = k \Delta_{\text{оп}}, \quad (13)$$

Инструментальная погрешность в рабочих условиях складывается из основной и дополнительной погрешностей. Поскольку эти составляющие нормированы своими предельными значениями, то при вычислении инструментальной погрешности берут наименее благоприятный случай сочетания погрешностей – суммирование пределов их допускаемых значений. Полученная погрешность будет также предельной:

$$\Delta_{\text{ип}} = \sqrt{\Delta_{\text{оп}}^2 + \sum \Delta_{\text{дп}}^2}. \quad (14)$$

2.5 Обработка результатов измерений

2.5.1 Законы распределения случайных величин

В большинстве случаев истинное значение измеряемой величины оценивают в результате многократных измерений и последующей обработки этих результатов. Рассеивание результатов измерений должно отвечать определенной закономерности.

При обработке результатов со случайной погрешностью сама случайная погрешность рассматривается как случайная величина [1-4].

Наиболее универсальный способ описания случайных величин заключается в отыскании их интегральных и дифференциальных функций распределения. Под интегральной функцией распределения результатов наблюдений понимается зависимость вероятности того, что результат наблюдения X в опыте окажется меньше некоторого текущего значения x :

$$F(x) = P(X < x). \quad (5)$$

Более наглядным является описание свойств результатов наблюдений с помощью дифференциальной функции распределения,

называемой плотностью распределения вероятности случайной величины:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}. \quad (16)$$

В метрологии для описания случайных погрешностей чаще применяются следующие законы распределения: нормальный, равномерный и др.

Основными характеристиками случайной величины являются первый и второй центральные моменты которые представляют собой математическое ожидание (17) и дисперсию (18) соответственно:

$$\mu_1[x] = \int_{-\infty}^{\infty} xp(x)dx = m_x \quad (17)$$

$$\mu_2[x] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 p(x)dx = D_x \quad (18)$$

Согласно нормальному закону (рисунок 5) плотность вероятности распределения случайной величины x описывается выражением (16).

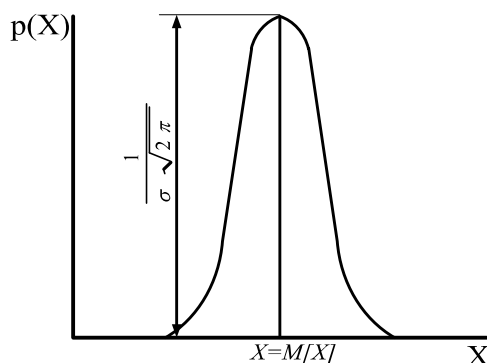


Рисунок 5 – Нормальное распределение случайной величины

$$p(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-M(X))^2}{2\sigma^2}}, \quad (19)$$

где $X - M(x) = \psi$ - случайная погрешность;

$M(X)$ и σ – математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение случайной величины.

Вероятность попадания случайной величины (погрешности), распределенной по нормальному закону, в некоторый заданный интервал $[a;b]$ определяется выражением (20):

$$P(a \leq X \leq b) = \Phi\left(\frac{b-X}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a-X}{\sigma}\right), \quad (20)$$

где $\Phi(z)$ - функция Лапласа, определяемая по таблице приложения А.

При равномерном законе распределения (рисунок 6) случайной

величины плотность распределения равна (10):

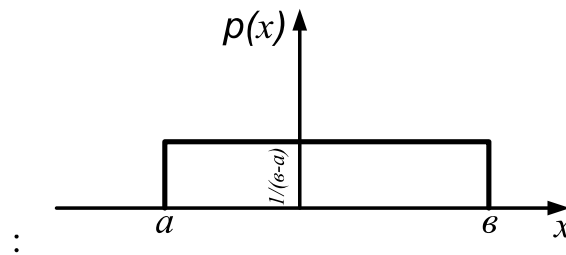


Рисунок 6 – Равномерное распределение случайной величины

$$p(x) = \begin{cases} 0, \text{ при } -\infty < x < a; \\ \frac{1}{b-a}, \text{ при } a \leq x \leq b; \\ 0, \text{ при } b < x < +\infty \end{cases} \quad (21)$$

где b и a - границы интервала, в котором определена случайная величина x .

Вероятность того, что случайная величина x находится в некотором интервале (α, β) (22):

$$P(\alpha \leq x \leq \beta) = \int_{-\beta}^{\beta} p(x) dx = \frac{\beta - \alpha}{b - a}, \quad (22)$$

2.5.2 Обработка результатов прямых измерений

Обработка прямых измерений имеет целью дать оценку истинного значения физической величины и определить степень достоверности этой оценки.

Если выполнено одно измерение, то за истинное принимают показание прибора, но дать оценку достоверности результата невозможно, так как закон распределения случайной величины неизвестен. Если выполнено N измерений, то в качестве оценки истинного значения следует брать среднее арифметическое результатов наблюдений.

Для обработки результатов прямых равноточных измерений определяются [3,4]:

- истинное значение измеряемой величины (23):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (23)$$

где x_i – результаты наблюдений, n_i – количество измерений;

- ошибка измерения или среднеквадратическое отклонение (24):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}; \quad (24)$$

- наличие грубых ошибок в результатах наблюдения: вычисляются параметры R_{max} и R_{min} и сравниваются с критическим значением критерия

Романовского $R_{кр}$ (для заданной вероятности P_δ и n_i ; определяется по таблице Б.1 приложения Б), если выполняются условия (25), то грубых ошибок в результатах наблюдений нет:

$$R_{\max} = \frac{|x_{\max} - \bar{x}|}{\sigma} \leq R_{кр}; \quad R_{\min} = \frac{|x_{\min} - \bar{x}|}{\sigma} \leq R_{кр}. \quad (25)$$

- доверительный интервал с заданной доверительной вероятностью (26):

$$X = \bar{x} \pm t_{\alpha,n} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (26)$$

где $t_{\alpha,n}$ – коэффициент Стьюдента для $\alpha=1-P_\delta$ и числа измерений n (определяется по таблице Б.2 приложения Б).

В случае неравноточных прямых измерений для оценки наиболее вероятного значения определяется «вес» измерения (27):

$$g = \frac{n_i}{\sigma_i^2}, \quad (27)$$

где n_i и σ_i^2 – объем и дисперсия i -ой серии измерений.

Тогда наиболее вероятное значение величины будет ее средневзвешенное значение (28):

$$X_H = \frac{1}{\sum_{i=1}^m g_i} \sum_{i=1}^m g_i \bar{x}_i, \quad (28)$$

2.5.3 Обработка результатов косвенных измерений

Для оценки точности косвенных измерений пользуются следующими формулами:

- если случайная величина z является косвенной и определяется на основании функциональной зависимости результатов прямых измерений, то истинное значение косвенного измерения определяется (29):

$$\bar{z} = f(\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \dots), \quad (29)$$

- абсолютная погрешность косвенного измерения (30):

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a} \Delta a\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b} \Delta b\right)^2 + \dots}, \quad (30)$$

где Δ – абсолютные погрешности результатов прямых измерений ($\sigma_a, \sigma_b, \dots$),

$\frac{\partial f}{\partial a}, \frac{\partial f}{\partial b}$ – частные производные от функции по соответствующим величинам;

— относительная погрешность косвенного результата (31):

$$\delta Z = \frac{\Delta Z}{Z} \cdot 100\% . \quad (31)$$

3 Задание к выполнению лабораторной работы

Выбрать из таблицы В.1 (приложение В) данные для выполнения лабораторной работы согласно варианту, выданному преподавателем.

1. В результате равноточных измерений были получены 10 значений измеряемой величины (таблица А.1 приложение А), для обработки которых необходимо определить:
 - а) среднее (действительное);
 - б) среднее квадратическое отклонение (СКО);
 - в) оценку СКО;
 - г) определить наличие грубых ошибок в результатах измерений;
 - д) доверительный интервал с доверительной вероятностью P_0 .Результат записать с учетом правила округления.
2. Предполагая, что действительное значение измеряемой величины из первого задания получено при измерении прибором заданного предела измерения и заданного класса точности (таблица Г.1 приложение Г), определить абсолютную и относительную погрешность данного результата измерения. Записать результат.
3. Для обработки результатов косвенных измерений (таблица Г.1 приложение Г) необходимо определить:
 - а) истинное значение измеряемой величины;
 - б) абсолютную погрешность результата измерения;
 - в) относительную погрешность измерения.Записать результат с учетом правила округления.

4 Программа выполнения лабораторной работы и отчетность

4.1 Программа выполнения работы

Программа выполнения работы включает в себя следующие этапы:

1. Обработать полученные результаты прямых измерений.
2. Выполнить косвенные измерения, обработать результаты косвенных измерений.
3. Сформулировать выводы по работе,
4. Оформить отчет.

4.2 Отчетность по лабораторной работе

Отчет по работе выполняется рукописно с соблюдением требований по представлению данных и результатов и по оформлению.

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- название лабораторной работы;
- цель работы;
- задание;
- результаты вычислений с указанием формул и единиц измерений;
- результаты, записанные с учетом правила округления;
- выводы по работе.

Примечание: все промежуточные результаты расчетов записываются с двумя-тремя лишними знаками

5 Контрольные вопросы

1. Идентичны ли понятия: "поверочная схема" и "схема поверки"?
2. Может ли государственный эталон быть первичным и в то же время вторичным?
3. Какие физические состояния реальных тел (веществ) послужили основой для построения поверочной схемы для термометров и пирометров?
4. В каких случаях при метрологической экспертизе с достаточным основанием можно считать, что единство и достоверность измерений обеспечиваются?
5. Как определить содержится ли в результате измерений систематическая погрешность, случайная погрешность?
6. Перечислите наиболее распространенные приемы устранения систематических погрешностей, методы уменьшения случайной погрешности в окончательном результате измерения.
7. Классифицируйте измерение силы электрического тока с помощью амперметра прямого включения на 5А и измерение сопротивления в электрической цепи методом "амперметра-вольтметра" с использованием зависимости закона Ома для цепи постоянного тока.
8. Какого класса точности нужно взять измерительный прибор, чтобы в середине шкалы его погрешность измерения не превышала 1%?
9. Определите абсолютную погрешность измерения напряжения, если при показании вольтметра 100В относительная погрешность равна $\pm 2 \%$.

6 Критерии оценки работы студентов

Оценка работы студентов включает в себя следующие этапы:

№	Виды работы	Баллы
1	Изучение теоретических сведений	
2	Выполнение работы и оформление отчета по работе	0-5
3	Защита работы по контрольным вопросам	0-5
	Итого	0-10

Список использованной литературы

Основная литература

1. Сергеев, А. Г. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для студентов вузов, / А. Г. Сергеев, В.В. Терегеря. – М.: Юрайт, 2010.-820 с.
2. Димов, Ю. В. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров, и дипломированных специалистов в области техники и технологии / Ю. В. Димов.-2-е изд.-Питер,2006-432с.:ил.

Дополнительная литература

3. Метрология, стандартизация и сертификация и электроизмерительная техника: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки в области техники и технологии/под ред. К. К. Кима. - М. [и др.]: Питер, 2006. - 368 с.
4. Тартаковский Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для студентов вузов / Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 2009. - 213 с.: ил.

Приложение А

Функция Лапласа

Таблица А.1 - Значения функции Лапласа $\Phi(x)$

х	$\Phi(x)$	х	$\Phi(x)$	х	$\Phi(x)$	х	$\Phi(x)$	х	$\Phi(x)$	х	$\Phi(x)$	х	$\Phi(x)$
0	0	0,41	0,1591	0,87	0,3078	1,25	0,3944	1,67	0,4525	2,18	0,4854	3,45	0,49972
0,01	0,004	0,43	0,1664	0,88	0,3106	1,26	0,3962	1,68	0,4535	2,2	0,4861	3,5	0,49977
0,02	0,008	0,44	0,17	0,9	0,3159	1,27	0,398	1,69	0,4545	2,22	0,4868	3,55	0,49981
0,03	0,012	0,45	0,1736	0,91	0,3186	1,29	0,4015	1,7	0,4554	2,24	0,4875	3,6	0,49984
0,04	0,016	0,5	0,1915	0,92	0,3212	1,3	0,4032	1,72	0,4573	2,26	0,4881	3,65	0,49987
0,05	0,0199	0,51	0,195	0,93	0,3238	1,31	0,4049	1,73	0,4582	2,28	0,4887	3,7	0,49989
0,06	0,0239	0,52	0,1985	0,94	0,1772	1,32	0,4066	1,74	0,4591	2,3	0,48928	3,75	0,49991
0,07	0,0279	0,53	0,2019	0,97	0,1808	1,33	0,4082	1,75	0,4599	2,32	0,48983	3,8	0,49993
0,08	0,0319	0,54	0,2054	0,98	0,1844	1,34	0,4099	1,76	0,4608	2,34	0,49036	3,85	0,49994
0,09	0,0359	0,55	0,2088	0,99	0,1879	1,35	0,4115	1,77	0,4616	2,36	0,49086	3,9	0,49995
0,1	0,0398	0,56	0,2123	0,94	0,3264	1,36	0,4131	1,78	0,4625	2,38	0,49134	3,95	0,49996
0,11	0,0438	0,57	0,2157	0,95	0,3289	1,37	0,4147	1,79	0,4633	2,4	0,4918	4	0,49997
0,12	0,0478	0,58	0,219	0,96	0,3315	1,38	0,4162	1,8	0,4641	2,42	0,49224	4,05	0,49997
0,13	0,0517	0,59	0,2224	0,97	0,334	1,39	0,4177	1,81	0,4649	2,44	0,49266	4,1	0,49998
0,14	0,0557	0,6	0,2257	0,98	0,3365	1,4	0,4192	1,82	0,4656	2,46	0,49305	4,15	0,49998
0,15	0,0596	0,61	0,2291	0,99	0,3389	1,41	0,4207	1,83	0,4664	2,48	0,49343	4,2	0,49999
0,16	0,0636	0,62	0,2324	1	0,3413	1,42	0,4222	1,84	0,4671	2,5	0,49379	4,25	0,49999
0,17	0,0675	0,63	0,2357	1,01	0,3438	1,43	0,4236	1,85	0,4678	2,52	0,49413	4,3	0,49999
0,18	0,0714	0,64	0,2389	1,02	0,3461	1,44	0,4251	1,86	0,4686	2,54	0,49446	4,35	0,49999
0,19	0,0753	0,65	0,2422	1,03	0,3485	1,45	0,4265	1,87	0,4693	2,56	0,49477	4,4	0,49999
0,2	0,0793	0,66	0,2454	1,04	0,3508	1,46	0,4279	1,88	0,4699	2,58	0,49506	4,45	0,5
0,21	0,0832	0,67	0,2486	1,05	0,3531	1,47	0,4292	1,89	0,4706	2,6	0,49534	4,5	0,5
0,22	0,0871	0,68	0,2517	1,06	0,3554	1,48	0,4306	1,9	0,4713	2,62	0,4956	4,55	0,5
0,23	0,091	0,69	0,2549	1,07	0,3577	1,49	0,4319	1,91	0,4719	2,64	0,49585	4,6	0,5
0,24	0,0948	0,7	0,258	1,08	0,3599	1,5	0,4332	1,92	0,4726	2,66	0,49609	4,65	0,5
0,25	0,0987	0,71	0,2611	1,09	0,3621	1,51	0,4345	1,93	0,4732	2,68	0,49632	4,7	0,5
0,26	0,1026	0,72	0,2642	1,1	0,3643	1,52	0,4357	1,94	0,4738	2,7	0,49653	4,75	0,5
0,27	0,1064	0,73	0,2673	1,11	0,3665	1,53	0,437	1,95	0,4744	2,72	0,49674	4,8	0,5
0,28	0,1103	0,74	0,2703	1,12	0,3686	1,54	0,4382	1,96	0,475	2,74	0,49693	4,85	0,5
0,29	0,1141	0,75	0,2734	1,13	0,3708	1,55	0,4394	1,97	0,4756	2,76	0,49711	4,9	0,5
0,3	0,1179	0,76	0,2764	1,14	0,3729	1,56	0,4406	1,98	0,4761	2,78	0,49728	4,95	0,5
0,31	0,1217	0,77	0,2794	1,15	0,3749	1,57	0,4418	1,99	0,4767	2,8	0,49744	5	0,5
0,32	0,1255	0,78	0,2823	1,16	0,377	1,58	0,4429	2	0,4772	3	0,49865		
0,33	0,1293	0,79	0,2852	1,17	0,379	1,59	0,4441	2,02	0,4783	3,05	0,49886		
0,34	0,1331	0,8	0,2881	1,18	0,381	1,6	0,4452	2,04	0,4793	3,1	0,49903		
0,35	0,1368	0,81	0,291	1,19	0,383	1,61	0,4463	2,06	0,4803	3,15	0,49918		
0,36	0,1406	0,82	0,2939	1,2	0,3849	1,62	0,4474	2,08	0,4812	3,2	0,49931		
0,37	0,1443	0,83	0,2967	1,21	0,3869	1,63	0,4484	2,1	0,4821	3,25	0,49942		
0,38	0,148	0,84	0,2995	1,22	0,3883	1,64	0,4495	2,12	0,483	3,3	0,49952		
0,39	0,1517	0,85	0,3023	1,23	0,3907	1,65	0,4505	2,14	0,4838	3,35	0,4996		
0,4	0,1554	0,86	0,3051	1,24	0,3925	1,66	0,4515	2,16	0,4846	3,4	0,49966		

Приложение Б

Критерии оценки погрешностей

Таблица Б.1 - Квантили критерия Романовского $R_{кр}$

n	$\alpha = 1 - p$				
	0.1	0.05	0.001	0.005	0.0001
1	1,282	1,645	2,326	2,576	3,09
2	1,632	1,955	2,575	2,807	3,29
3	1,818	2,121	2,712	2,935	3,403
4	1,943	2,234	2,806	3,023	3,481
5	2,036	2,319	2,877	3,090	3,540
6	2,111	2,386	2,934	3,143	3,588
7	2,172	2,442	2,981	3,188	3,628
8	2,224	2,49	3,022	3,227	3,662
9	2,269	2,531	3,057	3,26	3,692
10	2,309	2,568	3,089	3,29	3,719
15	2,457	2,705	3,207	3,402	3,82
20	2,559	2,799	3,289	3,480	3,890
∞	3,528	3,703	4,108	4,263	4,607

Таблица Б.2 - Квантили критерия Стьюдента t

$f=n-1$	$p=1-\alpha$							
	0.80	0.90	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
1	3.0770	6.3130	12.7060	31.8200	63.6560	127.6560	318.3060	636.6190
2	1.8850	2.9200	4.3020	6.9640	9.9240	14.0890	22.3270	31.5990
3	1.6377	2.35340	3.1820	4.5400	5.8400	7.4580	10.2140	12.9240
4	1.5332	2.13180	2.7760	3.7460	4.6040	5.5970	7.1730	8.6100
5	1.4759	2.01500	2.5700	3.6490	4.0321	4.7730	5.8930	6.8630
6	1.4390	1.9430	2.4460	3.1420	3.7070	4.3160	5.2070	5.9580
7	1.4149	1.8946	2.3646	2.9980	3.4995	4.2293	4.7850	5.4079
8	1.3968	1.8596	2.3060	2.8965	3.3554	3.8320	4.5008	5.0413
9	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498	3.6897	4.2968	4.7800
10	1.3720	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693	3.5814	4.1437	4.5869
15	1.3406	1.7530	2.1314	2.6025	2.9467	3.2860	3.7320	4.0720
20	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453	3.1534	3.5518	3.8495
∞	1.3030	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045	3.9712	3.3069	3.5510

Приложение В

Задание к первой части лабораторной работе

Таблица В.1 – Результаты прямых измерений по вариантам

№	Измеряемая	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

	величина										
1	I,А	100,3	100,2	100,2	100,8	102,6	101,5	101,4	100,9	100,6	101,1
2	R,Ом	68,5	67,8	65,8	60,0	70,1	63,8	68,4	65,3	66,1	65,9
3	U,В	25	24	26,3	24,8	26	28	26,7	24,7	27	25,8
4	P, кВт	0,37	0,4	0,35	0,38	0,39	0,37	0,4	0,36	0,4	0,33
5	I,А	102	104	103	105	103	106	105	104	102	101
6	U,В	18,9	19,9	18,4	18,4	18,6	18,5	19,0	18,8	18,2	18,6
7	U,В	210	212	213	211	209	211	212	214	213	211
8	P, кВт	0,55	0,54	0,51	0,52	0,54	0,53	0,55	0,54	0,51	0,53
9	I,А	4,2	4,3	4,1	4,2	4,5	4,6	4,1	4,2	4,3	4,5
10	R,Ом	31,6	31,5	31,4	31,3	31,4	31,5	31,6	31,2	31,5	31,4
11	U,В	189	192	194	189	193	191	190	192	188	193
12	I,А	10,2	10,3	10,0	10,1	10,3	10,4	10,2	10,5	10,4	10,3
13	R,кОм	1,35	1,36	1,45	1,35	1,44	1,31	1,35	1,33	1,34	1,43
14	U,кВ	3,8	3,7	3,6	2	3,4	3,8	3,5	3,7	3,6	3,8
15	P, Вт	125	123	125	124	126	124	125	126	125	124
16	P, Вт	245	232	221	225	226	228	230	225	222	229
17	R,МОм	0,15	0,16	0,14	0,17	0,21	0,19	0,20	0,15	0,16	0,17
18	U,мВ	56	55	58	59	55	54	59	56	57	56
19	I,кА	0,12	0,14	0,15	0,11	0,12	0,13	0,14	0,12	0,13	0,15
20	I,А	3,5	3,2	3,1	3,6	3,3	3,3	3,4	3,2	3,2	3,1
21	R,Ом	101	102	103	103	105	103	102	105	104	104
22	U,В	156	154	162	168	149	165	159	154	153	164
23	P, кВт	0,63	0,59	0,61	0,58	0,64	0,64	0,59	0,61	0,62	0,63
24	R,Ом	111	112	115	114	112	113	115	112	114	115
25	P, кВт	186	194	192	187	185	179	181	191	185	187
26	I,А	16	15	16	17	14	11	13	15	18	16

Приложение Г

Задание ко второй и третьей частям лабораторной работе

Таблица Г.1 Характеристики средств измерений по вариантам

№	Предел измерения прибора	Класс точности прибора	Косвенные измерения	
			Неизвестная величина	Известная величина
1	150А	$\swarrow 1,0$	R	U=120В, $\Delta U=0.5В$
2	100 Ом	$\bigcirc 1,5$	U	I=10А, $\Delta I=0.01А$
3	50 В	1,0	P	R=100Ом, $\Delta R=1Ом$
4	0,5 кВт	1,5	I	U=0,15В, $\Delta U=0.5мВ$
5	150 А	0,02/0,01	P	R=200Ом, $\Delta R=5Ом$
6	20 В	0,5/0,2	P	I=5А, $\Delta I=0.05А$
7	220 В	$\swarrow 0,5$	I	R=0.5Ом, $\Delta R=0.06Ом$
8	1кВт	$\bigcirc 0,01$	R	U=10В, $\Delta U=0.01В$
9	5А	0,2	U	P=5кВт, $\Delta P=5Вт$
10	50 Ом	1,5	P	U=10В, $\Delta U=0.05В$
11	220 В	0,05	R	I=12.5А, $\Delta I=0.02А$
12	15 А	$\swarrow 0,25$	P	U=24В, $\Delta U=2В$
13	1,5 кОм	0,25	U	P=500Вт, $\Delta P=5 ВТ$
14	5 кВ	$\bigcirc 2,5$	I	P=1 кВт, $\Delta P=52 ВТ$
15	150 ВТ	0,15	U	R=5 кОм, $\Delta R=0.1кОм$
16	300 ВТ	0,5/0,05	I	U=120 В, $\Delta U=0,5В$
17	0,25 МОм	0,2/0,15	I	U=220 В, $\Delta U=0.01 В$
18	100 мВ	0,02	I	R=200 Ом, $\Delta R=15 Ом$
19	0,5 кА	0,1/0,1	R	P=2кВт, $\Delta P=200Вт$
20	5А	1,0/0,25	U	R=2кОм, $\Delta R=0.15кОм$
21	110 Ом	0,003	P	I=0.55А, $\Delta I=0.06А$
22	200 В	$\swarrow 1,5$	I	P=25Вт, $\Delta P=0,1Вт$
23	1 кВт	$\bigcirc 1,0$	U	R=4 кОм, $\Delta R=0,1кОм$
24	120 Ом	0,5	P	I=15А, $\Delta I=0.1А$
25	250 кВт	$\swarrow 0,2$	U	R=80 Ом, $\Delta R=1 Ом$
26	25 А	$\bigcirc 1,0$	U	R=2Ом, $\Delta R=0,05Ом$