

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам № 1-2 по дисциплине «Метрология,
стандартизация и технические измерения» и «Метрология,
стандартизация и сертификация» для студентов направления
11.03.03 «Конструирование и технология электронных
средств» и 12.03.01 «Приборостроение» очной и заочной форм
обучения



Воронеж 2021

УДК 621.317.08

Составители:

канд. техн. наук А.С. Самодуров

Методические указания к лабораторным работам № 1-2 по дисциплине «Метрология, стандартизация и технические измерения» и «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» и 12.03.01 «Приборостроение» очной и заочной форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.С. Самодуров. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 37 с.

Методические указания предназначены для самостоятельной работы студентов при подготовке к индивидуальным и лабораторным занятиям по дисциплине. Предназначены для студентов второго курса обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде в электронном виде и содержатся в файле **МСТИ_ЛР1-2.doc**

Табл. 3. Библиогр.: 9 назв.

УДК 621.317.08

Рецензент - О. Ю. Макаров, д-р техн. наук, проф.
кафедры конструирования и производства
радиоаппаратуры ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Метрология, стандартизация и технические измерения» и «Метрология, стандартизация и сертификация» является одним из специальных курсов в системе подготовки бакалавра, обучающегося по направлению 211000.62 «Конструирование и технология электронных средств» и 200100.62 «Приборостроение».

Задача лабораторного практикума состоит в приобретении студентами теоретических и практических навыков в области правильного выбора метода и средств измерений, снятия показаний при различных системах индикации, обработки результатов измерений и оценки их погрешностей.

Измерения, выполняемые в практической деятельности бакалавром, имеют свою специфику по сравнению с измерениями, производимыми радиоинженерами - специалистами в области цепей и сигналов. Это в первую очередь определяется тем, что помимо электрорадиоизмерений в схемах и цепях конструктор-технолог значительно чаще сталкивается с измерениями различных свойств материалов, полупроводниковых и металлических пленочных сложных структур, элементов конструкций с учетом взаимодействия с тепловыми процессами, механическими взаимодействиями и напряжениями, а также измерениями, используемыми в процессе изготовления РЭС, в том числе как отдельных деталей, так и сборочных единиц различной степени интеграции и сложности. В связи с этим лабораторный практикум по курсу включает в себя цикл лабораторных работ, предусматривающих как обработку результатов электрорадиоизмерения, так и измерений неэлектрических величин.

В данных методических указаниях изложены указания

по выполнению следующих работ «Технические измерения и обработка результатов», «Статистическая обработка результатов прямых равнорассеянных измерений», в них также рассмотрены вопросы классификации измерений и их погрешностей, указания по выбору средств измерений, правила округления приближенных чисел и записи результатов измерений, а также основные положения теории вероятностей и математической статистики, необходимые для статистической обработки результатов. Введение вышеуказанного материала в методические указания обусловлено отсутствием в достаточном количестве учебной литературы для дневной, вечерней и заочной форм обучения, а также тем, что к началу изучения курса студенты еще мало знакомы с математическими методами обработки результатов наблюдений, основанных на теории вероятностей и математической статистики. Кроме того в методическом руководстве более подробно освещены вопросы техники безопасности.

При составлении руководства учитывалась специфика обучения студентов дневной, заочной форм обучения, а также наличие в лабораторном практикуме элементов научных исследований.

УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Запрещено приступать к выполнению работ, не ознакомившись с «Общими указаниями по технике безопасности».

Вопросы техники безопасности труда для бакалавров более многоплановы по сравнению с вопросами, которые приходится решать инженеру схемотехнику. Сюда входят вопросы безопасного труда при использовании химически активных веществ (процессы нанесения химических покрытий,

травления), при выполнении механической обработки элементов конструкций и т.п. Особое место занимают вопросы техники безопасности при работе с электрооборудованием.

Правила по технике безопасности при работе в лаборатории по курсу ТИ определяются «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок напряжением 1000 В» и в конкретных лабораторных условиях могут быть сведены к следующему:

При выполнении лабораторной работы запрещается:

1. Проводить лабораторные работы при отсутствии заземления корпусов измерительных приборов.
2. Снимать защитные кожуха и крышки приборов.
3. Менять сетевые предохранители.
4. Включать силовые и осветительные установки, рубильники без разрешения преподавателей или лаборанта.
5. Включать в сетевые розетки какие-либо провода без штепсельных вилок.
6. Устранять неисправности сетевой проводки своими силами.

При проведении лабораторных работ студенты обязаны:

1. Все переключения и изменения в схемах производить при выключении напряжения.
2. Если при прикосновении к корпусу или шасси, лабораторной установки или измерительного прибора ощущается действие тока, выключить установку или прибор.
3. В случае поражения работающего электрическим током, последний должен быть немедленно освобожден от соприкосновения с токоведущими частями, отключением энергии. Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, следует немедленно применить искусственное дыхание, вызвать врача.

О замеченных неисправностях лабораторной установки докладывать лаборанту или преподавателю, ведущим занятия.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

«ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ»

Цель работы:

Целью настоящей работы является ознакомление с измерительными приборами и сопроводительной документацией к ним, освоение методики подготовки, настройки, исключения систематических погрешностей и работы с приборами, обработки и записи результатов технических измерений.

1. ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

Для теоретической подготовки к выполнению работ необходимо проработать задания приведенные ниже. При подготовке заданий необходимо воспользоваться материалом данным в заданиях, конспектом лекций и материалом содержащимся в учебных пособиях [6] и [7]. Допускается в отдельных случаях, по усмотрению преподавателя, студентам вечерней и заочной форм обучения ограничиться изучением материала методических указаний.

1.1. Задание первое – Изучить основные определения. Изучить классификацию и основные характеристики измерений.

Методические указания к заданию.

Информация о свойствах и качествах объектов, полученная посредством измерений, называется *измерительной информацией*.

Свойства, для которых могут быть установлены и воспроизведены градации определенного размера, называются **физическими величинами**. Возможность физической реализации единицы является определяющим признаком понятия «**физическая величина**». **Значение физической величины** — оценка физической величины в принятых для измерения данной величины единицах.

Нахождение истинного значения измеряемой физической величины является центральной проблемой метрологии. Стандарт определяет **истинное значение** как значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта. **Действительное значение** — значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному, что для данной цели может быть использовано вместо него. Под **измеренным значением** понимается значение величины, отсчитанное по отсчетному устройству средства измерения.

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

По характеру зависимости измеряемой величины *от времени измерения* делятся:

- **статистические**, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени;
- **динамические**, — измеряемая величина изменяется при измерениях.

По *способу получения результатов* измерения бывают:

- **прямые**, при которых искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных

$$Q = X, \quad (1.1)$$

где Q – истинное значение измеряемой величины;

X – значение полученное из опытных данных.

- **косвенные**, при которых величину определяют на основании известной зависимости этой величины с другими величинами, которые подвергаются прямым измерениям

$$Q = f(X_1, X_2, \dots, X_N), \quad (1.2)$$

где f – знак функциональной зависимости, форма которой и ее физический смысл заранее известны; (X_1, X_2, \dots, X_N) – результаты прямых измерений;

- **совокупные**, производимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомую величину определяют решением системы уравнений, которые получены путем прямых измерений в различных сочетаниях этих величин;

- **совместные**, произведенные одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для установления зависимости между ними.

По условиям, *определяющим точность результата*, измерения подразделяют:

- измерения максимальной возможной точности при современном уровне развития техники (эталонные, измерения констант);

- контрольно-поверочные – точность которых должна быть больше наперед заданного значения (измерения производимые лабораториями сертификационного центра);

- технические или измерения с предварительным оцениванием погрешностей – измерения точность которых определяется характеристиками средств измерения (это все измерения при разработке и производстве).

По *способу выражения результатов* измерения бывают:

- **абсолютные**, основанные на прямых измерениях

одной или нескольких основных физических величин или на использовании значений физических констант (длина в метрах, сила тока в амперах);

- **относительные** – измерения отношения величины к одноименной величине, которая принимается за единицу или измерение отношения величины к одноименной, принимаемой за исходную (измерение относительной влажности).

Основные характеристики измерений: принцип; метод; погрешность; точность; достоверность.

Принцип – физическое явление или их совокупность, положенные в основу измерения (измерение температуры на основе термоэлектрического эффекта).

Метод измерений – совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Погрешность измерения – разность между измеренным X и истинным значением Q измеряемой величины

$$\Delta = X - Q. \quad (1.3)$$

Точность измерения – показатель характеризующий близость результатов к истинному значению измеряемой величины:

$$\varepsilon = \left| \frac{\Delta}{Q} \right|^{-1}, \quad (1.4)$$

где $\delta_0 = \frac{\Delta}{Q}$ – относительная погрешность. При $\Delta \rightarrow 0$

$\varepsilon \rightarrow \infty$.

Достоверность измерения – степень доверия к результатам измерений. Количественно характеризуется доверительной вероятностью $p(t)$.

Измерения проводятся с помощью технических средств,

которые имеют нормированные погрешности и называются средствами измерений.

1.2. Задание второе – Изучить указания по выбору средств измерений.

Методические указания к заданию.

Средства измерений включают в себя: измерительные преобразователи, измерительные приборы и вспомогательные средства. Для принятия решения об использовании того или иного прибора для проведения конкретных измерений необходимо знать его основные технические и особенно метрологические характеристики. Последние позволяют судить о возможности измерения в требуемом диапазоне значений измеряемого параметра с заданной точностью.

К ним относятся: *диапазон измерений, чувствительность, цена деления шкалы, порог чувствительности, суммарная погрешность (класс точности)*. Метрологические характеристики приводятся в сопроводительной документации к измерительному прибору.

По указанной причине первое, с чего начинается работа с прибором, является ознакомление с его сопроводительной документацией «Техническим описанием (ТО) и инструкцией по эксплуатации (ИЭ)».

Если прибор по своим метрологическим характеристикам удовлетворяет требованиям измерения параметров физической величины, должны быть рассмотрены факторы, определяющие условия измерений.

А именно: фактор допустимого времени измерений, определяет степень их автоматизации; пространственный фактор – массогабаритные характеристики; энергообеспеченность – потребление энергии и т.п.

Весьма существенным с целью исключения

субъективных ошибок, особенно при многократных измерениях является выбор формы индикации результатов измерений (стрелочный, цифровой отсчет) и их документирования.

При организации измерений в производственных условиях помимо технических и метрологических параметров измерительных средств необходимо учитывать и экономические факторы (стоимость, амортизационные отчисления и т.п.).

Информацию о всех перечисленных характеристиках для принятия решения можно получить в отраслевых каталогах и справочниках.

1.3. Задание третье – Изучить правила округления приближенных чисел и записи результатов измерений.

Методические указания к заданию.

Результаты и погрешности измерений выражаются приближенными числами, по указанной причине целесообразно напомнить основные правила их округления и записи [6].

- лучше преувеличить погрешность измерения, чем ее преуменьшить при записи;

- в приближенном числе цифры имеют разную значимость и называются по-разному;

- значимость цифр можно установить лишь в случае, когда задана абсолютная погрешность числа. При десятичной форме записи: цифры приближенного числа, имеющие тот же десятичный разряд, что и две первые отличные от нуля цифры его абсолютной погрешности, называются *сомнительными*. Цифры левее сомнительных – *верные*, правее – *неверные*. Неверные цифры всегда отбрасываются.

Пример. В числе $0,00074690 \pm 0,00003$ цифры «0,0007»

– верные; цифра «4» – сомнительная; цифра «690» – неверные.

Сомнительные и верные цифры, не являющиеся стоящими слева нулями, называются значащими цифрами. Так, в приведенном примере цифры «74» значащие, остальные незначащие.

При записи числа в нормальной форме в качестве мантиссы используются значащие цифры:

$$C = 7,4 \cdot 10^{-4} \pm 0,3 \cdot 10^{-4}.$$

Если при записи приближенного числа в десятичной форме отсутствуют указания о его погрешности, то все указанные цифры в числе считаются верными, а абсолютная предельная погрешность числа считается равной половине единицы последнего разряда.

Пример. Пусть $l = 19,6$ м, тогда $\Delta l = \pm 0,05$ м.

В этом случае количество значащих цифр определяет точность числа. Например, числа $7,80 \cdot 10^3$ м и $7,8 \cdot 10^3$ м следует считать различными: точность первого ± 5 м, второго ± 50 м.

Общее правило округления гласит:

если цифра старшего из отбрасываемых разрядов больше, или равна 5, а за ней следуют не равные нулю цифры, то последняя цифра оставшегося числа увеличивается на единицу: например $36,52 \approx 37$.

Если отбрасываемая цифра равна 5, то округляемое число следует делать четным, изменяя или не изменяя последнюю оставшуюся цифру. Например: $22,5 \approx 22$; $37,5 \approx 38$.

В окончательной записи абсолютная погрешность измерения обычно округляется до двух значащих цифр, если цифра старшего разряда меньше или равна 3. Вторая цифра при этом берется равной 5. Например: $\Delta C = \pm 0,23$ пФ = $\pm 0,25$ пФ. Если же больше 3, то погрешность выражается числом с одной значащей цифрой, при этом цифра 9 не должна использоваться.

Относительная погрешность округляется всегда до двух значащих цифр:

$$(\pm 2,5\% ; \pm 0,25\%).$$

Правило округления результата. Значение результата измерений должно оканчиваться теми же десятичными разрядами, что и значение его абсолютной погрешности.

В промежуточных расчетах целесообразно увеличивать число значащих цифр в записи погрешности до трех-четырех, чтобы не получить искажения результатов за счет промежуточных округлений.

Проиллюстрируем вышеизложенное на примере определения погрешности измерения по данным о точности используемого прибора.

Пусть паспортная предельная ненормированная погрешность измерения частоты частотомером выражена формулой $\Delta F/F_k = \pm 10\% \pm 1$, а показания прибора частотомера 375,5 Гц (F_k – крайнее показание шкалы прибора).

Требуется определить абсолютную погрешность измерения частоты и записать результат.

Вычислим границы абсолютной погрешности:

$$\Delta F = \pm \left(\begin{array}{l} 375,5 \cdot 0,1 \\ 375,5 \cdot 0,1 \end{array} \right) \begin{array}{l} +1 \\ -1 \end{array} = \begin{array}{l} +37,55 + 1 \\ -37,55 - 1 \end{array} = \begin{array}{l} +38,55 \\ -38,55 \end{array} = \pm 38,55$$

Произведем округление погрешности

$$\Delta F = \pm 39 \text{ Гц}.$$

Зная абсолютную погрешность результата, отбросив неверные знаки, имеем $F = 375 \pm 39$ Гц или в нормированной форме $F = (3,75 \pm 0,39) \cdot 10^2 \text{ Гц}$.

Результаты технических измерений, а также результаты контрольно-поверочных (статистических) измерений должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 8.011-72 [1] с указанием полученных погрешностей измерений. Все

приближенные числа, используемые при записи результата, должны быть округлены и представлены в нормализованном виде с мантиссами, содержащими только значащие цифры, по правилам представленные выше.

Предусмотренные ГОСТом формы записи с выражением точности измерений через доверительные интервалы и доверительные вероятности погрешностей измерений достаточно подробно представлены в лабораторной работе №2.

В практике технических измерений принята не предусмотренная ГОСТом запись результатов с выражением погрешностей через их предельные значения. Такая запись удобна при оценке погрешности измерения по предельно допустимой основной погрешности прибора. Однако, с целью соблюдения требований ГОСТ в таких случаях следует заменить значения – границами доверительного интервала и принять условно доверительную вероятность $p=0,99$.

Пример. Основная погрешность амперметра (предел допустимой относительной погрешности) равна $\pm 5\%$. Результат измерения в нормальных условиях 10 А следует записать $I = 10,0 \pm 0,5$ А; $p=0,99$.

1.4. Задание четвертое

Методические указания к заданию.

Ознакомиться с сопроводительной технической документацией (ТО и ИЭ) к используемым в работе приборам: универсальному электронному осциллографу, генератору низкочастотных колебаний, универсальному вольтметру, электронно-счетному частотомеру.

С названной документацией можно ознакомиться в лаборатории МСТИ или в читальном зале во время, выделенное для самостоятельной работы.

Студенты заочной формы обучения должны проанализировать возможность снижения систематических погрешностей, измеряемых в повседневной практике параметров с помощью указанных приборов и других средств измерений.

2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1. Задание первое - Измерить амплитуду синусоидального электрического сигнала.

Методические указания к заданию.

Для выполнения лабораторного задания необходимо подготовить к работе низкочастотный генератор, осциллограф и милливольтметр в соответствии с разделом «Подготовка к работе» соответствующих ТО и ИЭ.

Составить схему одновременного измерения амплитуды синусоидального сигнала при помощи осциллографа и милливольтметра.

Привести в рабочее состояние приборы необходимые для выполнения работы. Соединить приборы согласно ранее составленной схеме.

Приступить к проведению технических измерений (измерения с приближенным оцениванием погрешностей) в нормальных условиях в соответствии с согласованными схемами измерений.

Установить на выходе низкочастотного генератора частоту заданную преподавателем. Установить на выходе низкочастотного генератора амплитудное напряжение $U_{\text{АМП}} = 3\text{В}$, используя для контроля напряжения осциллограф. Для вычисления амплитуды синусоидального сигнала на выходе генератора, при измерении с помощью осциллографа,

используют формулу

$$U_{АМП} = \frac{A \cdot n}{2}, \quad (2.1)$$

где A – цена деления, определяемая положением переключателя «V/дел»;

n – число делений, занимаемое изображением по вертикали.

Т.о. требуемое число делений для заданного напряжения можно рассчитать по формуле

$$n = \frac{2 \cdot U_{АМП}}{A}. \quad (2.2)$$

Записать результаты измерений амплитуды с помощью осциллографа и вольтметра согласно указаниям разделов 1.3.

2.2. Задание второе - Измерить частоту синусоидального сигнала, на которой производилось измерение амплитуды.

Методические указания к заданию.

Для выполнения лабораторного задания необходимо подготовить к работе низкочастотный генератор, осциллограф и электронно-счетный частотомер в соответствии с разделом «Подготовка к работе» соответствующих ТО и ИЭ.

Составить схему одновременного измерения частоты синусоидального сигнала при помощи осциллографа и электронно-счетного частотомера.

Амплитуда напряжения и частота остаются такими же, как и в первом задании. Не меняя частоты, при помощи ручки «РАЗВЕРТКА» на осциллографе, добиться устойчивого изображения 5-10 периодов на экране осциллографа, руководствуясь соответствующим разделом ТО и ИЭ.

Произвести технические измерения частоты синусоидального сигнала в соответствии с согласованной

схемой измерений и разделом «Порядок работы (измерение частоты)» вначале при помощи осциллографа, а затем при помощи электронно-счетного частотомера.

Вычисление частоты при измерении с помощью осциллографа производится по формуле

$$F = \frac{k}{n \cdot B}, \quad (2.2)$$

где k – число периодов синусоидального сигнала на экране;

n – число делений масштабной сетки, занимаемой k периодами;

B – цена деления сетки, определяемая по положению переключателя «Время/дел».

Записать результат измерения частоты с помощью осциллографа и электронно-счетного частотомера согласно указаниям разделов 1.3.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ОТЧЕТУ

1. Что называется измерительной информацией?
2. Дайте определение понятиям физическая величина и значение физической величины.
3. Какое значение физической величины называется истинным, действительным и измеренным?
4. Что такое измерение?
5. Назовите основные характеристики измерений. Дайте им определение.
6. В чем особенности измерений, выполняемых бакалавром обучающимся по направлению 200100 «Приборостроение»?
7. Как классифицируются измерения по характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения?

8. Как классифицируются измерения по способу получения результатов?
9. Как классифицируются измерения по точности получения результатов?
10. Что такое техническое измерение?
11. Назовите основные метрологические характеристики средств измерений?
12. Дайте определение сомнительной, верной и неверной цифры.
13. Какие цифры называются значащими и незначащими?

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И СОДЕРЖАНИЮ ОТЧЕТА

Отчет оформляется в соответствии с требованиями СТП ВГТУ.

Отчет по каждой лабораторной работе должен содержать: наименование работы и ее цель, результаты выполнения домашнего задания (по каждому пункту отдельно), результаты выполнения лабораторного задания (по каждому пункту), краткий перечень знаний и навыков, приобретенных в результате выполнения работы оформленный в виде выводов по работе. Отчет должен быть завершен кратким перечнем освоенных операций. При оформлении этой части необходимо перечислить приобретенные при выполнении работы знания и умения. В выводах необходимо сформулировать результаты эксперимента. В выводах рекомендуется делать аргументированные критические замечания по поводу проделанной работы.

Отчет к первой лабораторной работе в разделе домашние задания должен содержать структурные

электрические схемы используемых в работе приборов и их краткие технические характеристики, определяющие измерение амплитуды и частоты синусоидальных сигналов.

Материалы выполнения лабораторного задания должны содержать схемы измерений, результаты измерений и расчета погрешностей, представленные в требуемой для произведенных технических измерений форме записи.

В кратком перечне знаний и навыков отметить каким образом производилось исключение различных составляющих систематической ошибки в осциллографе и милливольтметре, каким образом осуществляется оценка работоспособности электронно-счетного частотомера.

В выводах отразить наличие различной точности произведенных измерений при работе с приборами, использующими различные методы измерений физической величины и формы индикации результата.

Отчет по лабораторной работе, выполняемой студентами заочной формы обучения по индивидуальному заданию должен быть оформлен в соответствии с вышеизложенными указаниями.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

«СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЯМЫХ РАВНОРАССЕЯННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ»

Цель работы

Целью настоящей работы является ознакомление с методикой обработки результатов прямых равнорассеянных (равноточных) измерений, содержащих случайные погрешности.

1. ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

Для теоретической подготовки к выполнению работ необходимо проработать задания приведенные ниже. При подготовке заданий необходимо воспользоваться материалом данным в заданиях, конспектом лекций и материалом содержащимся в учебных пособиях [6] и [7]. Допускается в отдельных случаях, по усмотрению преподавателя, студентам вечерней и заочной форм обучения ограничиться изучением материала методических указаний.

1.1. Задание первое – Изучить классификацию погрешностей измерения их основные характеристики.

Методические указания к заданию.

Данное задание посвящено одной из основных характеристик измерений их погрешности, определение которой дано в предыдущей лабораторной работе. Поскольку истинное значение Q измеряемой величины неизвестно, то неизвестна и погрешность измерений, поэтому для получения хотя бы приближенных значений приходится пользоваться понятием действительного значения. Под действительным значением Q_d понимают значение физической величины, найденное экспериментально и настолько приближающее к истинному, что для определенной цели оно может быть использовано вместо него.

Погрешности (ошибки) измерений, классификация которых производится в соответствии с ГОСТ 8.011 – 72 [1], определяются различными факторами, которые можно разделить на две основные группы.

В первую группу входят факторы, проявляющиеся с

интенсивностью, которую трудно предвидеть. Например: скачки напряжения питающей сети, естественные электромагнитные разряды. Доля суммарной погрешности измерений, определяемая этими факторами, называется **случайной погрешностью измерений**. Иными словами, случайные погрешности это те, которые изменяются случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. К этому же классу относятся грубые погрешности и промахи.

Во вторую – факторы постоянные или закономерно изменяющиеся в процессе измерения. Например: прогрев прибора при включении, погрешности образцовых мер. Составляющая суммарной погрешности, определяемая этими факторами, называется **систематической погрешностью измерений**. Систематические - это погрешности, остающиеся постоянными или закономерно изменяющимися при повторных измерениях.

При проведении измерений оба вида погрешностей проявляются одновременно и поэтому результирующая может быть представлена в следующем виде:

$$\Delta = \delta + \theta, \quad (1.1)$$

где δ – случайная погрешность, θ – систематическая погрешность.

Систематические погрешности **по причинам возникновения** делятся на три группы:

- методические θ_M ;
- инструментальные (аппаратурные) $\theta_{И}$;
- субъективные (ошибки экспериментатора) θ_C .

Методические – появляются вследствие неточности метода измерения данной величины, неточности формул, выведенных с некоторыми допущениями, влияния прибора на объект измерений.

Инструментальные – обусловлены несовершенством средств измерений, неточностью градуировки, взаимным влиянием приборов, влиянием прочих внешних воздействий.

Субъективные – возникают вследствие несовершенства органов восприятия оператора (человека). Доля их мала и при использовании цифровой индикации сводится к нулю.

По отношению к текущему времени систематические погрешности делятся на постоянные и переменные. Переменные подразделяются на прогрессирующие и периодические. Характер каждой составляющей ясен из названия.

Существуют различные методы компенсации систематических погрешностей. Однако, полностью устранить их не удастся. Всегда остается неучтенная систематическая погрешность θ_H в результирующей погрешности.

Компенсируемая составляющая систематической погрешности θ_K , как правило, складывается из аддитивной θ_A и мультипликативной частей θ_M :

$$\theta_K = \theta_A + \theta_M Q, \quad (1.2)$$

где Q – истинное значение измеряемой величины.

Компенсация систематической погрешности осуществляется путем введения в результат измерения поправки $a = -\theta_K$, для определения которой в большинстве случаев используют замеры двух калибровочных (эталонных) величин $Q_1 = 0$; $Q_2 \neq 0$. Первым замером компенсируется аддитивная составляющая: $Q' = \theta_A$; вторым – мультипликативная $Q'' = \theta_A + \theta_M Q_2$.

$$\theta_M = \frac{Q'' - Q'}{Q_2}. \quad (1.3)$$

В ряде приборов частичная компенсация

систематической погрешности производится с помощью двух последовательных операций: установки нуля (компенсация аддитивной части) и калибровки (компенсация мультипликативной составляющей). Для обеспечения калибровки в состав прибора вводится калибровочный («эталонный») генератор, выдающий значение величины Q_2 .

В настоящем цикле лабораторных работ производится оценка лишь неучтенных систематических инструментальных погрешностей $Q_{ин}$. Последняя является случайной величиной и описывается вероятностными характеристиками.

Результат измерений, из которого исключены систематические погрешности называется *исправленным* X' .

Таким образом, случайная погрешность δ определяется как разность между исправленным результатом X' и истинным значением Q :

$$\delta = X' - Q. \quad (1.4)$$

Случайная погрешность δ в отличие от неучтенной систематической погрешности $Q_{ин}$ может быть определена и уменьшена путем статистической обработки результатов многократных измерений. Основные статистические характеристики случайных погрешностей и методы их оценки даны в ГОСТ 8.207-76 [2].

Суммарная погрешность средств измерений устанавливается отдельно для нормальных условий применения средств измерений и для случая отклонения влияющих факторов от значений, имеющих место в нормальных условиях. Нормальные значения влияющих факторов оговариваются в ГОСТах или в ТУ на средства измерения и представляются в виде номинала с нормированным отклонением:

$$t = (20 \pm 5)^\circ \text{C}$$

$$U_c = 220\text{В} \pm 20\%$$

Помимо указанных за нормальные условия принимаются: параметры окружающего воздуха, характеризующиеся относительной влажностью $65 \pm 15\%$, давлением $1000\text{ГПа} (750 \pm 30 \text{ мм.рт.ст})$ и частота питающей сети $50\text{Гц} \pm 1\%$. Когда основные погрешности находятся в установленных пределах измерительные средства допускаются к применению.

Погрешность свойственная средствам измерений, находящимся в нормальных условиях называется **основной погрешностью**. Она нормируется путем задания пределов допускаемой основной погрешности в соответствии с ГОСТ 8.401-80 [3].

Под **дополнительной погрешностью** понимают изменение погрешности за счет отклонения влияющих на погрешность факторов от нормальных значений.

Класс точности – обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемой основной и дополнительной погрешностей, а также другими свойствами средств измерений влияющими на их точность. Основой для присвоения измерительному прибору того или иного класса точности является его основная погрешность и способ ее выражения.

В соответствии с ГОСТ 8.401-80 пределы допускаемой основной погрешности устанавливаются в виде абсолютных Δ , приведенных γ или относительных погрешностей, причём формулы для представления этих погрешностей могут быть различны.

Так для **абсолютной погрешности** наиболее общей формулой является выражение:

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

где a и b – постоянные; X_H - показание прибора или номинальная величина.

Приведенная погрешность (предел допускаемой погрешности)

$$\gamma = \pm \frac{100\Delta}{D}, \quad (1.6)$$

где D – диапазон воспроизводимых значений, равен чаще всего конечному значению рабочей части шкалы прибора.

Относительная погрешность:

$$\delta_o = \pm \frac{100\Delta}{X_H}. \quad (1.7)$$

Предельно допустимые погрешности являются общими для данного типа прибора и указываются в его «Техническом описании». Знание значений предельно допустимых погрешностей позволяет, исходя из требуемой точности измерений, обосновано выбрать тип измерительного прибора.

1.2. Задание второе – Ознакомиться с основными методами обработки результатов измерений, содержащих случайные погрешности.

Методические указания к заданию.

Фактическое значение случайной погрешности, полученное при проверке, ещё не характеризует точности измерений, поэтому неясно, какое же значение принять за окончательный результат измерения и как охарактеризовать его точность.

Задача сводится к решению вопроса о том, как на основании полученной в эксперименте группы результатов наблюдений оценить истинное значение, т.е. найти результат

измерений и как оценить его точность, т.е. меру его приближения к истинному значению. Эта задача является частным случаем статистической задачи нахождения оценок параметров функции распределения случайной величины на основании выборки – ряда значений принимаемых этой величиной в независимых опытах.

Оценкой (статистической) называют всякую однозначную определённую функцию результатов измерений $x_i, i = 1, \dots, n$, с помощью которой судят о значении параметра a измеряемой величины Q .

Оценка \hat{Q} параметра a называется точечной, если она выражается одним числом. Любая точечная оценка, вычисленная на основании опытных данных, является их функцией и поэтому должна представлять собой случайную величину.

Получаемая в результате многократных наблюдений информация об истинном значении измеряемой величины и рассеивании результатов наблюдения состоит из ряда результатов отдельных наблюдений (ряда наблюдений) x_1, x_2, \dots, x_n , где n – число наблюдений (объём выборки). Их можно рассматривать как n независимых случайных величин с одним и тем же распределением.

В качестве оценки истинного значения измеряемой величины естественно принять среднее арифметическое полученных результатов наблюдений, равное её математическому ожиданию, в случае, когда систематические ошибки исключены

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (1.8)$$

Логическим следствием оценки истинного значения измеряемой величины средним арифметическим ряда

наблюдений является оценка фактических значений случайных погрешностей случайными отклонениями результатов наблюдения от среднего арифметического:

$$v_i = x_i - \bar{X}. \quad (1.9)$$

Мерой отклонения результатов наблюдений от среднего арифметического принято считать средний квадрат отклонения (S_X^2), который называется дисперсией

$$S_X^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}. \quad (1.10)$$

Осреднение по (n-1) производится в случае, когда число измерений ограничено (конечно).

Как видим, дисперсия случайной величины имеет размерность квадрата случайной величины. Для наглядной характеристики рассеивания удобно пользоваться величиной, размерность которой совпадает с размерностью случайной величины.

Если взять квадратный корень из дисперсии, то будем иметь дело с точечной оценкой среднеквадратичного отклонения S_X (СКО) результатов наблюдения, которая называется также стандартным отклонением

$$S_X = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}. \quad (1.11)$$

Эта оценка характеризует сходимость результата отдельных наблюдений, т.е. степень их концентрации относительно среднего арифметического.

В качестве погрешности точечной оценки истинного значения измеряемой величины принимается выражение

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{1}{n} S_X^2} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n v_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (1.12)$$

Полученные оценки (2.8, 2.12) позволяют записать итог измерения в виде

$$Q = \bar{X}; S_{\bar{X}} = \dots; n = \dots,$$

что, позволяет сделать некоторые выводы о точности проведённых измерений.

Результаты наблюдений как случайная величина отличается тем, что могут чаще или реже принимать те или иные значения. Другими словами, вероятности принятия случайной величиной различных значений отличаются.

Вероятностью события (принятия случайной величиной конкретного значения) называется численная мера $p(x)$, принимающая значения от 0 до 1 и характеризующая степень возможности появления в рассматриваемой ситуации (опыте).

Вероятности, с которыми данная случайная величина принимает различные значения, определяют собой в совокупности закон распределения вероятностей данной случайной величины.

При анализе погрешностей измерений наиболее часто приходится сталкиваться с нормальным законом распределения. Наиболее важным условием его возникновения является формирование признака как суммы большого числа взаимно независимых слагаемых, ни одно из которых не характеризуется исключительно большой по сравнению с другими дисперсией. Нормальный закон является предельным случаем остальных известных законов распределения.

Помимо точечной оценки истинного значения измеряемой величины возможна оценка параметров с помощью интервалов, которая заключается в нахождении интервалов, называемых доверительными, между границами

которых с определенными вероятностями (доверительными) находятся истинные значения оцениваемых параметров.

Пусть в результате n наблюдений измеряемой величины Q получили оценку действительного значения Q_d , равного среднему арифметическому \bar{X} . Последнее является случайной величиной, имеющей среднее квадратическое отклонение S_x .

Необходимо найти интервал значений измеряемой величины, которой с заданной вероятностью накрывает истинное значение. Такой интервал называют доверительным, а заданную вероятность доверительной

$$P[\bar{X} - \Delta < Q < \bar{X} + \Delta] = \alpha. \quad (1.14)$$

Соответственно вероятность погрешности

$$P[\Delta_1 < \Delta < \Delta_2] = \alpha. \quad (1.15)$$

Доверительный интервал и доверительная вероятность – параметры характеризующие достоверность результатов измерений. Выбор доверительной вероятности не является математической задачей, определяется конкретно решаемой проблемой. Половину длины симметричного доверительного интервала называют доверительной границей или предельной погрешностью результатов измерений при доверительной вероятности α . Доверительный интервал и предельную погрешность выражают через СКО.

Интервальное оценивание особенно необходимо при малом числе наблюдений, когда точечная оценка в значительной мере случайна, а следовательно малодостоверна.

В случае малого числа измерений ($2 < n < 20$), когда распределение результатов наблюдений нормально

$$p(t) = \frac{1}{\sigma} \pi * e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}, \text{ но дисперсия генеральной совокупности } (n \rightarrow \infty)$$

неизвестна для нахождения доверительных интервалов пользуются соотношением

$$t_{np} = \frac{\bar{X} - Q}{S_{\bar{X}}} = \sqrt{n} \frac{\bar{X} - Q}{S_X}, \quad (1.16)$$

называемым дробью Стьюдента, где t_{np} – нормированная переменная отклонения. Входящие в неё величины \bar{X} и S_X вычисляются на основании опытных данных, они представляют собой точечные оценки среднего арифметического (математического ожидания) и среднеквадратического отклонения результатов наблюдений (1.8, 1.11).

Доказано [7], что вероятность того, что дробь Стьюдента в результате выполняемых наблюдений (измерений) примет некоторые значения в интервале $(-t_{np}; +t_{np})$ представляется выражением:

$$P\left\{-t_{np} < \frac{\bar{X} - Q}{S_{\bar{X}}}\right\} = P\left\{|\bar{X} - Q| < t_{np} S_{np}\right\} = 2 \int_0^{t_{np}} S(t, k) dt, \quad (1.17)$$

где k – число степеней свободы – $k = n - 1$; $S(t, k)$ – плотность распределения дроби Стьюдента.

Величины t_{np} табулированы для различных значений доверительной вероятности p в пределах 0,10 – 0,99 при $k = n - 1 = 1, 2, 3 \dots 30$. Коэффициент t_{np} зависит не только от доверительной вероятности, но и от числа измерений.

В приложении 1 приведены значения t_{np} для некоторых наиболее часто употребляемых вероятностей P . В приложении 2 приведены вероятности появления погрешностей по абсолютной величине не превышающих $\delta_p = t_{np} S_X$ для $t_{np} = 2; 2,5; 3$ и $3,5$.

Итог измерений записывается в виде:

$$Q = \bar{X} \pm \delta_p; n = \dots; p = \dots\%$$

Пример.

По результатам пяти наблюдений было найдено напряжение источника питания. Итог измерений составляет $\bar{V} = 157,85\text{В}$, $S_V = 0,05\text{В}$, причём существует достаточно обоснованные предположения о том, что распределение результатов наблюдений было нормальным.

Найти доверительную границу погрешности результата измерений для доверительной вероятности $P = 99,0\%$. По данным приложения при $k = 4$ находим $t_{np} = 4,604$ и следовательно доверительная граница составляет:

$$\delta_p = t_{np} \cdot S_V = 4,604 \cdot 0,05 = 0,23\text{В}.$$

Итог измерений:

$$V = 157,85 \pm 0,23\text{В}; P = 99,0\%; n = 5.$$

Формула (1.18) показывает, что итог измерения не одно определённое число. В результате измерений мы получаем лишь «полосу значений измеряемой величины с несколько расплывчатыми границами».

«Смысл итога измерений, например, $L = 20,00 \pm 0,05$ заключается не в том, что $L = 20,00$ как для простоты считают и как это чаще всего приходится с неизбежностью принимать для последующего применения и расчётов; смысл в том, что истинное значение лежит где-то в границах от 19,95 до 20,05 и вовсе необязательно, чтобы оно лежало в середине, а не где-нибудь с краю. К тому же нахождение внутри границ имеет некоторую вероятность, меньшую, чем единица; и, следовательно, нахождение вне границ не исключено, хотя и может быть очень маловероятным» (П.М.Тиходеев «Очерки об исходных измерениях» – М.:Машгиз, 1954).

2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1. Задание первое - Провести обработку результатов прямых равнорассеянных измерений. По результатам измерений оценить значение периода, среднюю квадратическую погрешность периода, доверительный интервал для периода при заданной доверительной вероятности.

Методические указания к заданию.

Для формирования ряда оценок необходимо произвести многократные прямые измерения периода напряжения генератора. Частота генератора, число измерений и доверительная вероятность задаются преподавателем индивидуально. В качестве генератора использовать генератор низкой частоты, в качестве измерителя периода цифровой частотомер. Измерения произвести в соответствии с разделом «Порядок работы (Измерения периода)» сопроводительной документации (ТО).

С помощью цифрового частотомера производится n измерений периода напряжения генератора при $t_{ИЗМ}=1с$. По результатам измерений заполняется таблица 1.

Таблица 1 - Результаты многократных прямых измерений периода напряжения генератора

№ п/п	T_i	$T_i - \bar{T}$	$(T_i - \bar{T})^2$
1			
2			
...			
n			
Итого:			

\bar{T} - оценка для периода вычисляется согласно формуле (1.8);

S_T - среднеквадратичная погрешность периода вычисляется согласно формуле (1.11);

$S_{\bar{T}}$ - погрешность оценки периода вычисляется согласно формуле (1.12);

Доверительный интервал для измеряемого периода строится с использованием заданной доверительной вероятности и приложения 1, в виде $T = \bar{T} \pm t_{PP} S_{\bar{T}}$.

2.2 Задание второе - Используя результаты статистической обработки, полученные при выполнении первого лабораторного задания рассчитать требуемое число наблюдений (объём выборки) n , чтобы абсолютная погрешность измерений была меньше наперед заданной, при заданной доверительной вероятности.

Методические указания к заданию.

Исходя из заданной доверительной вероятности фиксируем величину t_{PP} (от 2 до 3,5) используя приложение 2. Затем, предполагая, что результат измерения близок к действительному значению измеряемой величины, определим из соотношения (2.16)

$$n = \frac{t_{PP}^2 \cdot S_T^2}{\Delta^2}.$$

Определим n для трёх значений $\Delta_1 = S_T$; $\Delta_2 = 0,5S_T$; $\Delta_3 = 0,1S_T$. Произвести экспериментальную проверку значений для первого (Δ_1) и второго случая (Δ_2).

Обработку результатов измерений производить аналогично методическим указаниям к первому

лабораторному заданию.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ОТЧЕТУ

1. Какая погрешность называется систематической? Приведите примеры факторов, определяющих систематические погрешности.

2. Какая погрешность называется случайной? Приведите примеры факторов, определяющих случайные погрешности.

3. Назовите классификацию систематических погрешностей по причинам их возникновения. Дайте определение каждой из классификационной групп.

4. Назовите классификацию систематических погрешностей по отношению к текущему времени. Какие погрешности называются прогрессирующими и периодическими?

5. Каким образом осуществляется частичная компенсация систематической погрешности в средствах измерения?

6. Какая погрешность называется основной?

7. Какая погрешность называется дополнительной?

8. Что такое класс точности прибора?

9. В какой форме задаются пределы допускаемой основной погрешности приборов?

10. Какая оценка называется точечной?

11. Какими параметрами характеризуется точечная оценка результата измерений?

12. Какая оценка называется интервальной?

13. В каких случаях целесообразно пользоваться интервальной оценкой результатов измерений?

14. Какой закон распределения наиболее характерен при анализе погрешности измерений и основное условие его возникновения?

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Распределение Стьюдента $P\{|t| < t_p\} = 2 \int_0^{t_{np.}} S(t, R) dt$ для различных P

Таблица П1

k	P											
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
1	0,158	0,325	0,510	0,727	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	0,142	0,289	0,445	0,617	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	0,137	0,277	0,424	0,584	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	0,134	0,271	0,414	0,569	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	0,132	0,267	0,408	0,559	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	0,131	0,265	0,404	0,553	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	0,130	0,263	0,402	0,549	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	0,130	0,262	0,399	0,546	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	0,129	0,261	0,398	0,543	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	0,129	0,260	0,397	0,542	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	0,129	0,260	0,396	0,540	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	0,128	0,259	0,395	0,539	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	0,128	0,259	0,394	0,538	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	0,128	0,258	0,393	0,537	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	0,128	0,258	0,393	0,536	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947

Продолжение табл. П1

k	P											
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
16	0,128	0,258	0,392	0,535	0,690	0,865	1,071	1,337	1,743	2,120	2,583	2,921
17	0,128	0,257	0,392	0,534	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
18	0,127	0,257	0,392	0,534	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	0,127	0,257	0,391	0,533	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	0,127	0,257	0,391	0,533	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	0,127	0,257	0,391	0,532	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22	0,127	0,256	0,390	0,532	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	0,127	0,256	0,390	0,532	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
24	0,127	0,256	0,390	0,531	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
25	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,059	2,479	2,779
27	0,127	0,256	0,389	0,531	0,684	0,855	1,057	1,314	1,708	2,052	2,473	2,771
28	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
30	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
∞	0,1256	0,2533	0,3853	0,5244	0,6744	0,8416	1,0364	1,2815	1,6448	1,9599	2,3263	2,5758

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Распределение Стьюдента

Значения $P\{|t| < t_p\} = 2 \int_0^{t_p} S(t, R) dt$ для различных t_p

Таблица П2

R	t_p			
	2,0	2,5	3,0	3,5
1	0,7480	0,7578	0,7952	0,8228
2	0,8164	0,8764	0,9046	0,9276
3	0,8606	0,9122	0,9424	0,9606
4	0,8838	0,9332	0,9600	0,9762
5	0,8980	0,9454	0,9700	0,9828
6	0,9067	0,9534	0,9760	0,9872
7	0,9144	0,9590	0,9800	0,9900
8	0,9194	0,9630	0,9830	0,9920
9	0,9234	0,9662	0,9850	0,9932
10	0,9266	0,9686	0,9866	0,9942
11	0,9292	0,9704	0,9880	0,9950
12	0,9314	0,9720	0,9890	0,9956
13	0,9392	0,9737	0,9898	0,9960
14	0,9348	0,9740	0,9904	0,9964
15	0,9360	0,9754	0,9910	0,9968
16	0,9372	0,9764	0,9916	0,9970
17	0,9382	0,9770	0,9920	0,9972
18	0,9392	0,9776	0,9924	0,9974
19	0,9400	0,9782	0,9926	0,9976
20	0,9408	0,9788	0,9930	0,9978
∞	0,9545	0,9876	0,9973	0,9995

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 8.011-72. ГСИ. Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений [Текст]. - Введ. 1973-01-01. - М. : Изд-во стандартов, 1972. - 27 с.
2. ГОСТ 8.207-76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения [Текст]. - Введ. 1977-02-01. - М. : Изд-во стандартов, 1976. - 20 с.
3. ГОСТ 8.401-80. ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования [Текст]. - Введ. 1981-02-03. - М. : Изд-во стандартов, 1980. - 21 с.
4. ГОСТ 7.32-81. Отчёт о научно-исследовательской работе. Общие требования и правила оформления [Текст]. - Введ. 1982-03-04. - М. : Изд-во стандартов, 1981. - 23 с.
5. ГОСТ 1494-77. Электротехника. Буквенные обозначения основных величин [Текст]. - Введ. 1978-05-01. - М. : Изд-во стандартов, 1977. - 25 с.
6. Тартаковский Д.Ф. Метрология стандартизация и технические средства измерений [Текст] : учеб. для ВУЗов / Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов. – М.: Высш. шк., 2002. – 205 с.
7. Муратов А.В. Метрология, стандартизация и технические измерения [Текст] : учеб. пособие / А.В. Муратов, М.А. Ромащенко. Воронеж: ВГТУ, 2007. – 255 с.
8. Крохин В.В. Метрология. Карманная энциклопедия студента [Текст] / В.В. Крохин, В.Г. Сергеев. – М.: Высш. шк., 2001. – 376 с.
9. Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога [Текст] / У. Болтон. – М.: Додека -XXI , 2002. – 384 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	1
Указания по технике безопасности	2
Лабораторная работа №1 «Технические измерения и обработка результатов»	4
1. Домашние задания и методические указания по их выполнению	4
2. Лабораторные задания и методические указания по их выполнению	13
3. Контрольные вопросы к отчету	15
4. Требования к оформлению и содержанию отчета	16
Лабораторная работа №2 «Статистическая обработка результатов прямых равнорасеянных измерений»	18
1. Домашние задания и методические указания по их выполнению	18
2. Лабораторные задания и методические указания по их выполнению	29
3. Контрольные вопросы к отчету	32
Приложение 1	33
Приложение 2	35
Библиографический список	36

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам № 1-2 по дисциплине «Метрология, стандартизация и технические измерения» и «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств» и 12.03.01 «Приборостроение» очной и заочной форм обучения

Составители:
Самодуров Александр Сергеевич

В авторской редакции

Подписано к изданию _____.
Уч.-изд. л. 2,3.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394026 Воронеж, Московский проспект, 14