

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра промышленной электроники и информационно-измерительной техники

Е.А. Корнев, О.В. Худорожков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНОЙ ПОГРЕШНОСТИ АНАЛОГОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и средства связи, 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Оренбург
2019

УДК 621.317.725
ББК 32.842-5
К672

Рецензент – профессор, доктор технических наук, профессор В.Н. Булатов

Корнев, Е.А.

К672 Определение основной погрешности аналогового измерительного прибора: методические указания / Е.А. Корнев, О.В. Худорожков; Оренбургский гос.ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019.- 17 с.

В методических указаниях изложены цели, задачи и методика определения основной погрешности аналогового измерительного прибора.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплине «Метрология, стандартизация и технические измерения» для обучающихся по направлениям подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и средства связи, 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника.

УДК 621.317.725
ББК32.842-5

© Корнев Е.А.,
© Худорожков О.В., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

1 Цель работы	4
2 Используемые приборы	4
3 Лабораторное задание и подготовка к работе	4
4 Порядок выполнения работы и методические указания	6
4.1 Расчет областей значений основной погрешности вольтметров	6
4.2 Оценка систематической и случайной составляющих основной погрешности исследуемого вольтметра	8
4.3 Сравнение основной погрешности исследуемого вольтметра с ее нормированным значением для вольтметров данного типа	12
4.4 Оценка вариации показаний аналогового вольтметра	13
5 Отчет	15
Список использованных источников	16
Приложение А.....	17

1 Цель работы

Получение навыков проведения многократных измерений аналоговым вольтметром постоянного тока и изучение методики определения основной погрешности измерительных приборов.

2 Используемые приборы

2.1 Исследуемый вольтметр ВУ-15

2.2 Вольтметр универсальный цифровой типа В7-16А (образцовый вольтметр).

2.3 Стабилизированный источник регулируемого постоянного напряжения Б5-43 или аналогичный по параметрам источник.

3 Лабораторное задание и подготовка к работе

3.1 Оцените систематическую и случайную составляющие основной погрешности и суммарную погрешность аналогового вольтметра.

3.2 Сравните суммарную погрешность, полученную экспериментально, с нормируемым значением основной погрешности вольтметра данного типа.

3.3 Оцените вариацию показаний аналогового вольтметра.

3.4 Подготовка к работе (домашнее задание).

3.4.1 Изучите теоретический материал, относящийся к данной работе, по литературе [1, 2, 3,5] и конспект лекций.

3.4.2 Изучите описание данной работы и заготовить в рабочей тетради формы таблиц в соответствии с требованиями к содержанию отчета, приведенному в конце данного описания.

4.3.3 Подготовьте ответы на вопросы, которые могут быть заданы при допуске к работе и ее защите:

а) дайте определения:

- абсолютной, относительной и приведенной погрешностей;
- систематической и случайной составляющих погрешности;
- доверительной вероятности и доверительного интервала случайной

погрешности;

- основной и дополнительной погрешностей;
- аддитивной и мультипликативной погрешностей.

б) Как оценить систематическую составляющую погрешности прибора?

в) Как оценить доверительный интервал случайной погрешности однократного измерения при заданной доверительной вероятности и нормальном законе распределения?

г) В каких случаях при определении доверительного интервала для случайной погрешности с нормальным законом распределения следует использовать распределение Стьюдента?

д) Как правильно представить результат измерения?

е) Перечислите основные нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

ж) Каким образом нормируют погрешности средств измерений?

з) Что такое класс точности средств измерений? Какие существуют способы задания класса точности?

и) Каким образом можно оценить абсолютную погрешность результата измерений, если известен класс точности используемого прибора?

к) Что такое вариация показаний аналогового прибора и как можно ее оценить?

3.5 Используя технические описания используемых приборов, заполните таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Основные метрологические параметры используемых вольтметров (при измерении постоянного напряжения)

Характеристика	Аналоговый вольтметр тип	Цифровой вольтметр тип
Верхние пределы измерения, используемые в данной работе, В	3	1; 10
Цена деления шкалы, В		-
Цена единицы младшего разряда используемых пределов, В	—	
Нормируемая погрешность (указать, какая), %		
Класс точности		
Входное сопротивление, МОм		

4 Порядок выполнения работы и методические указания

4.1 Расчет областей значений основной погрешности вольтметров

4.1.1 Постройте области допускаемых основных абсолютных погрешностей аналогового и цифрового вольтметров (таблица 3.1) в диапазоне от 0 до 3 В. Пример построения показан на рисунке 4.1. Предел измерения исследуемого вольтметра выбрать равным 3 В. Тогда пределы измерения эталонного вольтметра следует выбрать равными 1 или 10 В.

Указание. Для простых электроизмерительных приборов основную погрешность обычно нормируют в форме *предельно допустимой приведенной* погрешности – числом γ , выраженным в %. Число γ , записанное без указания %, определяет класс точности такого вольтметра. Область значений допускаемой *основной абсолютной* погрешности такого прибора можно определить с помощью простой одночленной формулы

$$\Delta = \frac{\pm \gamma}{100} U_{\kappa} = \pm a, \quad (4.1)$$

где U_{κ} – значение установленного предела измерения.

Видно, что эта погрешность не зависит от значения измеряемого напряжения – носит чисто аддитивный характер.

Основную погрешность более сложных и точных цифровых вольтметров обычно нормируют в форме предельно допустимой *относительной* погрешности, %, по двучленной формуле вида

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{U_{\kappa}}{U} - 1 \right) \right]. \quad (4.2)$$

Значения коэффициентов c (%) и d (%), записанные через косую черту (c/d), определяют класс точности цифрового вольтметра.

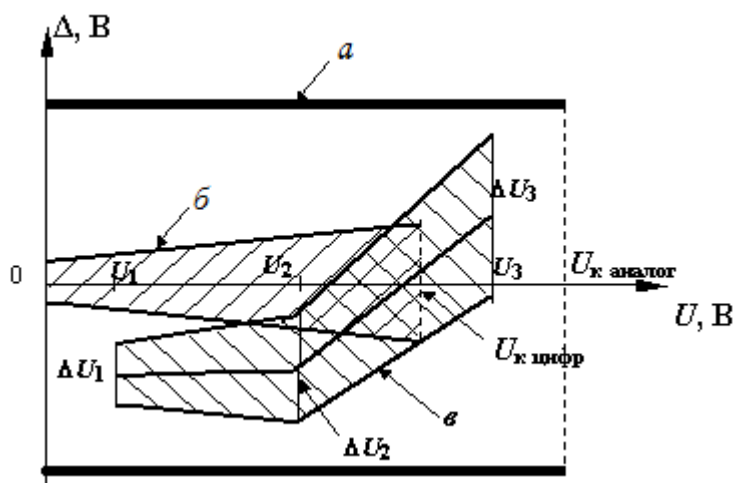
Область допустимой основной *абсолютной* погрешности такого вольтметра можно вычислить по формуле

$$\Delta = \pm \left(\frac{d \cdot U_{\kappa}}{100} + \frac{c - d}{100} \cdot U \right), \quad U = [0, U_{\kappa}]. \quad (4.3)$$

Эта погрешность растет с увеличением измеряемого напряжения, т.е. имеет, кроме аддитивной, еще и мультипликативную составляющую.

Специфической особенностью используемого в данной работе цифрового вольтметра В7-16 является возможность измерения напряжения до 1,999 В при установке предела $U_{\kappa} = 1$ В и напряжение до 19,9 В при установке предела $U_{\kappa} = 10$ В. Изготовитель гарантирует, что при измерении напряжений $U > U_{\kappa}$ относительная погрешность будет находиться в соответствии с (4.2) в пределах $\pm c$ (%).

Поскольку абсолютная погрешность образцового прибора должна быть, по крайней мере, в 3 раза меньше погрешности исследуемого прибора, не следует без необходимости использовать в цифровом вольтметре В7-16 предел 10 В.



a - нормируемая для аналогового прибора; b - нормируемая для цифрового прибора; $в$ - полученная экспериментально для аналогового прибора по п.4.2, 4.3.

Рисунок 4.1 – Области значений абсолютной погрешности

Примечание. Фирмы-изготовители вольтметров могут использовать и другие формулы для нормирования предельных погрешностей выпускаемых приборов.

4.1.2 Сравните значения абсолютных погрешностей аналогового и цифрового вольтметров в диапазоне от 0 до 3 В, сделайте вывод о возможности использования цифрового вольтметра в качестве образцового на пределах 1 и 10 В.

4.2 Оценка систематической и случайной составляющих основной погрешности исследуемого вольтметра

Исследование проведите для установленного на исследуемом вольтметре диапазона измерения 3 В и трех значений напряжения в пределах:

- $U_1=(0,3-0,7)$ В - в начале шкалы;
- $U_2 = (0,8-1,5)$ В - в середине;
- $U_3=(1,5-3)$ В - в конце.

4.2.1 Ознакомьтесь с кратким описанием и органами управления вольтметров и источника постоянного напряжения. Включите питание источника постоянного напряжения и цифрового вольтметра. Проверьте установку нуля аналогового и цифрового вольтметров.

4.2.2 Соберите схему измерения согласно рисунка 4.2.

4.2.3 Установите требуемые пределы измерения U_k на обоих вольтметрах.

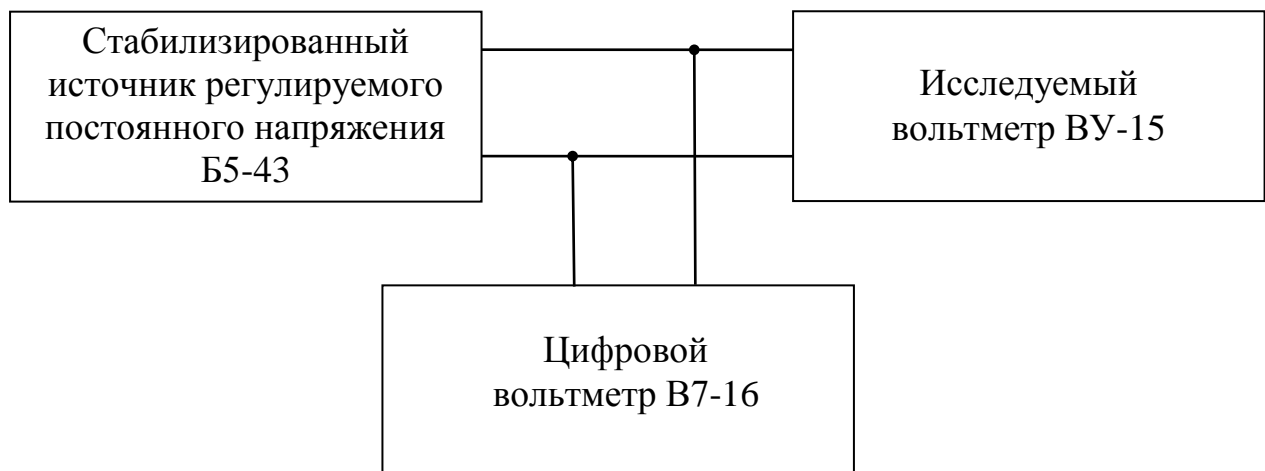


Рисунок 4.2 – Схема для определения погрешностей вольтметра

4.2.4 Выберите отметку на шкале исследуемого вольтметра ВУ-15, соответствующую значению напряжения U_1 . Регулируя напряжение источника, установите показание, равное U_1 , измерьте действительное значение напряжения источника по показаниям эталонного вольтметра U_{1i} и запишите в таблицу 4.1 (столбец 2). Всего выполните n измерений действительных значений напряжения U_{1i} , $i=1, \dots, n$ ($8 \leq n \leq 16$), каждый раз заново устанавливая показания исследуемого вольтметра на выбранную отметку шкалы, регулируя напряжение источника.

4.2.5 Повторите измерения п. 4.2.4 для выбранных значений U_2 и U_3 . Измеренные действительные значения U_{2i} и U_{3i} , $i=1, \dots, n$ запишите в 6-й и 10-й столбцы таблицы 4.1 соответственно.

4.2.6 Вычислите для каждого значения напряжения U_1, U_2, U_3 следующие величины

а) абсолютную погрешность каждого однократного наблюдения (отсчета)

$$\Delta_{mi} = U_m - U_{mi}, \quad (4.4)$$

где $m = 1, 2, 3$;

$$i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

и запишите их значения в 3, 7 и 11-й столбцы, внизу каждого столбца поместить алгебраическую сумму $\sum_{i=1}^n \Delta_{mi}$.

б) оценку систематической составляющей погрешности $\tilde{\Delta}_{cm}$, вычислив ее значение как среднее значение погрешности $\bar{\Delta}_m$

$$\tilde{\Delta}_{cm} = \bar{\Delta}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_{mi}. \quad (4.5)$$

Запишите значения $\bar{\Delta}_{c_1}, \bar{\Delta}_{c_2}, \bar{\Delta}_{c_3}$ в соответствующую строки таблицы 4.1.

в) случайные составляющие погрешности каждого наблюдения (отсчета)

$$\overset{\circ}{\Delta}_{mi} = \Delta_{mi} - \tilde{\Delta}_{cm} \quad (4.6)$$

и запишите их значения в 4, 8 и 12-й столбцы.

г) оценку среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности (среднюю квадратическую погрешность) многократного измерения с ограниченным рядом отсчетов для трех выбранных точек шкалы исследуемого вольтметра

$$\tilde{\sigma}_m = \left[\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta_{mi}^{\circ 2} \right]^{1/2}, \quad m=1, 2, 3. \quad (4.7)$$

Для этого найдите квадраты случайных составляющих Δ_{mi} , $m=1, 2, 3$, $i=1, \dots, n$ и полученные числа занесите в 5, 9 и 13-й столбцы, а внизу каждого из них запишите суммы этих квадратов $\sum_{i=1}^n \Delta_{mi}^{\circ 2}$, $m=1, 2, 3$. Найденные значения оценок $\tilde{\sigma}_1$, $\tilde{\sigma}_2$ и $\tilde{\sigma}_3$ также запишите в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерений и расчета составляющих основной погрешности исследуемого вольтметра

i	$U_1 =, \text{В}$				$U_2 =, \text{В}$				$U_3 =, \text{В}$			
	U_i	Δ_i	Δ_i°	$\Delta_i^{\circ 2}$	U_i	Δ_i	Δ_i°	$\Delta_i^{\circ 2}$	U_i	Δ_i	Δ_i°	$\Delta_i^{\circ 2}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1												
2												
-												
-												
-												
i												
-												
-												
n												
	$\sum_{i=0}^n \Delta_{1i}^{\circ} = \dots, \text{В}$		$\sum_{i=0}^n \Delta_{1i}^{\circ 2} = \dots, \text{В}^2$		$\sum_{i=0}^n \Delta_{2i}^{\circ} = \dots, \text{В}$		$\sum_{i=0}^n \Delta_{2i}^{\circ 2} = \dots, \text{В}^2$		$\sum_{i=0}^n \Delta_{3i}^{\circ} = \dots, \text{В}$		$\sum_{i=0}^n \Delta_{3i}^{\circ 2} = \dots, \text{В}^2$	
	$\tilde{\Delta}_{c1} = \dots, \text{В}^2$				$\tilde{\Delta}_{c2} = \dots, \text{В}^2$				$\tilde{\Delta}_{c3} = \dots, \text{В}^2$			
	$\tilde{\sigma}_1 = \dots, \text{В}$				$\tilde{\sigma}_2 = \dots, \text{В}$				$\tilde{\sigma}_3 = \dots, \text{В}$			
	$P_{\text{дов}} = \dots$				$n = \dots$				$t = \dots$			
	$\Delta_{\text{дов1}} = \pm \dots, \text{В}$				$\Delta_{\text{дов2}} = \pm \dots, \text{В}$				$\Delta_{\text{дов3}} = \pm \dots, \text{В}$			

д) доверительные интервалы случайной погрешности многократного измерения с ограниченным рядом отсчетов n в предположении, что закон распределения этой случайной погрешности – нормальный

$$\Delta_{\text{дов } m} = t \cdot \tilde{\sigma}_m, \quad m = 1, 2, 3, \quad (4.8)$$

где t - коэффициент Стьюдента, значение которого зависит от заданного значения доверительной вероятности $P_{\text{дов}}$ и числа проведенных измерений n .

При обработке результатов простых технических измерений доверительную вероятность обычно выбирают в пределах от 0,8 до 0,9. Значения t возьмите из таблицы распределения Стьюдента (приложение А).

Указание. Английский исследователь Госсет (опубликовавший свою знаменитую работу под псевдонимом Стьюдент) в 1908 г. показал, что если оценка среднеквадратического отклонения получена по небольшому числу измерений ($n \leq 15$), то доверительный интервал для случайной величины с нормальным законом распределения следует рассчитывать с использованием распределения, которое впоследствии получило его имя - распределение Стьюдента. При увеличении числа измерений, распределение Стьюдента сходится к нормальному распределению. Поэтому, если число измерений велико, при оценке доверительного интервала можно использовать таблицы интеграла вероятности.

4.3 Сравнение основной погрешности исследуемого вольтметра с ее нормированным значением для вольтметров данного типа

4.3.1 Для каждого из выбранных напряжений U_1, U_2, U_3 вычислите оценку суммарной основной абсолютной погрешности вольтметра

$$\Delta U_m = \tilde{\Delta}_{cm} \pm \Delta_{\text{дов } m}, \quad m = 1, 2, 3.$$

Значения Δ_{cm} и $\Delta_{\text{дов } m}$ взять из таблицы 4.1.

4.3.2 На рисунке 4.1, построенном при выполнении п. 4.1.1, дополнительно отобразите область значений основной погрешности ΔU_m (рисунок 4.1), полученную экспериментально в точках шкалы U_1, U_2, U_3

$$\tilde{\Delta}_{cm} - \Delta_{\text{дов } m} \leq \Delta U_m \leq \tilde{\Delta}_{cm} + \Delta_{\text{дов } m}, \quad m=1, 2, 3. \quad (4.9)$$

4.3.3 **Сделайте вывод о соответствии погрешности**, полученной экспериментально, нормируемой погрешности исследуемого прибора. Если экспериментальные оценки погрешности выходят за границы нормируемой погрешности, сделайте вывод, какая из составляющих суммарной погрешности (случайная или систематическая), обуславливает этот выход.

4.4 Оценка вариации показаний аналогового вольтметра

Указание. Вариацией показаний b называют модуль разности значений измеряемой величины при установлении показаний прибора в данной точке его шкалы при плавном подходе к этой точке со стороны меньших и со стороны больших значений. Возникновение такой погрешности может быть обусловлено наличием “люфта” в механической системе, трением в опорах подвижных узлов, эффектами типа гистерезиса при перемагничивании и др. факторами. В итоге, указатель (стрелка) аналогового измерительного прибора может занять различное положение на шкале при одном и том же установившемся значении измеряемой величины, в зависимости от того, произошло ли это установление путем увеличения или путем уменьшения предыдущих показаний. При медленном и плавном перемещении указателя вариацию можно считать систематической погрешностью. Однако в обычной практике использования приборов показания могут изменяться быстро или медленно, путем увеличения или путем уменьшения предыдущих значений. Поэтому принято считать, что погрешность измерения, обусловленная вариацией показаний, имеет случайный характер, и закон ее распределения - равномерный на интервале $[0, b]$.

Следовательно, среднеквадратичное значение, в случае равномерного закона распределения, будет равна

$$\sigma_{\text{вар}} = \frac{b}{\sqrt{12}}. \quad (4.10)$$

4.4.1 Используйте схему измерения (рисунок 4.2), измерение выполните на отметке шкалы U_2 .

4.4.2 Установите стрелку исследуемого прибора на выбранную отметку шкалы, медленно приближаясь к этому значению со стороны меньших значений, и запишите соответствующее показание $U_{1м}$ образцового цифрового вольтметра в таблицу 4.2. Установите то же значение U_2 , медленно приближаясь к нему со стороны больших значений, и запишите показание $U_{1б}$.

Всего выполните 10 таких измерений: 5 при подходе со стороны меньших значений (i_m) и 5- со стороны больших (i_b).

4.4.3 Вычислите и внесите в таблицу 4.2 разности показаний исследуемого и образцового вольтметров для каждого измерения

$$\Delta_{i_m} = U_2 - U_{i_m}; \Delta_{i_b} = U_2 - U_{i_b}; i_m = 1, \dots, 5; i_b = 1, \dots, 5.$$

4.4.4 Найдите и запишите в таблицу 4.2 средние арифметические значения разностей показаний $\bar{\Delta}_m$ и $\bar{\Delta}_b$, оценку вариации показаний \tilde{b} и $\sigma_{\tilde{b}}$

$$\bar{\Delta}_m = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \Delta_{i_m}; \quad \bar{\Delta}_b = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \Delta_{i_b}; \quad \tilde{b} = |\bar{\Delta}_m| + |\bar{\Delta}_b|; \quad \sigma_{\tilde{b}} = \frac{\tilde{b}}{\sqrt{12}}.$$

Таблица 4.2 – Результаты измерений и расчета вариации показаний

$U_2 = \text{В}$										
i	1 м	2 м	3 м	4 м	5 м	1б	2б	3б	4б	5б
$U_i, \text{В}$										
$\Delta_i, \text{В}$										
$\bar{\Delta}_M = \quad, \text{В}; \quad \bar{\Delta}_\sigma = \quad, \text{В}; \quad \tilde{b} = \quad, \text{В}; \quad \sigma_b = \quad, \text{В}.$										

$$\tilde{b} = |\bar{\Delta}_M - \bar{\Delta}_\sigma|.$$

4.4.5 Сравните значение σ_b со значениями $\tilde{\sigma}_1$, $\tilde{\sigma}_2$, и $\tilde{\sigma}_3$ из таблицы 1.2. Если σ_b соизмеримо со значением $\tilde{\sigma}_1$, $\tilde{\sigma}_2$ или $\tilde{\sigma}_3$, то следует учесть влияние вариации при расчете сравнительного интервала случайной составляющей погрешности.

5 Отчет

Отчет должен содержать

- номер и наименование лабораторной работы;
- цель работы;
- схему подключения приборов;
- заполненные таблицы 3.1, 4.1, 4.2 с заголовками;
- области значений абсолютных погрешностей, построенные по результатам выполнения пп. 4.1.1 и 4.3.2 (рисунок 4.1);
- выводы о соотношении составляющих основной погрешности исследуемого вольтметра ($\tilde{\Delta}_c, \tilde{\sigma}, \tilde{\sigma}_b$) и соответствии его погрешности нормируемым значениям.

Список использованных источников

1 Шпаков, П. С. Математическая обработка результатов измерений / Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. - Краснояр.: СФУ, 2014. - 410 с.: ISBN 978-5-7638-3077-4 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/550266>

2 Метрология и радиоизмерения: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов "Радиотехника" / В. И. Нефедов [и др.] ; под ред. В. И. Нефедова.- 2-е изд., перераб. - Москва: Высш. шк., 2006. - 526 с. : ил. - Авт. указаны на обороте тит. л. - Библиогр.: с. 514. - Предм. указ.: с. 515. - ISBN 5-06-004427-0.

3 Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учеб. для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. - М.: Высш. шк., 2001. - 205 с.: ил - ISBN 5-06-003796-7.

4 Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для академического бакалавриата: учебник для студентов высших учебных заведений обучающихся по инженерно-техническим направлениям и специальностям / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе . - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва: Юрайт, 2015.

5 Третьяк, Л. Н. Основы теории и практики обработки экспериментальных данных: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / Л. Н. Третьяк, А. Л. Воробьев; под общ. ред Л. Н. Третьяк.- 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2017. - 218 с. : ил.; 16,82 печ. л. - (Университеты России). - На тит. л.: Книга доступна в электронной библиотечной системе biblio-online.ru. - Библиогр.: с. 198. - Прил.: с. 199-211. - Предм. указ.: с. 212-217. - ISBN 978-5-534-04914-5.

Приложение А

(обязательное)

Таблица Стьюдента-Фишера

n	Значения t_α , удовлетворяющие равенству $2 \int_0^\infty S(t,n)dt = \alpha$, при α						
	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619
3	1,336	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
4	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,941
5	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
6	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,859
7	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
8	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,405
9	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
10	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
11	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
12	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,487
13	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
14	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
15	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
16	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
17	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
18	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
19	1,067	1,330	1,734	2,103	2,552	2,878	3,922
20	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883