



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

ПРАКТИКУМ

для студентов специальности
1-43 01 03 «Электроснабжение
(по отраслям)» заочной формы обучения

Гомель 2024

УДК 621.311.031(075.8)
ББК 31.28я73
М54

*Рекомендовано научно-методическим советом
заочного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 2 от 08.12.2022 г.)*

Составитель *О. Г. Широков*

Рецензент: доц. каф. «Информационные технологии» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *В. И. Токочаков*

М54 **Метрология**, стандартизация и сертификация : практикум для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» заоч. формы обучения / сост. О. Г. Широков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – 16 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Предназначен для закрепления материала по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация». Представлены задания и методики для решения задач по данной дисциплине.

Для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» заочной формы обучения.

УДК 621.311.031(075.8)
ББК 31.28я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2024

Содержание

1. Обработка результатов косвенных измерений	4
2. Обработка результатов прямых измерений с многократными равноточными наблюдениями	10
Литература	16

1. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

1.1. Краткие теоретические сведения

Общие положения, основные положения определения результатов косвенных измерений и оценивания их погрешностей при условии, что аргументы, от которых зависит измеряемая величина, являются постоянными физическими величинами, а известные систематические погрешности результатов измерений аргументов исключены, регламентированы МИ 2083–90 [1].

При косвенных измерениях искомое значение величины находят расчетом на основе измерения других величин, связанных с измеряемой величиной известной зависимостью

$$A = f(a_1, \dots, a_m). \quad (1.1)$$

Результатом косвенного измерения является оценка величины A , которую находят подстановкой в формулу (1.1) оценок аргументов a_i .

Поскольку каждый из аргументов a_i измеряется с некоторой погрешностью, то задача оценивания погрешности результата сводится к суммированию погрешностей измерения аргументов. Однако особенность косвенных измерений состоит в том, что вклад отдельных погрешностей измерения аргументов в погрешность результата зависит от вида функции (1.1).

Для оценки погрешностей существенно разделить косвенных измерений на линейные и нелинейные косвенные измерения. При линейных косвенных измерениях искомое значение A связано с m измеряемыми аргументами a_1, \dots, a_m уравнением

$$A = b_1 \cdot a_1 + b_2 \cdot a_2 + \dots + b_m \cdot a_m \quad (1.2)$$

где b_1, b_2, \dots, b_m — постоянные коэффициенты при аргументах a_1, \dots, a_m соответственно.

Корреляция между погрешностями измерений аргументов отсутствует.

Результат косвенного измерения \tilde{A} вычисляют по формуле

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^m b_i \tilde{a}_i, \quad (1.3)$$

где \tilde{a}_i — результат измерения аргумента a_i ; m — число аргументов; b_i — постоянные коэффициенты при аргументах a_i

Любые другие функциональные зависимости (1.1) относятся к нелинейным косвенным измерениям.

Результат линейного косвенного измерения вычисляют по формуле (1.3), подставляя в нее измеренные значения аргументов.

Погрешности измерения аргументов могут быть заданы своими границами Δa_i либо доверительными границами $\Delta a(P)_i$, с доверительными вероятностями P_i

При малом числе аргументов (меньше пяти) простая оценка погрешности результата ΔA получается суммированием предельных погрешностей (без учета знака), т.е. подстановкой границ $\Delta a_1, \Delta a_2 \dots, \Delta a_m$, в выражение

$$\Delta A = \Delta a_1 + \Delta a_2 + \dots + \Delta a_m. \quad (1.4)$$

Однако эта оценка является излишне завышенной, поскольку такое суммирование фактически означает, что погрешности измерения всех аргументов одновременно имеют максимальное значение и совпадают по знаку. Вероятность такого совпадения практически равна нулю. Для нахождения более реалистичной оценки переходят к статистическому суммированию погрешностей аргументов. Полагая, что в заданных границах погрешности аргументов распределены равномерно, доверительные границы $\Delta A(P)$ погрешности результата измерения рассчитывают по формуле

$$\Delta A(P) = k \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 \Delta a_i^2}, \quad (1.5)$$

где k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью (при $P = 0,95$ $k = 1,1$)

Если погрешности измерения аргументов заданы доверительными границами с одинаковыми доверительными вероятностями, то полагая распределение этих погрешностей нормальным, доверительные границы результата находят по формуле

$$\Delta A(P) = \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 [\Delta a_i(P)]^2}. \quad (1.6)$$

При различных доверительных вероятностях погрешностей аргументов их необходимо привести к одному и тому же значению P .

Нелинейные косвенные измерения характеризуются тем, что результаты измерений аргументов подвергаются функциональным преобразованиям. Но, как показано в теории вероятностей, любые, даже простейшие функциональные преобразования случайных величин, приводят к изменению законов их распределения.

Пример. Результат измерения аргумента подчиняется нормальному распределению плотности вероятностей, кривая которого

$$f(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{a^2}{2}}$$

показана на рис. 1.1, а.

При возведении измеренного значения величины в квадрат $q = a^2$, график плотности распределения претерпевает изменения и принимает вид, показанный на рис. 1.1, б (вывод формулы опускаем). Уравнение кривой в этом случае имеет следующий вид:

$$f(q) = \frac{1}{5\sqrt{q}} e^{-\frac{q}{2}}$$

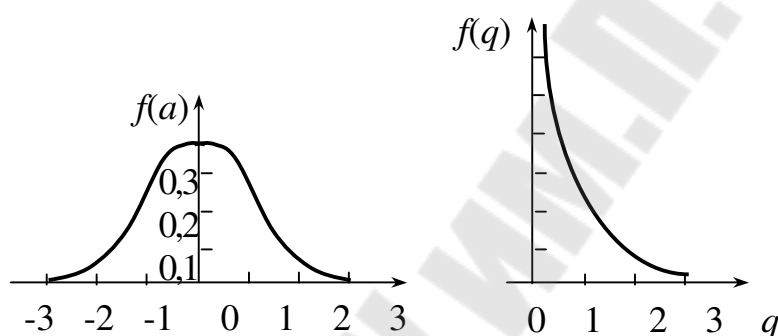


Рис. 1.1. Графики плотности распределения вероятности результата измерения, подчиняющегося нормальному закону, и квадрата этого результата измерения

При сложной функции (1.1) и в особенности, если это функция нескольких аргументов, отыскание закона распределения погрешности результата связано со значительными математическими трудностями. Поэтому при нелинейных косвенных измерениях приходится отказываться от использования интервальных оценок погрешности результата, ограничиваясь приближенной верхней оценкой ее границ. В основе приближенного оценивания погрешности нелинейных косвенных измерений лежит линеаризация функции (1.1) и дальнейшая обработка результатов, как при линейных измерениях.

Запишем выражение для полного дифференциала функции A :

$$dA = \frac{\partial A}{\partial a_1} da_1 + \frac{\partial A}{\partial a_2} da_2 + \dots + \frac{\partial A}{\partial a_m} da_m. \quad (1.7)$$

По определению полный дифференциал функции – это приращение функции, вызванное малыми приращениями ее аргументов.

Учитывая, что погрешности измерения аргументов всегда являются малыми величинами по сравнению с номинальными значениями аргументов, можно заменить в (1.7) дифференциалы

аргументов da_i , на погрешности измерений Δa_i , а дифференциал функции dA на погрешность результата измерения ΔA :

$$\Delta A = \frac{\partial A}{\partial a_1} \Delta a_1 + \frac{\partial A}{\partial a_2} \Delta a_2 + \dots + \frac{\partial A}{\partial a_m} \Delta a_m. \quad (1.8)$$

Полагая, как и прежде, что распределения погрешностей аргументов подчиняются равномерному закону, при числе слагаемых $m < 5$ границы погрешности результата можно определить по формуле (1.4). В том случае, когда погрешности аргументов заданы их доверительными границами, оценку погрешности результата измерения вычисляют по (1.6). В обоих случаях роль коэффициентов b_1, b_2, \dots, b_m выполняют частные производные $\frac{\partial A}{\partial a_i}$.

Применив формулу (1.8), получим несколько простых правил оценивания погрешности результата косвенного измерения.

Правило 1. Погрешности в суммах и разностях. Если a_1 , и a_2 измерены с погрешностями Δa_1 и Δa_2 и измеренные значения используются для вычисления суммы или разности $A = a_1 \pm a_2$, то суммируются абсолютные погрешности (без учета знака):

$$\Delta A = \Delta a_1 + \Delta a_2.$$

Правило 2. Погрешности в произведениях и частных. Если измеренные значения a_1 , и a_2 используются для вычисления $A = a_1 \cdot a_2$ или $A = a_1/a_2$, то суммируются относительные погрешности $\delta A = \delta a_1 + \delta a_2$, где $\delta a = \Delta a/a$.

Правило 3. Измеренная величина умножается на точное число. Если a используется для вычисления произведения $A = B a$, в котором B не имеет погрешности, то $\delta A = |B| \delta a$.

Правило 4. Возведение в степень. Если a используется для вычисления степени $A = a^n$, то $\delta A = n \delta a$.

Правило 5. Погрешность в произвольной функции одной переменной. Если a используется для вычисления функции $A(a)$, то

$$\delta A = \frac{dA}{da} \delta a.$$

Использование правил позволяет получить не слишком завышенную оценку предельной погрешности результата нелинейного косвенного измерения при не большом числе аргументов ($n < 5$).

Пример. Производится косвенное измерение электрической мощности, рассеиваемой на резисторе сопротивлением R при

протекании по нему тока I . Так как $P = I^2 R$, то, применяя правила 2 и 4, получим $\delta P = \delta R + 2\delta I$.

Относительная погрешность при измерении напряжения вольтметром будет определяться:

$$\pm\delta_U = \pm\gamma_U \cdot U_n / U,$$

где γ_U - приведенная погрешность прибора, (в данном случае класс точности вольтметра), U_n , U – предел измерения и показания вольтметра соответственно.

Аналогичным образом определяются относительные погрешности при измерении амперметром и омметром.

При определении абсолютной погрешности $\pm\Delta_P$, а также пределов изменения действительного значения измеряемой мощности необходимо; воспользоваться выражением:

$$\pm\delta_p = (\Delta_P / P) \cdot 100 \text{ \%}.$$

Отсюда найдете $\pm\Delta_P$, т. е. абсолютную погрешность косвенного измерения мощности.

Эмпирически были установлены следующие правила округления рассчитанного значения погрешности и полученного результата измерения.

1. Результат измерения округляется до того десятичного знака, которым оканчивается округленное значение абсолютной погрешности. Если десятичная дробь в числовом значении результата измерений оканчивается нулями, то нули отбрасываются до того разряда, который соответствует разряду числового значения погрешности. Результат 4,0800, погрешность 0,001. Результат округляют до 4,080

2. Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов меньше 5, то остальные цифры числа не изменяются. Лишние цифры в целых числах заменяются нулями, а в десятичных дробях отбрасываются. Число 174437 при сохранении четырех значащих цифр должно быть округлено до 174400, число 174,437 – до 174,4.

3. Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов больше или равна 5, но за ней следуют отличные от нуля цифры, то последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу. При сохранении трех значащих цифр число 12567 округляют до 12600, число 125,67 до 126.

4. Если отбрасываемая цифра равна 5, а следующие за ней цифры неизвестны или нули, то последнюю сохраняемую цифру числа не изменяют, если она четная, и увеличивают на единицу, если она

нечетная. Число 232,5 при сохранении двух значащих цифр округляют до 232, а число 233,5 до 234.

5. Погрешность результата измерения указывается двумя значащими цифрами, если первая из них равна 1 или 2, и одной – если первая цифра равна 3 или более.

6. Округление производится лишь в окончательном ответе, а все предварительные вычисления проводят с одним-двумя лишними знаками.

1.2. Задание

1. По указанию преподавателя из табл. 1.1 принять один из трех вариантов косвенного измерения электрической мощности выделяемой в резисторе.

2. Рассчитать пределы допускаемой основной погрешности измерения аргументов.

3. Определить значения косвенного измерения мощности и относительной погрешности косвенного измерения мощности.

4. Определить абсолютную погрешность Δ_P измерения мощности, а также пределы действительного значения измеряемой мощности P .

5. Записать рассчитанное значение погрешности и полученный результат измерения, используя правила округления

Таблица 1.1

Варианты косвенного измерения электрической мощности выделяемой в резисторе.

Вариант исходного уравнения	СИ	МХ СИ	Результаты измерений аргументов
1. $P = U \cdot I$	V; A	$\gamma_U = 0,2; \gamma_A = 0,1$ $U_H = 100 \text{ В}; I_H = 5 \text{ А}$	$U = 87 \text{ В}$ $I = 4,5 \text{ А}$
2. $P = U^2/R$	V; Ω	$\gamma_U = 0,5; \gamma_\Omega = 0,5$ $U_H = 100 \text{ В};$ $R_H = 10 \text{ Ом}$	$U = 85 \text{ В}$ $R = 7 \text{ Ом}$
3. $P = I^2 \cdot R$	A; Ω	$\gamma_A = 0,2; \gamma_\Omega = 1,0$ $I_H = 10 \text{ А}; R_H = 5 \text{ Ом}$	$I = 9,5 \text{ А}$ $R = 4 \text{ Ом}$

2. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С МНОГОКРАТНЫМИ РАВНОТОЧНЫМИ НАБЛЮДЕНИЯМИ

2.1. Краткие теоретические сведения

Обработка результатов наблюдений и оценивание погрешностей результатов прямых измерений с многократными независимыми наблюдениями регламентированы ГОСТ 8.207–76 [2]

При статистической обработке группы результатов наблюдений следует выполнить следующие операции:

- исключить известные систематические погрешности из результатов наблюдений;
- вычислить среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений, принимаемое за результат измерения;
- вычислить оценку среднего квадратического отклонения результата наблюдения;
- вычислить оценку среднего квадратического отклонения результата измерения;
- проверить гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению;
- вычислить доверительные границы случайной погрешности (случайной составляющей погрешности) результата измерения;
- вычислить границы неисключенной систематической погрешности (неисключенных остатков систематической погрешности) результата измерения;
- вычислить доверительные границы погрешности результата измерения.

Проверку гипотезы о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, следует проводить с уровнем значимости q от 10 до 2 %. Конкретные значения уровней значимости должны быть указаны в конкретной методике выполнения измерений.

Для определения доверительных границ погрешности результата измерения доверительную вероятность P принимают равной 0,95.

В тех случаях, когда измерение нельзя повторить, помимо границ, соответствующих доверительной вероятности $P = 0,95$, допускается указывать границы для доверительной вероятности $P = 0,99$.

В особых случаях, например при измерениях, результаты которых имеют значение для здоровья людей, допускается вместо $P = 0,99$ принимать более высокую доверительную вероятность.

1. Результат измерения и оценка его среднеквадратичного отклонения

1.1. В качестве результата измерений принимают среднее арифметическое \bar{X} результатов наблюдений x_1, x_2, \dots, x_n , в которые предварительно введены поправки для исключения систематических погрешностей в соответствии с п.5:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i .$$

1.2. Вычисляют случайные отклонения результатов наблюдений

$$U_i = x_i - \bar{X} .$$

Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Номер наблюдения	x_i	U_i	U_i^2
1			
...			
n	$\bar{X} = \dots$	$\sum_{i=1}^n U_i = \dots$	$\sum_{i=1}^n U_i^2 = \dots$

Примечание. Правильность вычисления случайных отклонений проверяют, определяя близка ли к нулю их алгебраическая сумма.

1.3. Среднеквадратическое отклонение результатов наблюдений оценивают по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n U_i^2}{n-1}} ,$$

1.4. Оценку среднеквадратического отклонения результата измерений определяют в соответствии с выражением:

$$S(\bar{X}) = \frac{S}{\sqrt{n}} .$$

2. Доверительные границы случайной погрешности результата измерений

Доверительные границы случайной погрешности результата измерений находят следующим образом:

$$\Delta = \pm t \cdot S(\bar{X}),$$

где t – коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности P и числа наблюдений n , находят из таблицы 2.2.

Таблица 2.2

Значение коэффициента Стьюдента

n	3	4	5	6	7	8	9	10
$P=0,9$	2,92	2,35	2,13	2,02	1,94	1,90	1,86	1,83
$P=0,95$	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,36	2,31	2,26

n	11	13	15	17	19	21	23	25
$P=0,9$	1,81	1,78	1,76	1,75	1,73	1,72	1,72	1,71
$P=0,95$	2,23	2,18	2,14	2,12	2,10	2,09	2,07	2,06

3. Доверительные границы неисключенной систематической погрешности результата измерения

В качестве границ составляющих неисключенной систематической погрешности Δ_s принимают, например, пределы допускаемых основных и дополнительных погрешностей средств измерений (если случайные составляющие погрешности пренебрежимо малы):

$$\Delta_s = \frac{\gamma \cdot \bar{X}}{100},$$

где γ – относительная погрешность средства измерений, определяемая по его классу точности; \bar{X} – результат измерения.

4. Граница погрешности результата измерения

4.1. Если $\Delta_s / S(\bar{X}) < 0,8$ то неисключенными систематическими погрешностями по сравнению со случайными пренебрегают и принимают, что граница погрешности результата $\Delta_p = \Delta$. Если $\Delta_s / S(\bar{X}) > 0,8$ то случайной погрешностью по сравнению с систематической пренебрегают и принимают, что граница погрешности результата $\Delta_p = \Delta_s$.

4.2. Если указанные в п. 4.1 неравенства не соблюдаются, то границы погрешности результата измерения находят как $\Delta_p = k \cdot S_\Sigma$, где

$$S_\Sigma = \sqrt{\frac{\Delta_s^2}{3} + S^2(\bar{X})}, \quad k = \frac{\Delta + \Delta_s}{S(\bar{X}) + \frac{\Delta_s}{\sqrt{3}}}$$

5. Проверка гипотезы о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению

5.1. Так как распределение измеряемой величины считается нормальным, то аномальный результат исключают в соответствии с СТС ЭВ 545–77. Аномальным называется результат наблюдения, резко отличающийся от группы результатов наблюдений, которые являются нормальными.

5.2. Для оценки принадлежности X_{\min} и X_{\max} к данной нормальной совокупности и принятия решения об исключении или оставлении X_{\min} (X_{\max}) в составе выборки, находят отношения:

$$U_{\min} = \frac{\bar{X} - X_{\min}}{S} \quad \text{и} \quad U_{\max} = \frac{X_{\max} - \bar{X}}{S}$$

5.3. Результаты U_{\min} и U_{\max} сравнивают с величиной β , взятой из таблицы 2.3. Если $U_{\max} > \beta$ то результат наблюдения аномален и должен быть исключен. В противном случае его считают нормальным и не исключают. Оценка результата U_{\min} производится аналогично.

Таблица 2.3

Значение β при уровне значимости $\alpha = 1 - P$ и объеме выборки n

Объем вы- борки n	3	4	5	6	7	8	9	10
$\alpha = 0,1$	1,412	1,689	1,869	1,996	2,093	2,172	2,238	2,294
$\alpha = 0,05$	1,414	1,710	1,917	2,067	2,182	2,273	2,349	2,414
Объем вы- борки n	11	12	13	14	15	16	17	18
$\alpha = 0,1$	2,343	2,387	2,426	2,461	2,494	2,523	2,551	2,577
$\alpha = 0,05$	2,470	2,519	2,563	2,602	2,638	2,670	2,701	2,728
Объем вы- борки n	19	20	21	22	23	24	25	
$\alpha = 0,1$	2,601	2,623	2,644	2,664	2,683	2,701	2,718	
$\alpha = 0,05$	2,754	2,779	2,801	2,823	2,843	2,862	2,880	

5.4. Если имеет место исключение аномального результата, то обработку результатов наблюдений начинают с п. 1.1.

6. Формы представления результатов измерений (согласно МИ 1317 –86)

6.1. Результат измерений представляется именованным или неименованным числом.

6.2. Совместно с результатом измерений должны быть представлены характеристики его погрешности (для однократных наблюдений) или их статистические оценки (для многократных наблюдений).

6.3. Совместно с результатом измерений при необходимости приводятся дополнительные данные и условия измерений.

Примеры

1. Запись в протоколе результата измерения напряжения, полученного по аттестованной методике выполнения измерений (однократные наблюдения при известных характеристиках погрешности измерения):

– результат измерения 10,75 В; $|\Delta_p| = 0,15$ В; $P = 0,95$. Условия измерений: температура окружающего воздуха 20°C, частота измеряемого напряжения –1000 Гц.

2. Запись в протоколе результата измерения напряжения, полученного по не аттестованной методике (многократные наблюдения с определением статистических оценок погрешностей в соответствии с пп.1-5)

а) результат измерения 10,75 В; $|\Delta| = 0,08$ В; $|\Delta_s| = 0,10$ В. Условия измерений: температура окружающего воздуха 20°C, частота измеряемого напряжения 1000 Гц;

б) значение измеряемого напряжения находится в интервале 10,60–10,90 В с доверительной вероятностью 0,95. Условия измерений температура окружающего воздуха 20 °С, частота измеряемого напряжения 1000 Гц.

2.2. Задание

1. По указанию преподавателя принять один из вариантов многократных наблюдений периода синусоидальных сигналов генератора звуковых частот, полученных с помощью цифрового частотомера, представленных в табл. 2.4.

2. Произвести обработку результатов прямых измерений с многократными равноточными наблюдениями, при этом рекомендуется

принять доверительную вероятность, равную 0,95, относительную погрешность периодомера, равную 0,2 %.

3. Представить результаты измерений по форме согласно МИ 1317 – 86, используя правила округления

Таблица 2.4

**Варианты многократных наблюдений периода
синусоидальных сигналов генератора звуковых частот,
полученных с помощью цифрового частотомера**

Номер наблюдения	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
	x_i , мс	x_i , мс	x_i , мс
1	19,87	16,56	9,94
2	19,79	16,49	9,90
3	19,91	16,59	9,96
4	20,01	16,67	10,01
5	19,87	16,56	9,94
6	19,98	16,65	9,99
7	20,07	16,72	10,04
8	20,13	16,77	10,07
9	19,89	16,57	9,95
10	19,93	16,61	9,97
11	20,14	16,78	10,07
12	19,87	16,56	9,94
13	19,86	16,55	9,93
14	19,99	16,66	10,00
15	20,07	16,72	10,04
16	20,08	16,73	10,04
17	19,89	16,57	9,95
18	19,93	16,61	9,97
19	20,09	16,74	10,05
20	19,86	16,55	9,93
21	19,94	16,62	9,97
22	20,10	16,75	10,05
23	20,09	16,74	10,05

Литература

1. МИ 2083–90. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. М. : Ком. стандартизации и метрологии СССР. 1991. – с. 11.

2. ГОСТ 8.207–76. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. М. : Стандартиформ, 2006. – С. 8.

3. Бурдун, Г. Д. Основы метрологии : учеб. пособие / Г. Д. Бурдун, Б. Н. Марков. – 3-е изд. – М. : Изд-во стандартов, 1984.

4. Маркин, Н. С. Метрология. Введение в специальность : учеб. пособие / Н. С. Маркин, В. С. Ершов. – М. : Изд-во стандартов, 1991.

5. Плуталов, В. Н. Основы метрологии, точность и адекватность в приборостроении / В. Н. Плуталов, Я. Л. Рудзит – учеб. пособие. – М. : Машиностроение, 1991. – с. 99.

6. Шульц, Ю. Электроизмерительная техника. 1000 понятий для практиков / Ю. Шульц. – Справочник : пер. с нем. – М. : Энергоатомиздат, 1989.

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

**Практикум
для студентов специальности
1-43 01 03 «Электроснабжение
(по отраслям)» заочной формы обучения**

Составитель **Широков Олег Геннадьевич**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 02.05.24.

Рег. № 89Е.

<http://www.gstu.by>