

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

В.Ф. Отчалко

## **МЕТРОЛОГИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

Методические указания по выполнению практических, лабораторных работ и самостоятельной работы для студентов инженерно-технических направлений подготовки.

Томск

2023

**УДК** 006.91-372.8

**ББК** 30.10

О 88

**Рецензент:**

**Черкашин М.В.**, доцент каф. КСУП ТУСУР, канд. техн. наук

**Отчалко, Валерий Фомич**

О88 Метрология и технические измерения: Методические указания по выполнению практических, лабораторных работ и самостоятельной работы для студентов ТУСУРа инженерно-технических направлений подготовки/ В.Ф. Отчалко. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – 11 с.

Методические указания содержат рекомендации и материалы, необходимые для выполнения практических, лабораторных работ и самостоятельной работы студентов по дисциплине «Метрология и технические измерения». Для студентов ТУСУРа инженерно-технических направлений подготовки.

Одобрено на заседании каф. КСУП, протокол №4 от 29.11.23

**УДК** 006.91-372.8

**ББК** 30.10

© Отчалко В.Ф., 2023

© Томск. гос. ун-т систем управления

и радиоэлектроники

## Оглавление

Введение .....	4
1 Учебно-методические рекомендации и материалы для выполнения практических занятий по дисциплине .....	5
1.1 Задачник .....	5
1.2 Контрольные работы .....	5
1.3 Контрольный тест .....	6
2 Учебно-методические рекомендации и материалы для самостоятельной работы по дисциплине .....	7
2.1 Темы для самостоятельной проработки .....	8
2.2 Экзаменационные вопросы по дисциплине «Метрология и технические измерения» .....	8
3 Учебно-методические рекомендации и материалы для выполнения лабораторных работ по дисциплине .....	10
4 Список рекомендуемой литературы .....	11

## **Введение**

Дисциплина «Метрология и технические измерения» является одной из общетехнических дисциплин и присутствует в рабочих планах всех инженерно-технических направлений подготовки специалистов в ТУСУРе. Рабочая программа дисциплины предполагает практические, лабораторные работы и достаточно большой объем самостоятельной работы студентов в ходе изучения и понимания материала дисциплины. Данные методические указания призваны способствовать более качественному усвоению студентами теоретического материала дисциплины, применению полученных знаний и навыков при решении практических измерительных задач.

## 1. Учебно-методические рекомендации и материалы для выполнения практических занятий по дисциплине.

На практических занятиях обсуждаются и закрепляются путем решения задач основные положения дисциплины и проводится текущий контроль знаний студентов в виде контрольных работ, тестов, опросов, проверки конспектов и т.д.

### 1.1. Задачник.

Примеры решения практических задач по различным разделам метрологии достаточно широко освещаются в литературе [1, 2, 3, 5]. В пособиях [7 - 11] даны методические указания и сборники задач к практическим занятиям по основным темам теоретического курса.

Пособие состоит из двух частей. В первой части приведен необходимый минимум задач по основным темам дисциплины, даны методические указания по решению задач, приведен минимальный набор задач для самостоятельного решения.

Во второй части пособия приведен более обширный сборник задач, предназначенных для самостоятельного решения. Все задания разбиты на 7 отдельных тем. В первом разделе (теме) рассматриваются систематические погрешности. Второй раздел посвящен анализу случайных погрешностей, требующих для решения уверенного знания студентом элементов теории вероятности. В третьем разделе рассматриваются вопросы оценки инструментальных погрешностей. Четвертый раздел посвящен вопросам обработки многократных равнозначных измерений. В пятом разделе приводятся задачи по обработке косвенных измерений. В шестом разделе даны задачи по правилам суммирования погрешностей. Седьмой раздел посвящен вопросам поверки и калибровки средств измерений.

Самостоятельное решение этого набора задач позволяет достичь уверенного знания и практического применения материала указанных тем дисциплины.

### 1.2. Контрольные работы (примерные темы).

- 1). Правила суммирования погрешностей.
- 2). Обработка однократных прямых измерений.
- 3) Обработка многократных измерений.
- 4). Обработка косвенных измерений.

Примеры заданий.

- 1). Показание цифрового милливольтметра с пределом шкалы 1000 мВ  $U_{\text{изм}} = 910$  мВ.

Из паспортных данных прибора известно, что основная погрешность прибора составляет  $\pm 0.2\% \pm 1 \text{ мВ}$ , дополнительная температурная погрешность  $\pm 1,2$  мВ, СКО случайной погрешности 0.9 мВ.

Записать результат измерения.

- 2). Имеются два измерителя индуктивности. Первый с пределом шкалы 100 мГн и классом точности 2,0. Второй – с пределом шкалы 100 мГн и классом точности 2,5/0,5. Какие индуктивности в диапазоне (0 – 100) мГн лучше измерять первым прибором, а какие – вторым ?

- 3). При многократных измерениях силы тока получены следующие результаты:

20; 20.2; 20.4; 19.6; 19.8; 20; 19.8; 20.2; 18.0; 20 мА. Записать результат измерения при доверительной вероятности  $P_d = 0.95$ .

4). Измеряемое косвенным методом напряжение определяется выражением

$$U = I \left( R_1 + R_2 \frac{R_3}{R_4} \right)$$

Известно, что сопротивления измерены цифровым омметром с пределом измерения 5,00 кОм. Погрешность омметра по паспортным данным составляет  $\pm 1,0\% \pm 1$  епр.

Показания омметра  $R_1 = 3,00$  кОм;  $R_2 = 4,30$  кОм;  $R_3 = 2,40$  кОм;  $R_4 = 1,10$  кОм.

Амперметр класса точности 1.0 с пределом измерения 100мА показал  $I = 75$ мА.

Определить погрешность и результат измерения напряжения.

Записать результат измерения.

### 1.3. Контрольный тест (примерный вариант).

1). Что такое средство измерений:

- а) техническое средство, предназначенное для измерений;
- б) электронное техническое средство;
- в) техническое средство или комплекс технических средств для обработки измерительной информации;

2). Методом измерения называется:

- а) совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей;
- б) совокупность приемов использования при измерении физического явления, на котором основано измерение;
- в) совокупность действий по обеспечению взаимодействия средства измерения с объектом;

3). Систематическая погрешность, это -

- а) погрешность, которая остается неизменной или закономерно изменяется при повторных измерениях одной и той же величины в одинаковых условиях;
- б) погрешность, величина которой существенно превосходит величину погрешности, обусловленную условиями эксперимента;
- в) погрешность измерения, когда измеряемая величина не изменяется во времени;
- г) погрешность, которая не зависит от измеряемой величины;

4). Основная погрешность СИ, это -

- а) погрешность СИ в реальных условиях эксплуатации;
- б) погрешность СИ при нормальных условиях эксплуатации;
- в) погрешность СИ, возникающая из-за изменения измеряемой величины во времени;
- г) погрешность СИ, возникающая из-за выхода какой-либо влияющей величины за нормальные границы;

5). Случайная погрешность, это -

- а) погрешность, которая зависит от значения (размера) измеряемой величины;
- б) погрешность, которая при повторных измерениях одной и той же величины в одинаковых условиях может изменяться по величине и по знаку;
- в) погрешность измерения обусловленная изменением измеряемой величины во времени;

- б). Дополнительная погрешность СИ, это -
- а) погрешность СИ, возникающая из-за изменения измеряемой величины во времени;
  - б) погрешность СИ, возникающая из-за выхода какой-либо влияющей величины за нормальные границы;
  - в) погрешность СИ при нормальных условиях эксплуатации;
  - г) погрешность СИ в реальных условиях эксплуатации;
- 7). Величина поправки, вносимой в результат измерения равна:
- а) величине случайной составляющей погрешности;
  - б) величине систематической составляющей погрешности;
  - в) величине полной погрешности измерения;
- 8). При измерении напряжения милливольтметр класса точности 1,0 с пределом шкалы 100 мВ показал 50 мВ. Определить погрешность измерения:
- а) 0,5 мВ
  - б) 1,0 мВ
  - в) 2,0 мВ
  - г) 1,5 мВ
- 9). При измерении емкости измеритель RLC класса точности 2,0/0,5 с пределом измерения 160 пФ показал 80 пФ. Определить погрешность измерения.
- а) 4 пФ
  - б) 1,6 пФ
  - в) 2 пФ
  - г) 3 пФ
- 10). Чему равна абсолютная погрешность дискретности цифрового измерительного прибора с разрешающей способностью  $\Delta X_{кв}$
- а)  $\Delta X_{кв}$
  - б)  $\Delta X_{кв}/\sqrt{6}$
  - в)  $\Delta X_{кв}/\sqrt{12}$
  - г)  $\Delta X_{кв}/\sqrt{3}$

Проведение тестирования , как обязательного компонента аттестации студента, возможно в промежуточном варианте, по уже изученному материалу, или в окончательном виде , по всему материалу дисциплины в целом.

## **2. Учебно-методические рекомендации и материалы для самостоятельной работы по дисциплине.**

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины «Метрология и технические измерения» (МиТИ) состоит из:

- 1). Углубленного изучения материалов дисциплины по темам, начитанным на лекциях.
- 2). Полностью самостоятельной проработки материалов тем, отданных преподавателем на самостоятельное изучение.
- 3).Подготовки к выполнению назначенных преподавателем лабораторных работ, оформления отчетов по работам и подготовки к защитам отчетов.
- 4).Выполнения заданий, предусмотренных принятой рейтинговой системой оценки текущей успеваемости студента (подготовка к контрольным работам, тестам и т.д.)

Все эти виды работ вырабатывают у студента навыки и способность к самостоятельному обучению, к повышению своего профессионального уровня в выбранной области, либо к приобретению знаний и умений в новых для себя областях науки и техники, что позволяет изменять научно-производственный профиль своей деятельности в зависимости от требований сегодняшнего дня. Это обеспечивает профессиональную мобильность специалиста и является несомненным его достоинством.

При проработке материала дисциплины студент должен использовать рекомендуемые литературные [1 - 11] и иные источники. Поощряется использование оригинальных источников, найденных студентом самостоятельно и позволяющих расширить, обновить, улучшить изучаемый материал дисциплины.

В пособиях [ 7 - 11 ] приводится список тем, вынесенных на самостоятельную проработку, список рекомендуемой для самостоятельной работы литературы, кроме того даны вопросы для контроля знаний студентов.

### **2.1. Темы для самостоятельной проработки (примерный вариант)**

- 1). Обеспечение единства измерений (сферы ГРОЕИ, формы ГРОЕИ; обязательные требования к измерениям, СИ, эталонам, единицам ФВ; метрологические службы; основы метрологического обеспечения измерений)
- 2). Система воспроизведения единиц ФВ и передачи их размеров рабочим средствам измерения; эталоны; поверочные схемы; поверка и калибровка СИ
- 3). Единицы ФВ. Международная система единиц (система СИ).
- 4). Автоматизация измерений.
- 5). Электромеханические измерительные приборы.
- 6). Семиуровневая модель взаимодействия открытых систем
- 7). Классификация измерений в телекоммуникациях
- 8). Глазковая диаграмма, диаграмма состояний
- 9). Методы и аппаратура для измерения характеристик телекоммуникаций с разной средой распространения сигнала.
- 10). Измерение АЧХ.
- 11). Измерительные генераторы.
- 12). Векторные измерители параметров цепей.
- 13). Особенности измерений параметров цепей и характеристик сигналов на СВЧ.

### **2.2. Экзаменационные вопросы по дисциплине «Метрология и технические измерения».**

1. Классификация измерений. Измерения прямые, косвенные, совместные и совокупные.
2. Классификация методов измерения ФВ. Метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.
3. Классификация средств измерений. Их характеристики.
4. Классификация погрешностей.
5. Систематические погрешности. Методы обнаружения, методы исключения.
6. Случайные погрешности. Законы распределения, точечные оценки.
7. Статистические оценки случайных погрешностей. Определение доверительного интервала погрешностей.
8. Правила суммирования погрешностей (неисключённые остатки систематических погрешностей и случайные погрешности).
9. Погрешности средств измерения (СИ), виды их нормирования. Обработка результатов прямых однократных измерений.

10. Определение результата и погрешности косвенных измерений.
11. Обработка результатов прямых многократных равноточных измерений..
12. Классификация цифровых измерительных устройств. Основные характеристики цифровых устройств.
13. Обобщенная структурная схема ЦИП время-импульсного преобразования.
14. Обобщенная структурная схема ЦИП частотно-импульсного преобразования.
15. Обобщенная структурная схема ЦИП уравнивающего преобразования с предварительным преобразованием измеряемой ФВ в напряжение.
16. Обобщенная структурная схема вычислительных ЦИП (со взятием выборок сигнала).
17. Обобщенная структурная схема ЦИП с амплитудным преобразованием (с преобразованием измеряемой ФВ в напряжение).
18. Вольтметры постоянного напряжения. Компенсаторы.
19. Вольтметры переменного напряжения. Классификация. Обобщённые структурные схемы. Виды детекторов.
20. Влияние формы кривой напряжения на показания вольтметров переменного тока.
21. Цифровые вольтметры с время-импульсным преобразованием.
22. Цифровые вольтметры, использующие метод двойного интегрирования.
23. Цифровые интегрирующие вольтметры (с частотно импульсным преобразованием).
24. Цифровые вольтметры уравнивающего преобразования.
25. Структура и принцип действия универсального электронного осциллографа. Основные характеристики осциллографа.
26. Осциллографические методы измерения параметров сигналов. Погрешности измерений.
27. Цифровые запоминающие осциллографы.  
. Стробоскопические осциллографы.
28. Цифровые частотомеры. Измерение временных интервалов.
29. Цифровые фазометры с время- импульсным преобразованием.
30. Мостовые методы измерения параметров цепей. Виды мостов. Их особенности. Области применения.
31. Цифровые измерители параметров цепей (с предварительным преобразованием параметра в напряжение, с время-импульсным преобразованием, с применением метода амперметра-вольтметра).
32. Панорамные измерители амплитудно-частотных характеристик цепей.
33. Измерение мощности сигналов (в том числе на СВЧ).
34. Анализ спектра сигналов (последовательный, параллельный анализ, вычислительные анализаторы спектра)
35. Измерения в телекоммуникационных системах с электрическим кабелем. Классификация измерений, измеряемые характеристики, измерительная техника.
36. Измерения в телекоммуникационных системах с оптическим кабелем. Классификация измерений, измеряемые характеристики, измерительная техника.
37. Измерения в радиоэфирных телекоммуникационных системах. Классификация измерений, измеряемые характеристики, измерительная техника.
38. Автоматизация измерений: микропроцессорные СИ, информационно-измерительные системы.
39. Метрологическое обеспечение измерений (МО). Метрологические службы государственных органов управления и юридических лиц. Состав, задачи, полномочия служб.
40. Основные положения закона РФ «Об обеспечении единства измерений». Сферы деятельности, в которых применяется государственное регулирование обеспечения единства измерений (ГРОЕИ).
41. Формы государственного регулирования обеспечения единства измерений (ГРОЕИ). Их краткая характеристика.

- 42. Система передачи размеров единиц ФВ рабочим СИ. Эталоны, поверочные схемы.
- 43. Поверка и калибровка СИ.

### **3. Учебно-методические рекомендации и материалы для выполнения лабораторных работ по дисциплине.**

Подготовка к лабораторным работам, оформление отчетов по лабораторным работам производится в соответствии с учебно-методическим пособием (УМП) «Лабораторные работы», приведенном в [ 7 - 11 ].

#### 4. Список рекомендуемой литературы.

1. Эрастов В.Е. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2005. – 266 с. (в библиотеке – 340 экз.)
2. Метрология и радиоизмерения: Учебник для вузов/ В.И. Нефедов, В.И. Хахин, В.К. Битюков и др.; Ред. В.И. Нефёдов. – М.: Высшая школа, 2006. – 525 с.: ил. (наличие в библиотеке ТУСУР - 48 экз.).
3. Афонский А.А., Дьяконов В.П. Электронные измерения в нанотехнологиях и микроэлектронике / Под ред. профессора В.П. Дьяконова. - М.:ДМК Пресс, 2012. - 688с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 30 экз.).
4. Отчалко В.Ф. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2010. – 208с. (в библиотеке - 62 экз.)
5. Отчалко В.Ф. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебное методическое пособие. – Томск: ТМЦДО, 2010.-52с. (в библиотеке 16 экз.)
6. Закон РФ «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 г. №102-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102122832> (дата обращения: 25.11.2023).
7. Отчалко В.Ф. Метрология и технические измерения: Учебно-методический комплект для направления 11.03.02 [Электронный ресурс] /В.Ф.Отчалко. — Томск: ТУСУР, 2018. — Режим доступа: <https://new.kcup.tusur.ru/library/metrologija-i-tehnicheskie-izmerenija-dlja-studentov-napravlenija-podgotovki-110302> (дата обращения 25.11.2023).
8. Майстренко А.В. Метрология и технические измерения: Учебно-методический комплекс для студентов вузов, обучающихся по техническим специальностям [Электронный ресурс ] / А.В. Майстренко. –Томск: ТУСУР, 2021. – Режим доступа: <https://new.kcup.tusur.ru/library/majstrenko-av-metrologija-i-tehnicheskie-izmerenija-uchebno-metodicheskij-kompleks-dlja-stud> (дата обращения 25.11.2022).
9. Отчалко В.Ф. Метрология и технические измерения: Учебно-методический комплект для направления 11.03.01 и 11.05.01 [Электронный ресурс] /В.Ф.Отчалко. — Томск: ТУСУР, 2018. — Режим доступа: <https://new.kcup.tusur.ru/library/metrologija-i-tehnicheskie-izmerenija-0> (дата обращения: 25.11.2023).
10. Отчалко В.Ф. Метрология и технические измерения: Учебно-методический комплект для направления 28.03.01 и 11.03.04 [Электронный ресурс] /В.Ф.Отчалко. — Томск: ТУСУР, 2018. — Режим доступа: <https://new.kcup.tusur.ru/library/metrologija-i-tehnicheskie-izmerenija-1> (дата обращения: 25.11.2023).
11. Отчалко В.Ф. Набор учебно-методических материалов по дисциплине "Метрология и технические измерения" для студентов направлений подготовки 12.03.03 - Электронное приборостроение [Электронный ресурс] / В.Ф.Отчалко. — Томск: ТУСУР, 2021. — Режим доступа: <https://new.kcup.tusur.ru/library/nabor-uchebno-metodicheskikh-materialov-po-discipline-metrologija-i-tehnicheskie-izmerenija-d> (дата обращения: 25.11.2023)