

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
Невинномысский технологический институт (филиал)

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Методические указания к практическим занятиям
для студентов направления подготовки
09.03.02 «Информационные системы и технологии»

Невинномысск, 2026

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии», изучающих дисциплину «Метрология, стандартизация, сертификация». В них изложены вопросы статистической оценки информации, необходимые для проведения практических занятий. Задачи даны в конце методических указаний.

Составители: к.т.н, доцент Д.В. Болдырев

Рецензент: к.т.н., доцент А.А. Евдокимов

Содержание

Введение	2
Основы метрологии.....	4
1 Многократное измерение с равноточными значениями отсчета.....	4
1.1 Точечные оценки числовых характеристик	11
1.2 Проверка нормальности закона распределения вероятности результата измерения	19
1.3 Обработка экспериментальных данных, подчиняющихся нормальному закону распределения вероятности	30
1.4 Обработка экспериментальных данных, не подчиняющихся нормальному закону распределения вероятности.....	34
1.5 Обеспечение требуемой точности измерений	38
2 Варианты заданий и форма отчетности	44
3 Контрольные вопросы	47
Литература	48

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Метрология, стандартизация и сертификация» ставит своей целью формирование следующих компетенций будущего бакалавра по направлению подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии».

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-4 Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью с использованием стандартов, норм и правил	ИД-2 ОПК-4 Разрабатывает техническую документацию (протоколы испытаний, сертификаты, стандарты организации) с применением действующих стандартов, норм и правил в области метрологии и сертификации.	Разрабатывает техническую документацию, включая протоколы испытаний, сертификаты соответствия и стандарты организации (СТО), применяя действующие технические регламенты и национальные стандарты (ГОСТ Р, ГОСТ) для обеспечения единства измерений и качества продукции.

ТЕМА 1. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

1 Многократное измерение с равноточными значениями отсчета

Многократное измерение одной и той же величины постоянного размера производится при повышенных требованиях к точности измерений. Такие измерения характерны для профессиональной метрологической деятельности и выполняются в основном сотрудниками государственной и ведомственных метрологических служб, а также при тонких научных экспериментах. Это сложные, трудоемкие и дорогостоящие измерения, целесообразность которых должна быть всегда убедительно обоснована. Один из создателей теории информации Л. Бриллюэн в статье «Теория информации и ее приложение к фундаментальным проблемам физики» привел слова Д. Габора о том, что «ничто не дается даром, в том числе информация». В полной мере это относится и к измерительной информации. Результат многократного измерения описывается выражением:

$$\hat{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i . \quad (1)$$

Как и результат однократного измерения, он является случайным значением измеряемой величины, но его дисперсия

$$D\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i\right) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n D(Q_i) = \frac{n\sigma_Q^2}{n^2} = \frac{\sigma_Q^2}{n} \quad (2)$$

в n раз меньше дисперсии результата измерения Q . Благодаря такому обстоятельству, как это видно на рис. 1. где выделены интервалы, соответствующие доверительной вероятности 0,95, точность определения значения измеряемой величины повышается в \sqrt{n} раз.

На рисунке 1 показан случай, когда результат многократного измерения – среднее арифметическое значение результата измерения \hat{Q} – подчиняется нормальному закону распределения вероятности. Так бывает всегда, когда нормальному закону распределения вероятности подчиняется сам результат измерения Q . Наличие массива экспериментальных данных

$$Q_i = X_i + \Theta_i; i \in \{1, \dots, n\}$$

позволяет получить апостериорную информацию о законе распределения вероятности результата измерения. В частности, может быть поставлена задача его определения. Но чаще ограничиваются проверкой нормальности закона распределения вероятности результата измерения и жертвуют точностью при отрицательных результатах проверки.

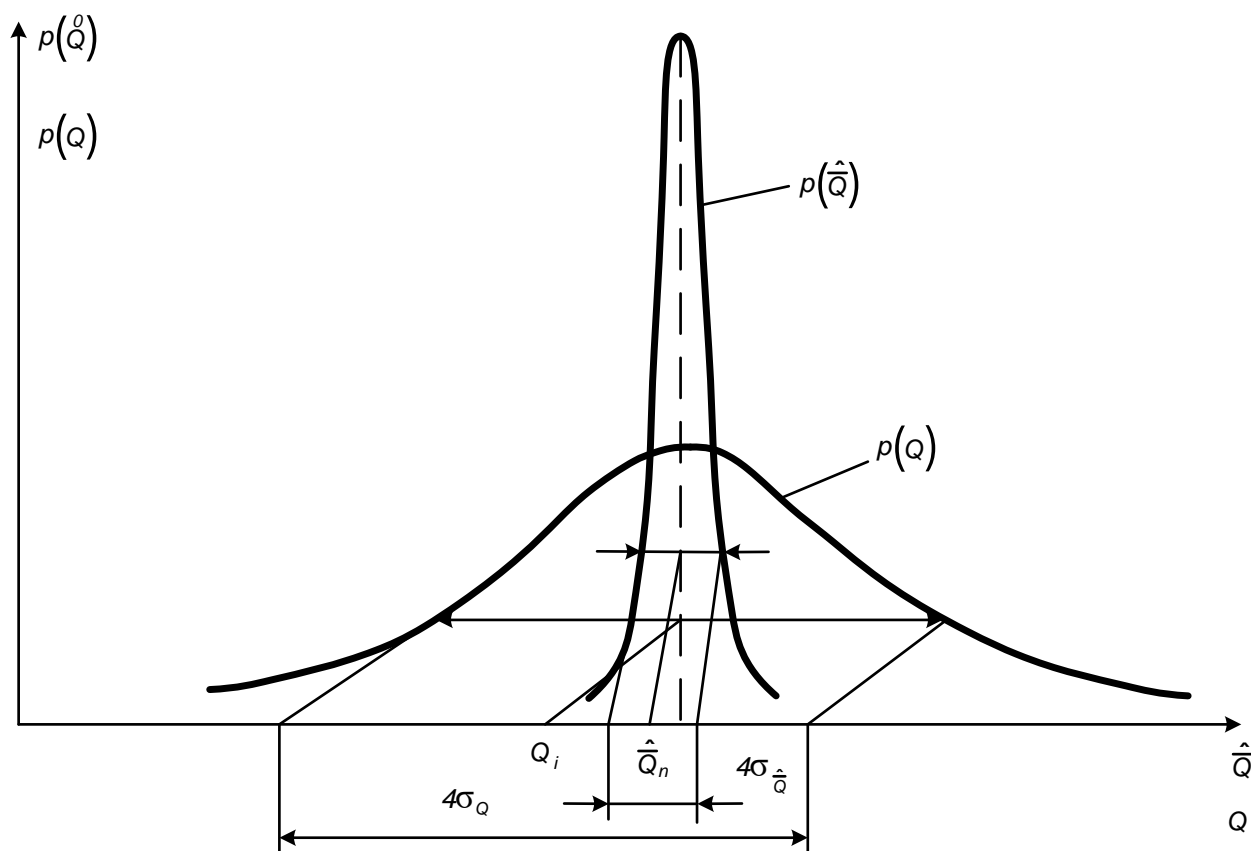


Рисунок 1 – Графики плотности распределения вероятности результата измерения и его среднего арифметического значения

Другой возможностью, которая открывается благодаря наличию большого объема экспериментальных данных, является обнаружение и исключение ошибок по правилу «трех сигм». Таким образом, специфическая особенность многократного измерения состоит в эффективном использовании апостериорной измерительной информации.

Последнее вовсе не означает, что необходимость в анализе априорной информации отпадает. Такой анализ обязательно предшествует многократному измерению и преследует те же цели, что и при однократном измерении, но с той разницей, что при многократном измерении информация о законе распределения вероятности результата измерения получается опытным путем.

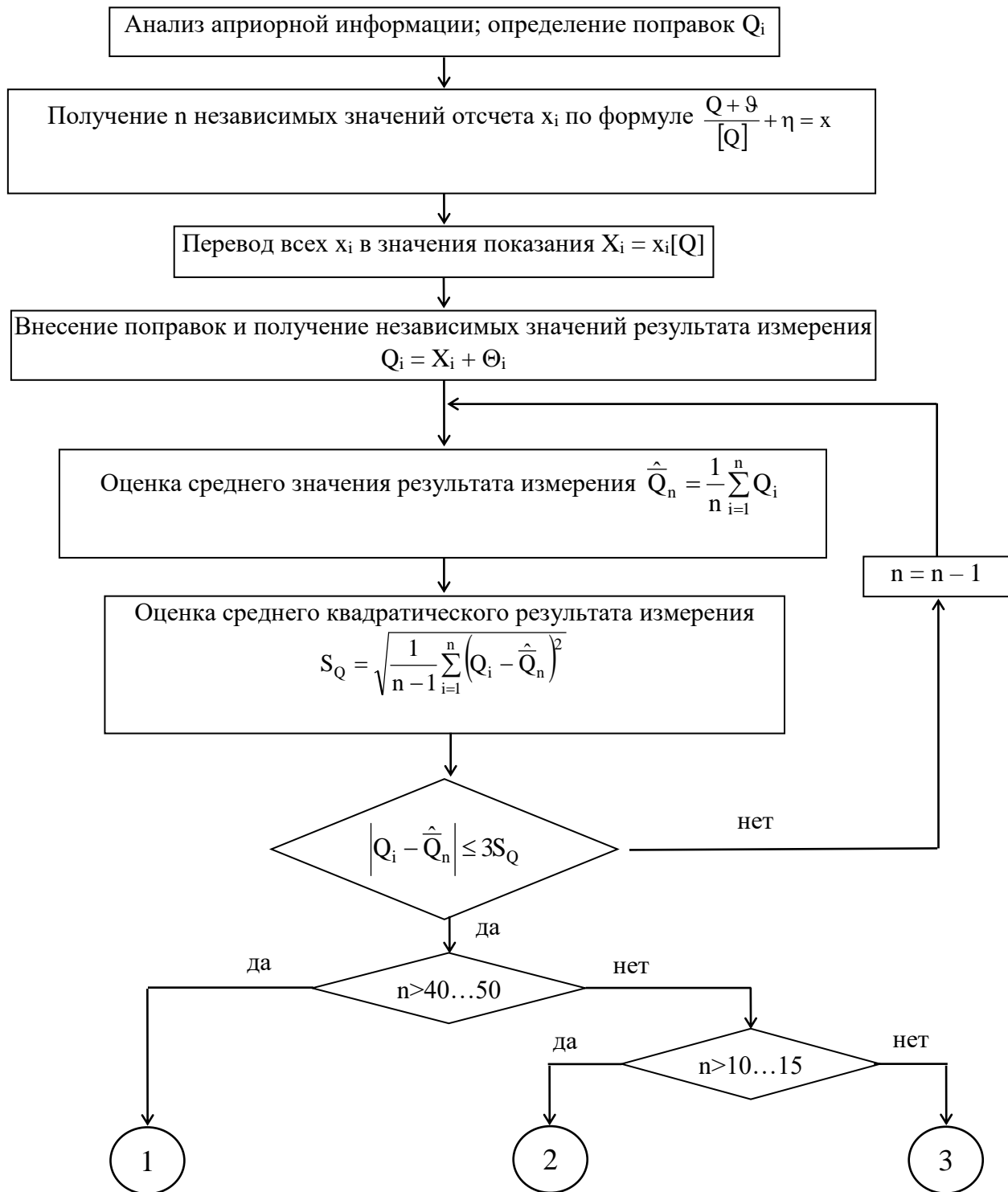
Вслед за анализом априорной информации и тщательной подготовкой к многократному измерению получают n независимых значений отсчета. Эта основная измерительная процедура может быть организована по-разному. Если изменением измеряемой величины во времени можно пренебречь, то все значения отсчета проще всего получить путем многократного повторения операции сравнения с помощью одного и того же средства измерений. Отсчет в этом случае будет описываться эмпирической плотностью распределения вероятности $P(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$, где согласно основному постулату метрологии каждое значение отсчета является случайным числом, подчиняющимся этому закону распределения вероятности. Такие значения отсчета x_i , имеющие одинаковую дисперсию, называются равноточными. Если же из априорной информации следует, что за время измерения произойдет существенное изменение измеряемой величины, то ее измеряют одновременно несколькими средствами измерений, каждое из которых дает одно из независимых значений отсчета x_i .

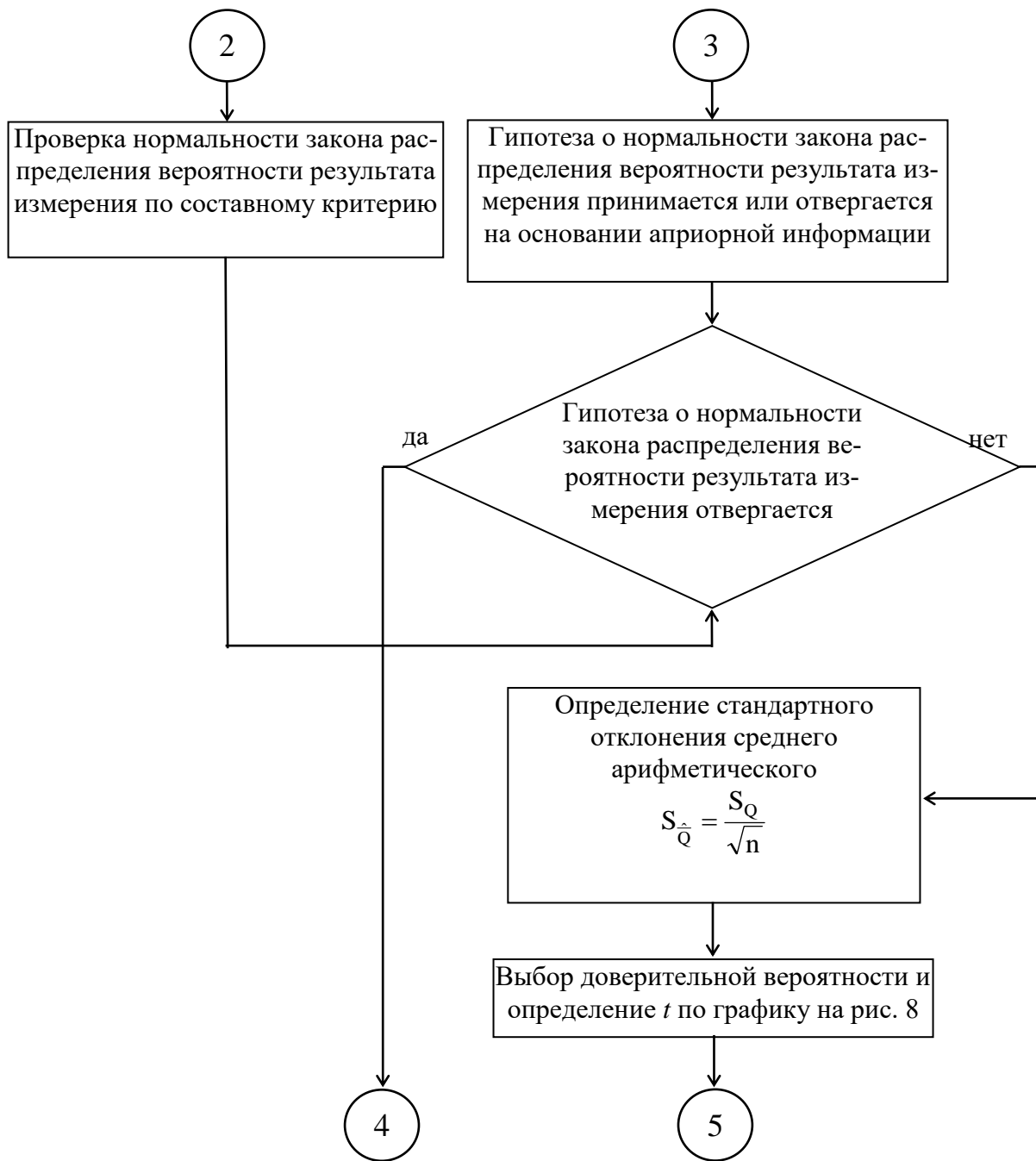
Так как средства измерений могут отличаться по точности, то в эмпирической плотности распределения вероятности отсчета $P(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$ случайные числа x_i могут иметь разную дисперсию. Такие значения отсчета x_i называются неравноточными. Многократное измерение с неравноточными значениями отсчета рассматривается в следующем разделе.

Порядок выполнения многократного измерения с равноточными значениями отсчета показан на рис. 2.

Все значения отсчета x_i , независимо от способа их получения, переводятся в показания X_i , в которые вносятся поправки Θ_i . Если многократное измерение выполняется одним средством измерений, то поправки могут отличаться друг от друга из-за изменения во времени влияющих факторов. Если же используются одновременно несколько средств измерений, то поправки отличаются из-за индивидуальных особенностей каждого из них. Для простоты будем считать их известными точно.

Полученный массив экспериментальных данных может содержать ошибки. Для того чтобы воспользоваться этим правилом, нужно знать числовые характеристики закона распределения вероятности результата измерения – среднее значение \bar{Q} и среднее квадратическое отклонение σ_Q . Однако вычислить их невозможно из-за конечного n и практической нереализуемости интегрирования в бесконечных пределах. Можно лишь как-то оценить эти числовые характеристики на основе ограниченного экспериментального материала, указать их приближенные значения или пределы, в которых они находятся с определенной вероятностью.





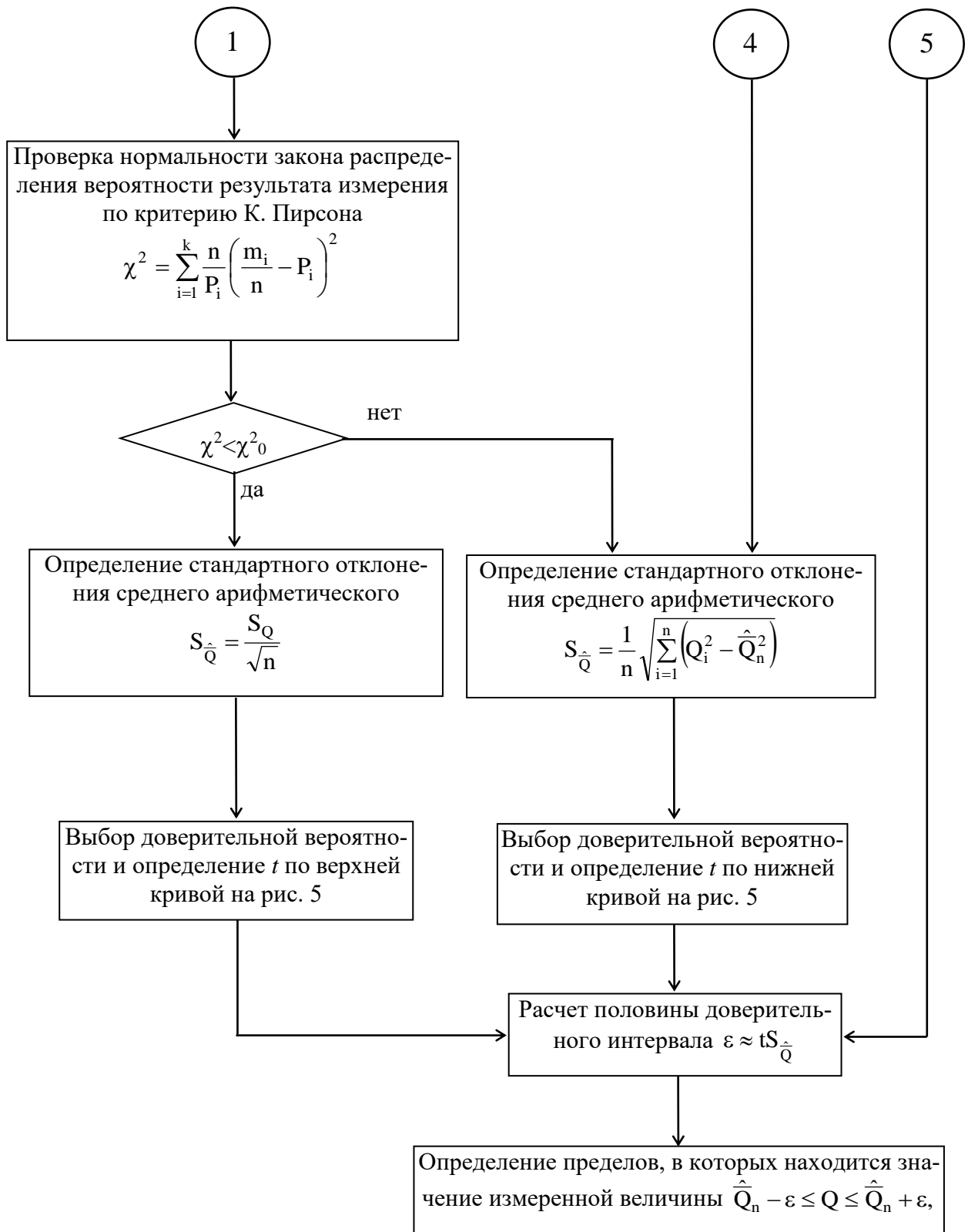


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма выполнения многократного измерения

1.1 Точечные оценки числовых характеристик

Оценки числовых характеристик законов распределения вероятности случайных чисел или величин, изображаемые точкой на числовой оси, называются точечными. В отличие от самих числовых характеристик оценки являются случайными, причем их значения зависят от объема экспериментальных данных, а законы распределения вероятности – от законов распределения вероятности самих случайных чисел или значений измеряемых величин. Оценки должны удовлетворять трем требованиям: быть состоятельными, несмещенными и эффективными. Состоятельной называется оценка, которая сходится по вероятности к оцениваемой числовой характеристике. Несмещенной является оценка, математическое ожидание которой равно оцениваемой числовой характеристике. Наиболее эффективной считают ту из нескольких возможных несмещенных оценок, которая имеет наименьшее рассеяние.

Рассмотрим n независимых значений Q_i , полученных при измерении физической величины постоянного размера. Пусть каждое из них отличается от среднего значения на случайное отклонение δ_i :

$$\begin{aligned} Q_1 &= \bar{Q} + \delta_1; \\ Q_2 &= \bar{Q} + \delta_2; \\ &\dots\dots\dots \\ Q_i &= \bar{Q} + \delta_i; \\ &\dots\dots\dots \\ Q_n &= \bar{Q} + \delta_n. \end{aligned}$$

Сложив между собой левые и правые части этих уравнений и разделив их на n , получим

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i = \bar{Q} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i.$$

В пределе при $n \rightarrow \infty$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i = \lim_{n \rightarrow \infty} \bar{Q} + \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i.$$

Здесь

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \bar{Q} = \bar{Q}; \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i = 0,$$

так что среднее арифметическое значение результата измерения

$$\hat{Q}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i,$$

сходящееся по вероятности к \bar{Q} , при любом законе распределения вероятности результата измерения может служить состоятельной точечной оценкой среднего значения.

Математическое ожидание среднего арифметического:

$$M\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i\right) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M(Q_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [M(\bar{Q}) + M(\delta_i)] = \bar{Q}.$$

Поэтому среднее арифметическое при любом законе распределения вероятности результата измерения является не только состоятельной, но и несмещенной оценкой среднего значения. Этим обеспечивается правильность результата многократного измерения.

Точность результата многократного измерения зависит от эффективности оценки среднего значения. Чем она эффективнее (чем меньше ее рассеяние), тем выше точность (см. рисунок 1). Критерии эффективности могут быть разными. При нормальном законе распределения вероят-

ности наиболее популярным является такой показатель эффективности (мера рассеяния), как сумма квадратов отклонений от среднего значения. Чем меньше этот показатель, тем эффективнее оценка. Это позволяет поставить задачу отыскания оценки среднего значения наиболее эффективной по критерию:

$$\sum_{j=1}^m (\hat{Q}_j - \bar{Q})^2 = \min. \quad (3)$$

Такая задача называется задачей синтеза оптимальной (т.е. наилучшей в смысле выбранного критерия) оценки среднего значения, а метод ее решения, основанный на использовании критерия (3), – методом наименьших квадратов.

Исследуем функцию в левой части выражения (3) на экстремум. Она достигает минимума при

$$\frac{\sum_{j=1}^m (\hat{Q}_j - \bar{Q})^2}{d\hat{Q}_j} = 0.$$

После возведения в квадрат и почленного дифференцирования получим

$$\sum_{j=1}^m \hat{Q}_j - m\bar{Q} = 0.$$

Если в качестве оценки \hat{Q} выбрать среднее арифметическое \hat{Q}_n , то равенство

$$\sum_{j=1}^m \left(\frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} Q_i \right) - m\bar{Q} = 0$$

будет выполняться при $n \rightarrow \infty$ в силу состоятельности этой оценки. Таким образом, среднее арифметическое является не только состоятельной и не-

смещенной, но и наиболее эффективной по критерию наименьших квадратов точечной оценкой среднего значения результата измерения.

В качестве точечной оценки дисперсии результата измерения по аналогии со средним арифметическим можно было бы взять

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_n)^2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_n + \bar{Q} - \bar{Q})^2 = \\
 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(Q_i - \bar{Q}) - (\hat{Q}_n - \bar{Q})]^2 = \\
 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 - \frac{2}{n} (\hat{Q}_n - \bar{Q}) \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Q}_n - \bar{Q})^2 = \\
 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 - 2(\hat{Q}_n - \bar{Q}) \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i - \bar{Q} \right) + (\hat{Q}_n - \bar{Q})^2 = \\
 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 - (\hat{Q}_n - \bar{Q})^2.
 \end{aligned}$$

При любом законе распределения вероятности результата измерения эта оценка является состоятельной, т.к. при $n \rightarrow \infty$ второе слагаемое в правой части стремится к нулю, а первое – к σ_Q^2 . Но

$$\begin{aligned}
 M \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_n)^2 \right] &= M \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \right] - M (\hat{Q}_n - \bar{Q})^2 = \\
 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M(Q_i - \bar{Q})^2 - \sigma_{\hat{Q}}^2 = \sigma_Q^2 - \frac{\sigma_Q^2}{n} = \frac{n-1}{n} \sigma_Q^2,
 \end{aligned}$$

т.е. такая оценка является смещенной.

Несмещенную оценку можно получить, умножив ее на коэффициент $\frac{n}{n-1}$. При $n \rightarrow \infty$ этот коэффициент стремится к 1, так что несмещенная точечная оценка дисперсии при любом законе распределения вероятности результата измерения

$$S_Q^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_n)^2 \quad (4)$$

остаётся состоятельной. Квадратный корень из нее

$$S_Q = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_n)^2}$$

называется стандартным отклонением.

Оценив среднее значение \bar{Q} и среднее квадратическое отклонение σ_Q результата измерения, можно, используя вместо этих числовых характеристик точечные оценки \hat{Q}_n и S_Q , по «правилу трех сигм» проверить, не являются ли некоторые сомнительные значения Q_i ошибочными.

Если окажется, что они отличаются от среднего арифметического \hat{Q}_n больше чем на $3S_Q$, то их следует отбросить (см. рисунок 2). После этого рассчитываются окончательные значения \hat{Q}_n и S_Q .

Пример 1. 15 независимых числовых значений результата измерения температуры в помещении по шкале Цельсия приведены во второй графе таблицы 1.

Не допущено ли ошибок при их получении?

Решение

1. Среднее арифметическое результата измерения

$$\hat{t}_{15} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_i = 20,404.$$

2. При определении стандартного отклонения результаты вспомогательных вычислений сведём в третью и четвертую графы табл. 1.

$$S_t = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (t_i - \hat{t}_{15})^2} = 0,032689.$$

Таблица 1 – Результаты измерения температуры

i	t_i	$t_i - \hat{t}_{15}$	$(t_i - \hat{t}_{15})^2$	$t_i - \hat{t}_{14}$	$(t_i - \hat{t}_{14})^2$
1	20,42	0,016	0,000256	0,009	0,000073
2	20,43	0,026	0,000676	0,019	0,000345
3	20,40	-0,004	0,000016	-0,011	0,000131
4	20,43	0,026	0,000676	0,019	0,000345
5	20,42	0,016	0,000256	0,009	0,000073
6	20,43	0,026	0,000676	0,019	0,000345
7	20,39	-0,014	0,000196	-0,021	0,000459
8	20,30	-0,104	0,010816	—	—
9	20,40	-0,004	0,000016	-0,011	0,000131
10	20,43	0,026	0,000676	0,019	0,000345
11	20,42	0,016	0,000256	0,009	0,000073
12	20,41	0,006	0,000036	-0,001	0,000002
13	20,39	-0,014	0,000196	-0,021	0,000459
14	20,39	-0,014	0,000196	-0,021	0,000459
15	20,40	-0,004	0,000016	-0,011	0,000131

3. Больше, чем на $3S_t=0,099$ от среднего арифметического отличается восьмое значение. Следовательно оно является ошибочным и должно быть отброшено.

4. Без восьмого значения $\hat{t}_{14} = 20,411$.

5. Результаты вспомогательных вычислений при повторном определении стандартного отклонения сведем в пятую и шестую графы табл. 1
 $S_t = 0,015518$

6. Ни одно из оставшихся значений t_i не отличается теперь от среднего арифметического больше чем на $3 S_t=0,046555$. Можно, следовательно, считать, что среди них нет ошибочных.

Универсальный метод отыскания эффективных оценок числовых характеристик **любых** законов распределения вероятности случайных чи-

сел или величин разработан Р.А. Фишером. Он называется методом максимального правдоподобия. Сущность этого метода заключается в следующем.

Многомерная плотность распределения вероятности системы случайных значений $p(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$ рассматривается как функция числовых характеристик закона распределения вероятности.

Эта функция

$$L = p(Q_1, Q_2, \dots, Q_n, \bar{Q}, \sigma_Q^2, \dots),$$

называемая функцией правдоподобия, показывает, насколько то или иное значение каждой числовой характеристики «более правдоподобно», чем другие. Функция правдоподобия достигает максимума при значениях переменных, являющихся их наиболее эффективными оценками. Последние, следовательно, находятся из условия

$$L = p(Q_1, Q_2, \dots, Q_n, \hat{Q}, \hat{\sigma}_Q^2, \dots) = \max,$$

что равносильно совместному решению уравнений

$$\frac{\partial L}{\partial \hat{Q}} = 0;$$

$$\frac{\partial L}{\partial \hat{\sigma}_Q^2} = 0;$$

.....

Для упрощения вычислений функцию правдоподобия иногда логарифмируют. Так как логарифм является монотонной функцией, то L и $\ln L$ достигают экстремума при одних и тех же значениях переменных. Наиболее эффективные оценки числовых характеристик, следовательно, могут определяться из совместного решения уравнений

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \hat{Q}} = 0;$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \hat{\sigma}_Q^2} = 0;$$

.....

Пример 2. Определить методом максимального правдоподобия эффективные оценки среднего значения и дисперсии результата измерения, независимые равноточные значения которого подчиняются нормальному закону распределения вероятности.

Решение

1. Плотность распределения вероятности каждого отдельного значения результата измерения

$$p(Q_i, \bar{Q}, \sigma_Q^2) = \frac{1}{\sigma_Q \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Q_i - \bar{Q})^2}{2\sigma_Q^2}}.$$

Поскольку все значения независимые, плотность распределения вероятности системы случайных величин

$$p(Q_1, Q_2, \dots, Q_n, \bar{Q}, \sigma_Q^2) = p(Q_1, \bar{Q}, \sigma_Q^2) p(Q_2, \bar{Q}, \sigma_Q^2) \dots p(Q_n, \bar{Q}, \sigma_Q^2).$$

Таким образом функция правдоподобия

$$L(Q_1, Q_2, \dots, Q_n, \hat{Q}, \hat{\sigma}_Q^2) = \left(\frac{1}{\sigma_Q \sqrt{2\pi}} \right)^n e^{-\frac{1}{2\sigma_Q^2} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}.$$

2. Логарифм функции правдоподобия

$$\ln L = -\frac{n}{2} \ln 2\pi - \frac{n}{2} \ln \sigma_Q^2 - \frac{1}{2\sigma_Q^2} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2.$$

3. Уравнения, из которых находятся оценки:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \hat{Q}} = \frac{1}{\bar{\sigma}_Q^2} \sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}) = 0; \quad \frac{\partial \ln L}{\partial \bar{\sigma}_Q^2} = -\frac{n}{2\bar{\sigma}_Q^2} + \frac{1}{2\bar{\sigma}_Q^4} \sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q})^2.$$

4. Решение первого уравнения

$$\hat{Q} = \hat{Q}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i$$

совпадает с результатом, полученным методом наименьших квадратов.

5. Решение второго уравнения

$$\bar{\sigma}_Q^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_n)^2$$

дает хотя и эффективную, но, как мы видели, несколько смещенную оценку. К несмещенной оценке приводит введение поправочного множи-

теля $\frac{n}{n-1}$.

1.2 Проверка нормальности закона распределения вероятности результата измерения

При обработке экспериментальных данных существенное значение имеет вопрос о том, подчиняется или нет результат измерения нормальному закону распределения вероятности. Непротиворечивость такой гипотезы должна быть обязательно проверена.

Поскольку ошибки искажают эмпирический закон распределения вероятности результата измерения, постольку проверка предположения о его нормальности производится после исключения ошибок.

Правдоподобна или нет гипотеза о том, что результат измерения подчиняется нормальному закону распределения вероятности, можно определить уже по виду гистограммы, построенной на основании

экспериментальных данных. Наглядность отображения гистограммой закона распределения вероятности результата измерения зависит от соблюдения следующих правил при ее построении:

1) интервалы ΔQ , на которые разбивается ось абсцисс, следует выбирать, по возможности, одинаковыми;

2) число интервалов k устанавливать в соответствии со следующими рекомендациями:

Число измерений	Рекомендуемое число интервалов
40 – 100	7 – 9
100 – 500	8 – 12
500 – 1000	10 – 16
1000 – 10000	12 – 22

3) масштаб гистограммы выбирать так, чтобы ее высота относилась к основанию, примерно, как 5 к 8.

Иногда по виду гистограммы можно с большой уверенностью заключить, что результат измерения подчиняется (или не подчиняется) нормальному закону распределения вероятности. Если, например, гистограмма имеет вид, показанный на рис. 3. а, то результат измерения определенно не подчиняется нормальному закону. Если же гистограмма имеет вид, показанный на рис. 3. б, то возникает сомнение: достаточно ли хорошо она соответствует теоретической кривой нормального закона распределения плотности вероятности, показанной пунктиром? Для разрешения этого сомнения нужно иметь правило, руководствуясь которым можно было бы принимать то или иное решение.

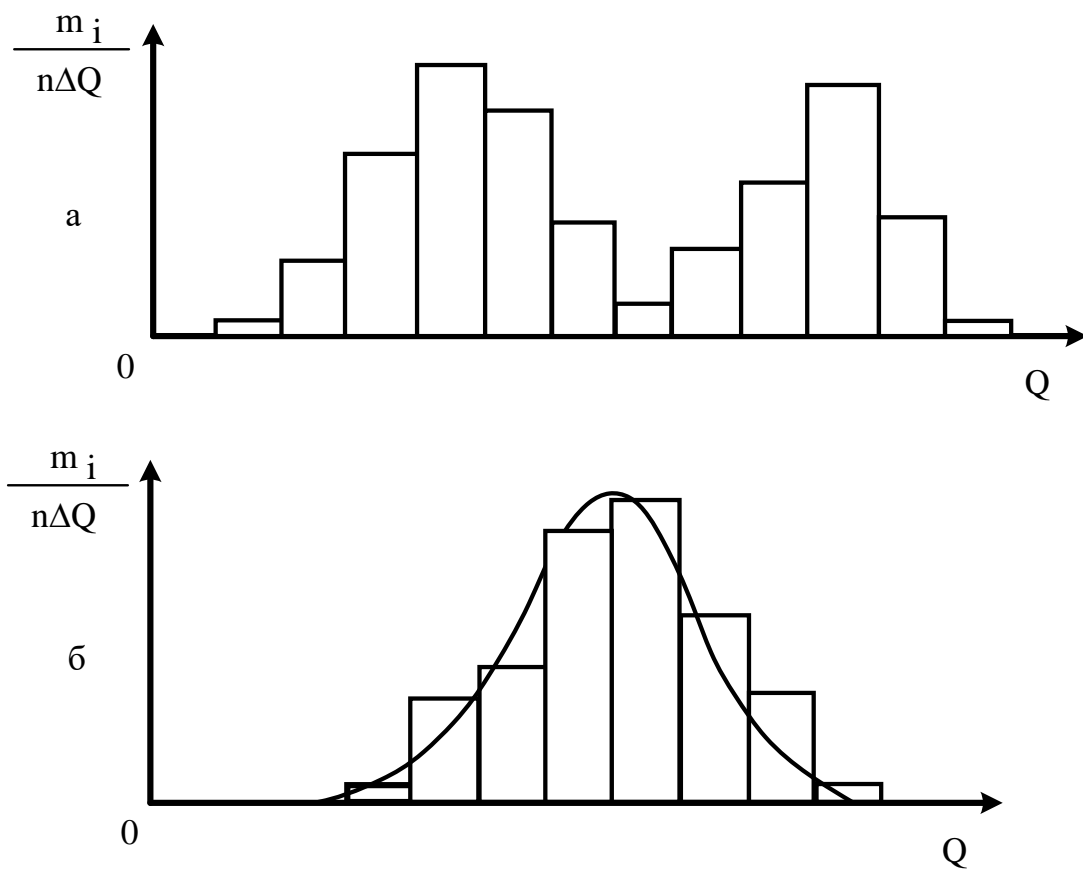


Рисунок 3 – Гистограммы, построенные по экспериментальным данным

Существует несколько так называемых критериев согласия, по которым проверяются гипотезы о соответствии экспериментальных данных тому или иному закону распределения вероятности результата измерения. Наиболее распространенным из них является критерий К. Пирсона. При использовании этого критерия за меру расхождения экспериментальных данных с теоретическим законом распределения вероятности результата измерения принимается сумма квадратов отклонения частот m_i/n от теоретической вероятности P_i попадания отдельного значения результата измерения в i -й интервал, причем каждое слагаемое берется с коэффициентом n/P_i :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{n}{P_i} \left(\frac{m_i}{n} - P_i \right)^2.$$

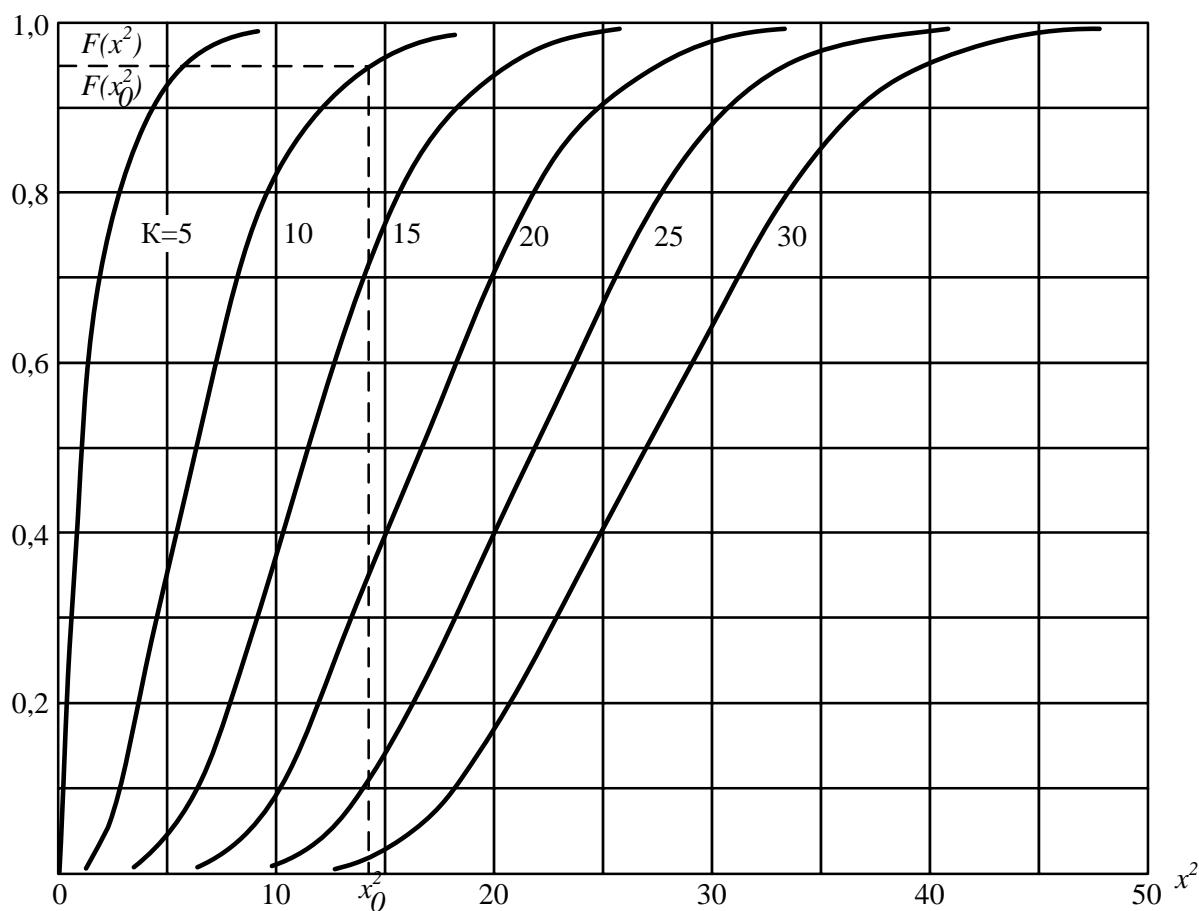


Рисунок 4 – Интегральная функция распределения вероятности
К. Пирсона

Если расхождение случайно, то χ^2 подчиняется χ^2 – распределению (распределению К. Пирсона). Кривые интегральной функции этого распределения представлены на рис. 4 (здесь k соответствует числу интервалов только при проверке соответствия закона распределения вероятности результата измерения нормальному закону). Интегральная функция определяет вероятность того, что случайное число примет значение меньше аргумента этой функции. Поэтому, задавшись значением интегральной функции распределения К. Пирсона $F(\chi^2_0)$, можно проверить, больше или меньше ее аргумента χ^2_0 (см. рисунок 4) вычисленное значение χ^2 . Если меньше, то с выбранной вероятностью χ^2 можно считать случайным чис-

лом, подчиняющимся χ^2 – распределению К. Пирсона, т.е. признать случайным расхождение между эмпирической и теоретической плотностью распределения вероятности результата измерения. Если же окажется, что $\chi^2 > \chi^2_0$, то с той же вероятностью придется признать, что χ^2 не подчиняется распределению К. Пирсона, т.е. гипотеза о соответствии эмпирического закона распределения вероятности теоретическому не подтверждается.

Пример 3. 100 независимых числовых значений результата измерения напряжения цифровым вольтметром, каждое из которых повторилось m раз, приведены в первой графе таблице 2.

Проверить гипотезу о том, что результат измерения подчиняется нормальному закону распределения вероятности.

Решение

1. Используя результаты вспомогательных вычислений, сведенные в третьей графах, найдем стандартное отклонение результата измерения:

$$\hat{U}_{100} = 8,63.$$

2. Используя результаты вспомогательных вычислений в четвертой, пятой и шестой графах, найдем стандартное отклонение результата измерения: $S_U = 0,127$.

3. Ни одно из значений результата измерения не отличается от среднего арифметического больше чем на $3S_U = 0,381$. Можно считать, что ошибок нет.

4. При использовании критерия К. Пирсона в каждом интервале должно быть не меньше пяти независимых значений результата измерения. В соответствии с этим образуем интервалы так, как это представлено во второй графе табл. 3.

Таблица 2 – Результаты измерения напряжения цифровым вольтметром

U	m	mU	$U - \hat{U}_{100}$	$(U - \hat{U}_{100})^2$	$m(U - \hat{U}_{100})^2$
8,30	1	8,30	-0,33	0,1089	0,1089
8,35	2	16,70	-0,28	0,0784	0,1568
8,40	4	33,60	-0,23	0,0529	0,2116
8,45	5	42,25	-0,18	0,0324	0,1620
8,50	8	68,00	-0,13	0,0169	0,1352
8,55	10	85,50	-0,08	0,0064	0,0640
8,60	18	154,80	-0,03	0,0009	0,0162
8,65	17	147,05	0,02	0,0004	0,0068
8,70	12	104,40	0,07	0,0049	0,0588
8,75	9	78,75	0,12	0,0144	0,1296
8,80	7	61,60	0,17	0,0289	0,2023
8,85	6	53,10	0,22	0,0484	0,2904
8,90	0	–	–	–	–
8,95	1	8,95	0,32	0,1024	0,1024

Таблица 3 – Расчетные данные при использовании критерия К. Пирсона

i	Интервалы		m _i	t _i	L(t _i)	P _i	m _i -nP _i	$\frac{(m_i - nP_i)^2}{nP_i}$
	(U _{i-1} ;	U _i)						
1	(-∞;	8,425)	7	-1,614	-0,4467	0,0533	1,67	0,523
2	(8,425;	8,475)	5	-1,220	-0,3888	0,0579	-0,79	0,108
3	(8,475;	8,525)	8	-0,827	-0,2959	0,0929	-1,29	0,179
4	(8,525;	8,575)	10	-0,433	-0,1676	0,1283	-2,83	0,624
5	(8,575;	8,625)	18	-0,039	-0,0156	0,1520	2,80	0,516
6	(8,625;	8,675)	17	0,354	6,1383	0,1539	1,61	0,168
7	(8,675;	8,725)	12	0,748	0,2728	0,1345	-1,45	0,157
8	(8,725;	8,775)	9	1,142	0,3733	0,1005	-1,05	0,110
9	(8,775;	8,825)	7	1,536	0,4377	0,0644	0,56	0,048
10	(8,825;	+∞)	7	+∞	0,5000	0,0623	0,77	0,095

5. Определим, на сколько S_U отстоит от среднего арифметического, правая U_i граница каждого интервала:

$$t_i = \frac{U_i - \hat{U}_{100}}{S_U} = \frac{U_i - 8,63}{0,127}.$$

Полученные значения параметра t внесем в четвертую графу таблицы 3.

6. По значению t_i из графика на рис. 5 можно определить, с какой вероятностью отдельное значение результата измерения, подчиняющегося нормальному закону распределения вероятности, попадает в интервал $\hat{U}_{100} \pm U_i$. С вероятностью в два раза меньшей оно попадает в левую или правую половину этого интервала. Эта вероятность определяется интегралом вероятности – функцией Лапласа $L(t_i)$, так что для повышения точности расчетов можно пользоваться не графиком, а таблицами функции Лапласа. Полученные из таблиц значения $L(t_i)$ занесены в пятую графу табл. 3.

7. Теоретическая вероятность P_i , попадания в i -й интервал отдельного значения результата измерения, подчиняющегося нормальному закону распределения вероятности, очевидно равна

$$P_i = L(t_i) - L(t_{i-1}).$$

Принимая во внимание, что $L(-\infty) = -0,5$, а $L(\infty) = 0,5$, поместим рассчитанные значения P_i в шестую графу табл. 3.

8. В седьмую и восьмую графы внесены результаты остальных вспомогательных вычислений. Суммирование чисел в восьмой графе дает $\chi^2 = 2,528$.

9. Из графика на рис. 4 видно, что рассчитанное значение $\chi^2 \ll \chi^2_0$, соответствующего, например, вероятности 0,95. Таким образом, можно принять гипотезу о том, что результат измерения подчиняется нормальному закону.

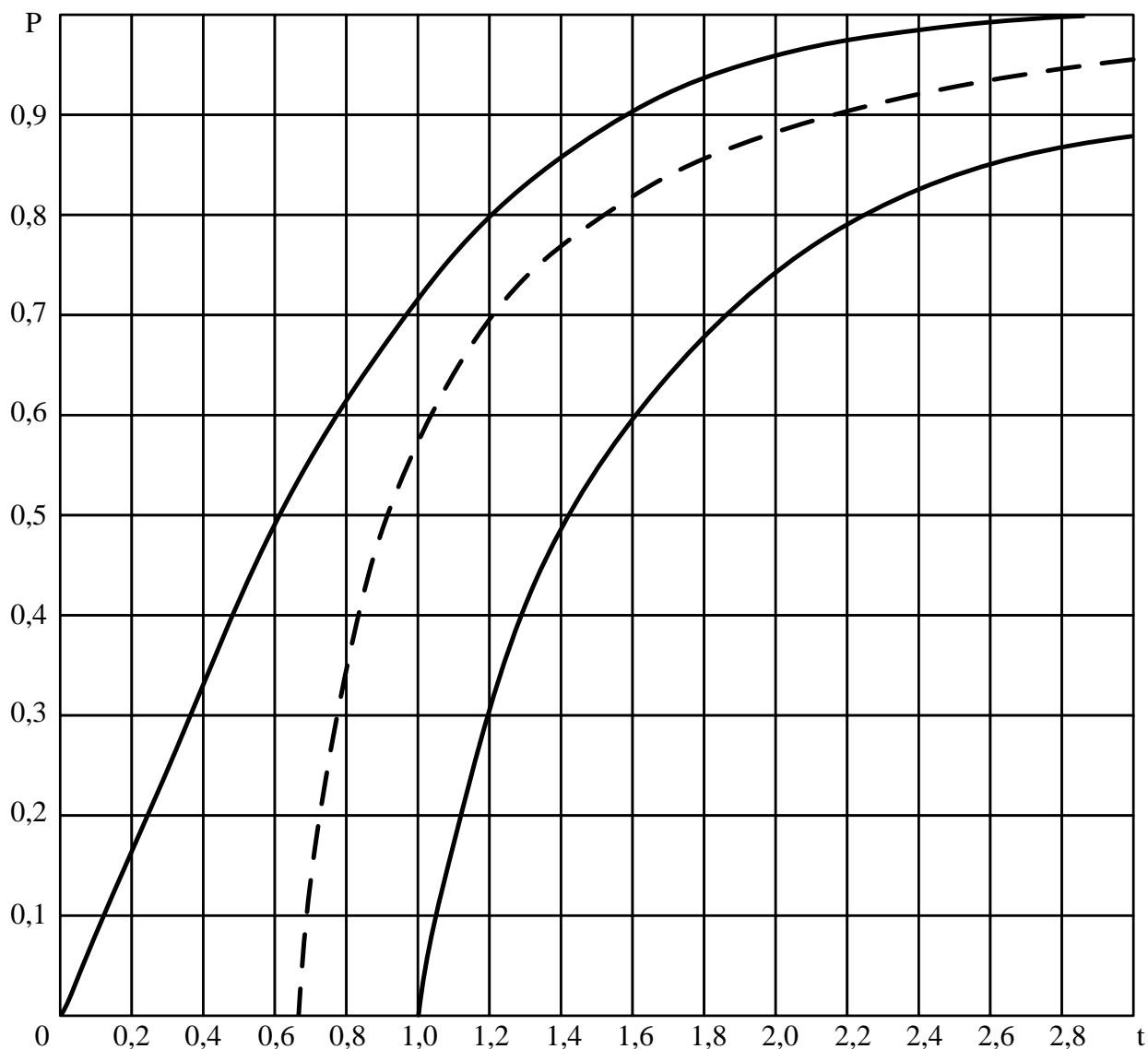


Рисунок 5 – Вероятность попадания отдельного значения результата измерения в окрестность среднего значения

Критерий согласия К. Пирсона широко применяется для проверки гипотез о том, что результат измерения подчиняется вполне определенному закону распределения вероятности. При $\chi^2 < \chi^2_0$ соответствующая

гипотеза принимается, при $\chi^2 \geq \chi^2_0$ – отвергается. Однако даже выполнение неравенства $\chi^2 \ll \chi^2_0$ не может служить доказательством того, что результат измерения подчиняется этому закону распределения вероятности.

При использовании критерия К. Пирсона, как и в случае применения других критериев, возможны два рода ошибок. Ошибка первого рода состоит в отклонении верной гипотезы, а ошибка второго рода – в принятии неправильной. Для иллюстрации на рис. 6 показаны кривые плотности распределения вероятности величины χ^2 в случаях, когда проверяемая гипотеза верна – кривая 1, и когда неверна – кривая 2. Если вероятности, с которой выносится решение, соответствует значение χ^2_0 , то при всех $\chi^2 < \chi^2_0$, гипотеза будет приниматься, а при всех $\chi^2 \geq \chi^2_0$ – отклоняться.

Вероятности ошибок первого и второго родов при этом:

$$P_I = \int_{\chi^2_0}^{\infty} p_1(\chi^2) d\chi^2;$$

$$P_{II} = \int_{-\infty}^{\chi^2_0} p_2(\chi^2) d\chi^2.$$

Обе они зависят от значения χ^2_0 , которое в свою очередь определяется вероятностью $P = F(\chi^2_0)$, с которой принимается решение. С повышением этой вероятности значение χ^2_0 увеличивается, вероятность ошибки первого рода уменьшается, а ошибки второго рода – возрастает, и наоборот. Таким образом, нецелесообразно принимать решение с очень высокой степенью вероятности. Обычно P выбирается равной 0,9...0,95.

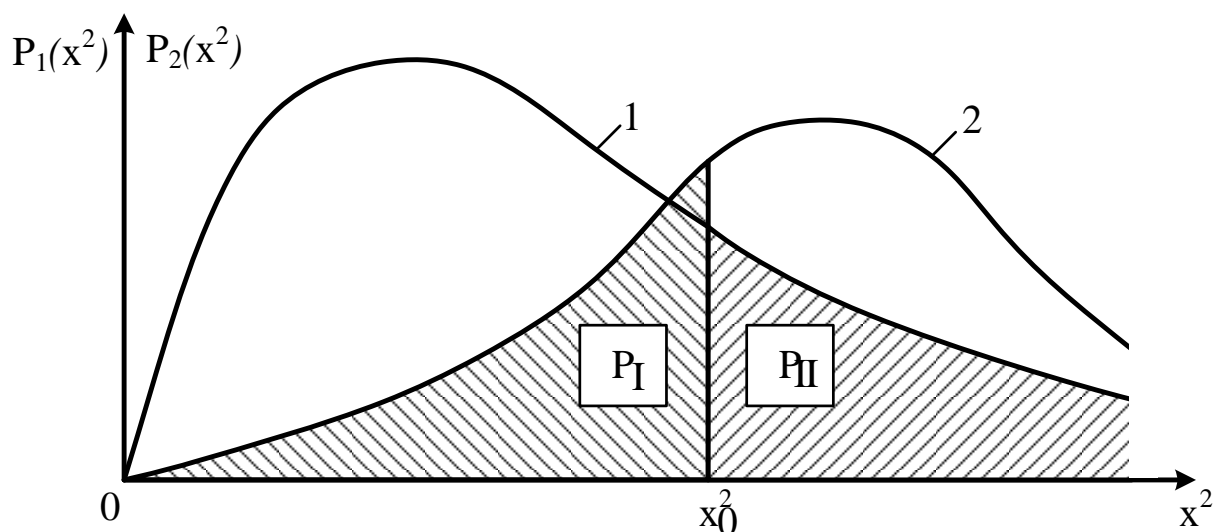


Рисунок 6 – Графики плотности распределения вероятности χ^2 в случаях, когда проверяемая гипотеза верна (1) и неверна (2)

При проверке нормальности закона распределения вероятности результата измерения применение критерия К. Пирсона дает хорошие результаты только, если $n > 40 \dots 50$. При $10 \dots 15 < n < 40 \dots 50$ применяется так называемый составной критерий. Сначала рассчитывается

$$d = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Q_i - \hat{Q}_n|}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_n)^2}}$$

и проверяется выполнение условия

$$d_{\min} \leq d \leq d_{\max},$$

где d_{\min} и d_{\max} зависят от вероятности P^* , с которой принимается решение, и находятся по табл. 4.

Таблица 4 – Данные для использования составного критерия

П	P* = 0,90		P* = 0,95		P* = 0,99	
	d _{min}	d _{max}	d _{min}	d _{max}	d _{min}	d _{max}
11	0,7409.	0,8899	0,7153	0,9073	0,6675	0,9359
16	7452	8733	7236	8884	6829	9137
21	7495	8631	7304	8768	6950	9001
26	7530	8570	7360	8686	7040	8901
31	7559	8511	7404	8625	7110	8827
36	7583	8468	7440	8578	7167	8769
41	7604	8436	7470	8540	7216	8722
46	7621	8409	7496	8508	7256	8682
51	7636	8385	7518	8481	7291	8648

Если это условие соблюдается, то дополнительно проверяются «хвосты» теоретического и эмпирического законов распределения вероятности. При $10 \leq n \leq 20$ считается допустимым отклонение одного из независимых значений результата измерения Q_i от среднего арифметического больше, чем на $2,5S_Q$, при $20 < n \leq 50$ – двух, что соответствует доверительной вероятности $P^{**} \approx 0,98$.

Несоблюдения хотя бы одного из двух условий достаточно для того, чтобы гипотеза о нормальности закона распределения вероятности результата измерения была отвергнута. В противном случае гипотеза принимается с вероятностью $P > P^* + P^{**} - 1$.

При $n < 10 \dots 15$ гипотеза о том, что результат измерения подчиняется нормальному закону распределения вероятности, не проверяется. Решение принимается на основании анализа априорной информации.

1.3 Обработка экспериментальных данных, подчиняющихся нормальному закону распределения вероятности

Если итоги проверки большого массива экспериментальных данных по критерию χ^2 не противоречат гипотезе о том, что результат измерения подчиняется нормальному закону распределения вероятности, то можно считать, что среднее арифметическое значение результата измерения также подчиняется нормальному закону, а среднее значение среднего арифметического

$$M(\hat{Q}_n) = \bar{Q}.$$

Ни одно из случайных значений, подчиняющихся нормальному закону распределения вероятности, не может отличаться от среднего значения больше, чем на половину доверительного интервала. На основании формулы

$$P\left\{\bar{Q} - t\sigma_{\hat{Q}} \leq \hat{Q}_n \leq \bar{Q} + t\sigma_{\hat{Q}}\right\} = 2F(t) - 1 = 2L(t).$$

можно написать

$$\begin{aligned} P\left\{\bar{Q} - t\sigma_{\hat{Q}} \leq \hat{Q}_n \leq \bar{Q} + t\sigma_{\hat{Q}}\right\} &= P\left\{-\hat{Q}_n - t\sigma_{\hat{Q}} \leq \bar{Q} \leq -\hat{Q}_n + t\sigma_{\hat{Q}}\right\} = \\ &= P\left\{\hat{Q}_n - t\sigma_{\hat{Q}} \leq \bar{Q} \leq \hat{Q}_n + t\sigma_{\hat{Q}}\right\} = 2F(t) - 1. \end{aligned}$$

Заменяя среднее квадратическое отклонение среднего арифметического его оценкой

$$S_{\hat{Q}} = \frac{S_Q}{\sqrt{n}},$$

вытекающей из выражения (2), и принимая во внимание, что $\bar{Q} = Q$, получим:

$$P\left\{\hat{Q}_n - \varepsilon \leq Q \leq \hat{Q}_n + \varepsilon\right\} = 2F(t) - 1,$$

где $\varepsilon \approx tS_{\hat{Q}}$ – половина доверительного интервала, а t при выбранной доверительной вероятности определяется по верхней кривой на рисунке 5.

Порядок соответствующих действий показан на рисунке 2. Сначала находится стандартное отклонение среднего арифметического, затем выбирается доверительная вероятность и определяется соответствующее ей значение t по верхней кривой на рис. 5. С выбранной доверительной вероятностью значение измеряемой величины Q не отличается от среднего арифметического значения результата измерения больше, чем на половину доверительного интервала $\varepsilon \approx tS_{\hat{Q}}$.

При небольшом объеме экспериментальных данных среднее арифметическое значение результата измерения, подчиняющегося нормальному закону распределения вероятности, само подчиняется закону распределения вероятности Стьюдента (псевдоним В.С. Госсета) с тем же средним значением $\bar{Q}=Q$. Графики плотности распределения вероятности, соответствующие этому закону, показаны на рис. 7. При увеличении n распределение вероятности Стьюдента быстро приближается к нормальному, становясь почти неотличимым от него уже при $n>40\dots50$.

Доверительная вероятность того, что любое случайное значение среднего арифметического, подчиняющегося закону распределения вероятности Стьюдента, не отличается от среднего значения больше чем на половину доверительного интервала

$$P\left\{\bar{Q} - t\sigma_{\hat{Q}} \leq \hat{Q}_n \leq \bar{Q} + t\sigma_{\hat{Q}}\right\} = 2S_n(t) - 1,$$

где $S_n(t)$ – интегральная функция распределения вероятности Стьюдента. По этой формуле на рис. 8 построены графики, показывающие, какое значение имеет объем выборки n . При $n=4$, например, вероятность того, что

никакое значение среднего арифметического, подчиняющегося закону распределения вероятности Стьюдента, не отличается от среднего значения больше чем на $2\sigma_{\hat{Q}}$, составляет 0,86; при $n=6$ она равна 0,9; при $n=10$ получается равной 0,924; при $n=20$ уже 0,94 и т.д. Верхняя кривая на рис. 8 соответствует условию $n > 40 \dots 50$ и практически не отличается от верхней кривой на рисунке 5.

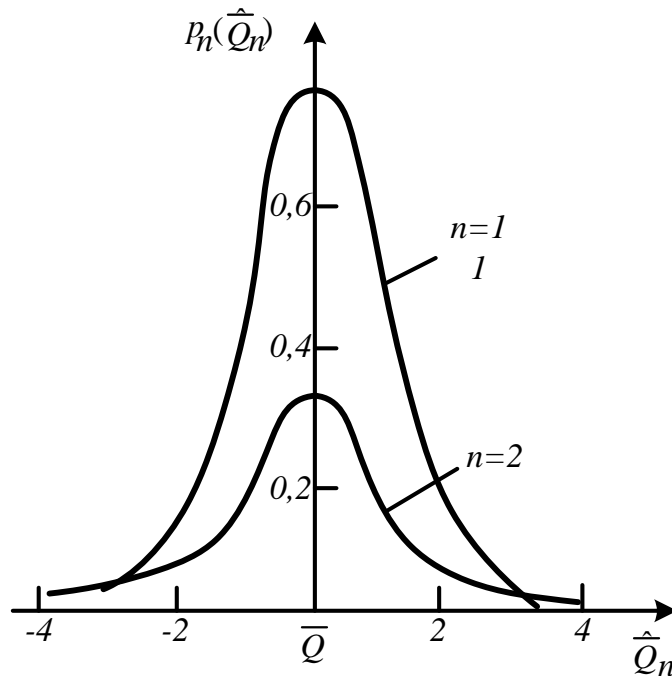


Рисунок 7 – Графики плотности распределения вероятности среднего арифметического \hat{Q}_n при различных значениях n

По аналогии с предыдущим нетрудно показать, что

$$P\{\hat{Q}_n - \varepsilon \leq Q \leq \hat{Q}_n + \varepsilon\} = 2S_n(t) - 1,$$

где по-прежнему $\varepsilon \approx tS_{\hat{Q}}$ – половина доверительного интервала, а t при выбранной доверительной вероятности определяется по графику на рис. 8.

Порядок действий при обработке небольшого объема экспериментальных данных отличается только тем, что после выбора доверительной вероятности t с учетом n определяется по графику на другом рисунке.

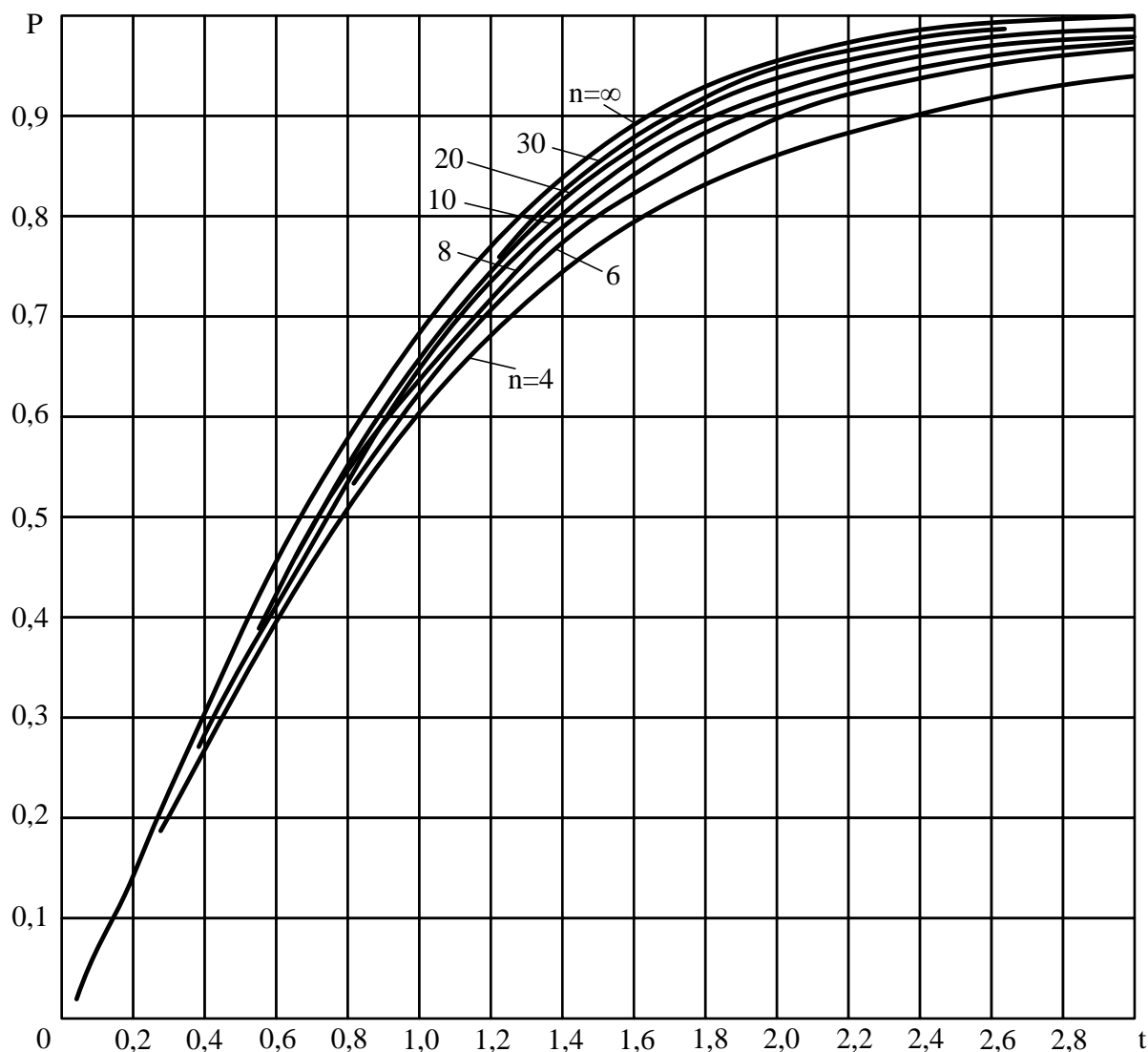


Рисунок 8 – Вероятность попадания среднего арифметического в окрестность среднего значения

При совсем незначительном количестве экспериментальных данных ($n < 10 \dots 15$) и принятой гипотезе о том, что результат измерения подчиняется нормальному закону распределения вероятности, выявление ошибок по «правилу трех сигм» не производится. Остальной порядок действий

(см. рис. 2) не отличается от предыдущего. Доверительный интервал при фиксированной доверительной вероятности, как это видно из графика на рис. 8, с уменьшением объема экспериментальных данных расширяется; точность измерения при этом, следовательно, снижается, приближаясь к точности однократного измерения при $n \rightarrow 1$.

1.4 Обработка экспериментальных данных, не подчиняющихся нормальному закону распределения вероятности

Если гипотеза о том, что результат измерения подчиняется нормальному закону распределения вероятности отвергается, то существует несколько возможностей.

1) При особо точных и ответственных измерениях может быть поставлена задача определения закона распределения вероятности результата измерения. Однозначного решения она не имеет, и вывод о том, что экспериментально найденная плотность распределения вероятности подчиняется какому-то конкретному закону, может быть сделан лишь с той или иной вероятностью. Это довольно сложная и трудоемкая процедура, требующая значительных дополнительных затрат, и необходимость ее в каждом отдельном случае должна быть технико-экономически обоснована.

После определения с той или иной вероятностью закона распределения вероятности результата измерения методом максимального правдоподобия (см. разд. 1. 1) устанавливаются оценки его числовых характеристик, и на основе их использования разрабатывается вся последующая процедура обработки экспериментальных данных. Такая обработка называется оптимальной и обеспечивает наивысшую точность при выбранных критериях.

2) Если закон распределения вероятности результата измерения незначительно отличается от нормального (чаще всего это отличие проявляется в повышенной вероятности больших отклонений от среднего значения), то применяются так называемые робастные (устойчивые к отклонениям от нормального закона распределения вероятности) методы обработки экспериментальных данных. Все они основаны на ослаблении влияния больших отклонений от среднего значения на его оценку.

В простейшем случае большие отклонения просто отбрасываются, что приводит к усеченному нормальному закону распределения вероятности результата измерения. В этом случае оценкой среднего значения становится медиана закона распределения вероятности результата измерения.

$$\hat{Q}_M = \text{med}Q = \begin{cases} \frac{Q_{\frac{n+1}{2}}}{2} & \text{при нечетном } n; \\ \frac{1}{2} \left(Q_{\frac{n}{2}} + Q_{\frac{n}{2}+1} \right) & \text{при четном } n. \end{cases}$$

В некоторых случаях большие отклонения не отбрасываются, а заменяются на ближайšie из оставшихся значений результата измерения, либо включаются в обработку с малыми весовыми коэффициентами. Порядок дальнейшей обработки экспериментальных данных не меняется. Предельным случаем усечения является оставление одного (при нечетном n) или двух (при четном n) значений результата измерения.

Среднее арифметическое не относится к устойчивым (робастным) оценкам. Объясняется это тем, что даже очень редкие большие отклонения (выбросы), не подчиняющиеся нормальному закону распределения вероятности, играют по критерию (3) существенную роль. Операция возведения в квадрат делает их доминирующими среди слагаемых, а эффек-

тивность оценки, полученной методом наименьших квадратов, резко падает.

Ослабление влияния больших отклонений на оценку среднего значения (т.е. повышение ее устойчивости) достигается при синтезе оценки по критерию эффективности, в котором квадратичная зависимость заменена на более слабую. Показателем эффективности (мерой рассеяния), в частности, может быть сумма отклонений от среднего значения или некоторая ее функция. Оценки, синтезированные по критерию

$$\sum_{j=1}^n \psi(\hat{Q}_j - \bar{Q}) = \min,$$

называются M-оценками. Функция $\psi(\hat{Q}_j - \bar{Q}) \geq 0$ при малых значениях аргумента выбирается близкой к квадратичной, а при больших – возрастающей медленнее, чем квадратичная. В зависимости от вида этой функции различают робастные оценки Хубера, Хампела, Андрюса, Тьюки и другие. Все они слабо зависят от выбросов и отклонений от нормального закона определения вероятности, а в случае, когда результат измерения подчиняется нормальному закону, близки к оценке среднего значения, полученной методом наименьших квадратов.

Разновидностью M-оценок являются I^P -оценки, получаемые при

$$\psi(\hat{Q}_j - \bar{Q}) = |\hat{Q}_j - \bar{Q}|^P, \quad 1 \leq P < 2.$$

В отличие от перечисленных M-оценок они более эффективны вблизи других законов распределения вероятности, отличных от нормального. В частности, I^1 -оценка, или оценка наименьших модулей, получаемая из условия

$$\sum_{j=1}^m |\hat{Q}_j - \bar{Q}| = \min$$

и совпадающая с медианой, оптимальна при экспоненциальном законе распределения вероятности результата измерения.

Используются и другие робастные оценки.

3) С невысокой точностью значение измеряемой величины можно установить даже не интересуясь законом распределения вероятности результата измерения. Среднее арифметическое в этом случае может оказаться неэффективной оценкой, но его все равно целесообразно использовать, так как при всех обстоятельствах дисперсия среднего арифметического согласно соотношению (2) в n раз меньше дисперсии результата измерения, оценка которой на основании свойств дисперсии может быть представлена в виде

$$S_Q^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i^2 - \hat{Q}_n^2.$$

Стандартное отклонение среднего арифметического при любом законе распределения вероятности

$$S_{\hat{Q}} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i^2 - \hat{Q}_n^2} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n Q_i^2 - n\hat{Q}_n^2} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i^2 - \hat{Q}_n^2)}.$$

Задавшись доверительной вероятностью P , по нижней кривой на рис. 5 можно определить, на сколько $S_{\hat{Q}}$, среднее арифметическое \hat{Q}_n , может отличаться от среднего значения результата измерения \bar{Q} при любом законе распределения вероятности. С меньшей вероятностью

$$\hat{Q}_n - \varepsilon \leq Q \leq \hat{Q}_n + \varepsilon,$$

где, как обычно, $\varepsilon \approx tS_{\hat{Q}}$ – половина доверительного интервала. Соответствующий порядок действий показан на рисунке 2.

1.5 Обеспечение требуемой точности измерений

Многokратное измерение одной и той же величины постоянного размера позволяет обеспечить требуемую точность. Поскольку ширина доверительного интервала зависит от количества экспериментальных данных, то, увеличивая n , можно добиться выполнения наперед заданного условия $\varepsilon \leq \varepsilon_0$

Упрощенный алгоритм обработки экспериментальных данных в этом случае показан на рисунке 9.

Пример 4. В таблице 5 приведены 10 независимых числовых значений результата измерения линейного размера (в сантиметрах).

Таблица 5 – Значения результата измерения линейного размера

i	l_i	$l_i - \hat{l}_{10}$	$(l_i - \hat{l}_{10})^2$
1	392	0	0
2	391	-1	1
3	395	3	9
4	392	0	0
5	389	-3	9
6	396	4	16
7	389	-3	9
8	389	-3	9
9	393	1	1
10	394	2	4

Определить его длину, если с вероятностью 0,95 точность измерения должна быть не ниже $2\varepsilon_0=2$ см.

Решение

1. Используя вспомогательные вычисления, сведенные в таблице 5, получим

$$\hat{l}_{10} = 392; S_1 = 2,5.$$

2. Больше чем на $3 S_1=7,5$ от среднего арифметического не отличается ни одно из числовых значений результата измерения. Таким образом, следует признать, что ошибок нет.

3. Допустим, есть основание полагать, что результат измерения подчиняется нормальному закону распределения вероятности.

4. Стандартное отклонение среднего арифметического

$$S_{\hat{l}} = \frac{2,5}{\sqrt{10}} \approx 0,79.$$

5. При $n=10$ и $P=0,95$ по графику на рисунке 8 находим $t=2,3$.

6. Так как $\varepsilon = tS_{\hat{Q}} = 1,82 > \varepsilon_0 = 1$, то необходимо увеличить количество экспериментальных данных.

7. Пусть $l_{11}=390$. Тогда $\hat{l}_{11} = 391,8; S_1 = 2,48$.

8. Для проверки нормальности закона распределения вероятности результата измерения используем составной критерий. При $n=11$ и любой вероятности в таблице 4

$$d_{\min} < d = 0,8526 < d_{\max}$$

и ни одно из числовых значений l_i не отличается от $391,8$ больше чем на $2,5S_1=6,2$. Таким образом, результаты проверки не противоречат гипотезе о том, что результат измерения подчиняется нормальному закону распределения вероятности.

9. Стандартное отклонение среднего арифметического при $n=11$

$$S_{\hat{l}} = \frac{2,48}{\sqrt{11}} \approx 0,75.$$

Увеличивается массив экспериментальных данных

Исходные данные:
 $Q_{ie} \{1, \dots, n\}: n; P; 2\varepsilon_0$

Q_i отбрасывается

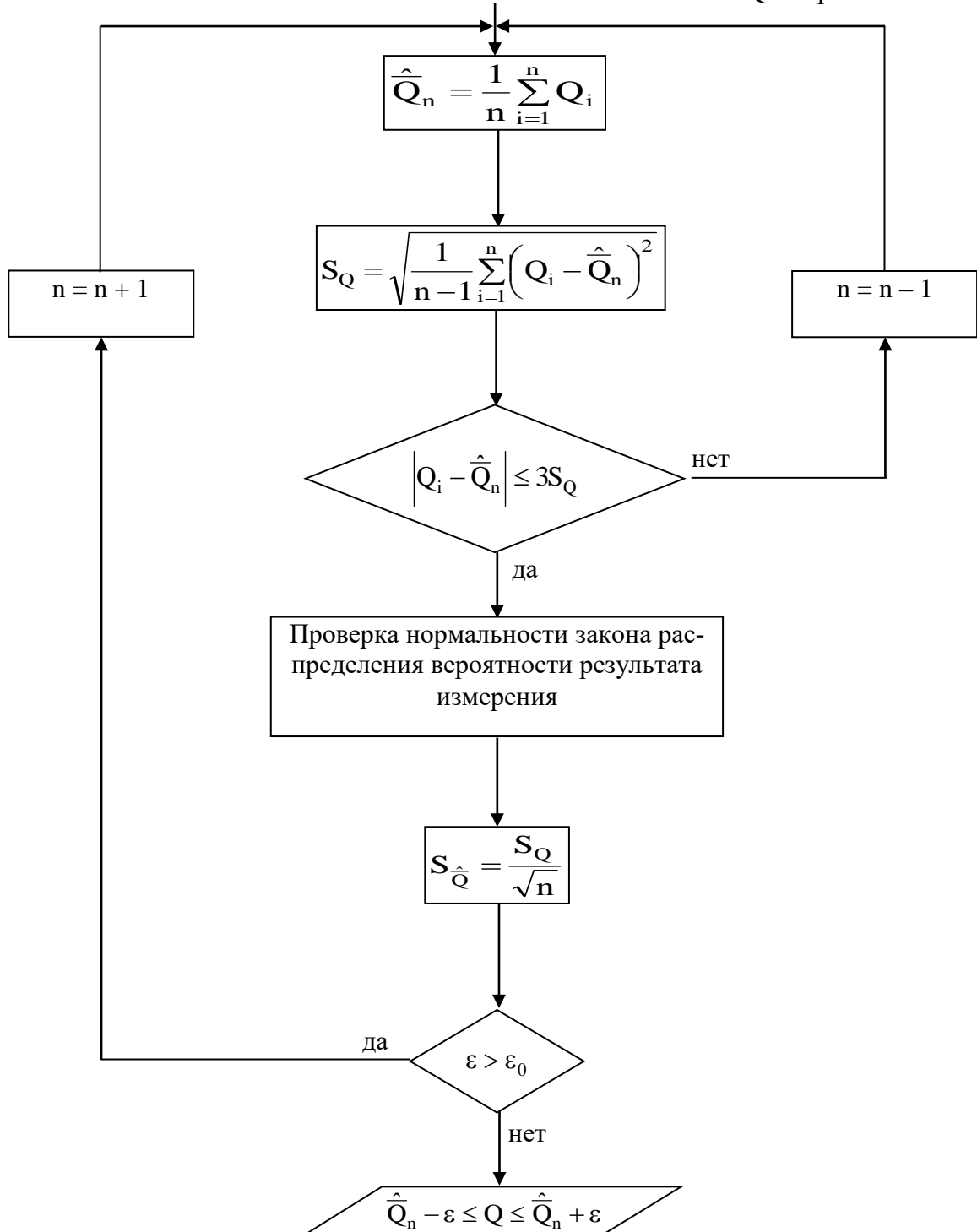


Рисунок 9 – Обеспечение требуемой точности при многократном измерении

10. При $n=11$ и $P=0,95$ $t=2.2$. Так как

$$\varepsilon = tS_{\hat{Q}} = 1,65 > \varepsilon_0 = 1,$$

то необходимо еще больше увеличить количество экспериментальных данных.

11. Результаты последующих действий приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчетов

n	l_n	\hat{l}_n	S_l	$S_{\hat{l}}$	t	ε
12	392	391,8	2,37	0,68	2,2	1,5
13	391	391,8	2,29	0,63	2,2	1,4
14	395	392	2,35	0,63	2,15	1,35
15	391	391,9	2,28	0,59	2,15	1,27
16	393	392	2,22	0,56	2,15	1,2
17	391	391,9	2,23	0,54	2,1	1,13
18	394	392	2,16	0,51	2,1	1,07
19	392	392	2,15	0,49	2,1	1,04
20	392	392	2,14	0,48	2,1	1,01
21	391	392	2,13	0,47	2,1	0,98

Таким образом, потребовалось получить 21 числовое значение результата измерения для того, чтобы с вероятностью 0,95 установить, что $391 \text{ см} < l < 393 \text{ см}$. Трудоемкость подобной работы требует автоматизации измерений и обработки экспериментальных данных.

На практике беспредельно повышать таким способом точность измерения не удастся, так как рано или поздно определяющим становится не рассеяние отсчета и, следовательно, показания средства измерений, а недостаток информации (выражающийся, например, в незнании точного значения – поправок и т.п.). Накапливать экспериментальные данные и уменьшать за счет этого стандартное отклонение среднего арифметиче-

ского значения показания имеет смысл лишь до тех пор, пока по критерию (5) им нельзя пренебречь по сравнению с аналогом среднего квадратического отклонения, учитывающим дефицит информации (рисунок 10). Точность многократного измерения, следовательно, ограничивается дефицитом информации.

$$u_i \leq \frac{1}{3} u. \quad (5)$$

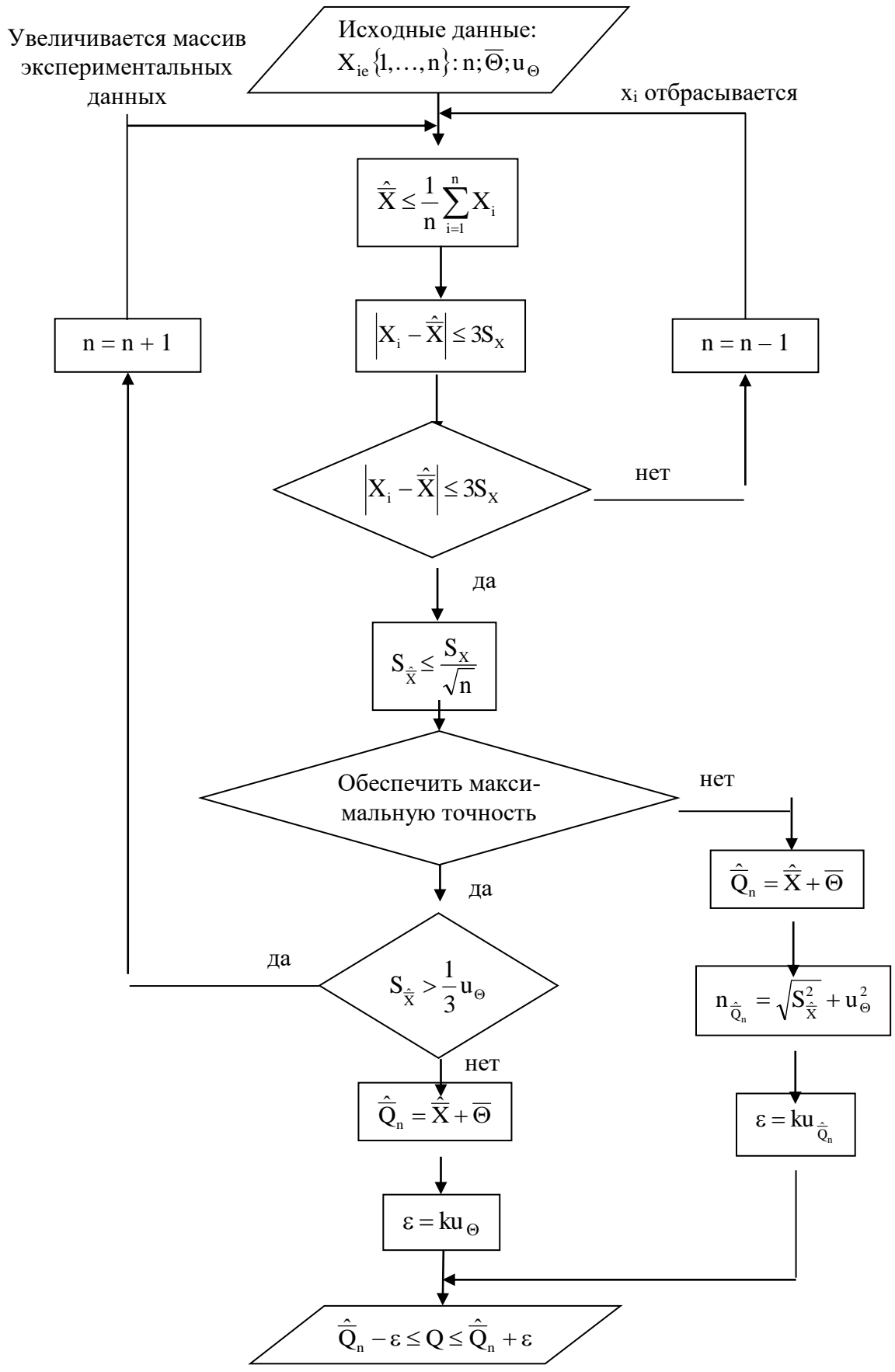


Рисунок 10 – Обработка экспериментальных данных при
дефиците информации

2 Варианты заданий и форма отчетности

Задача 1. При многократном измерении одной и той же физической величины постоянного размера с равноточными значениями отсчета получили 50 независимых значений результата измерений (поправки внесены). Определить результат измерения.

Таблица 7 – Исходные данные

Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.25	1.23	1.23	1.24	1.23	1.23	1.24	1.24	1.24	1.21
1	1.23	1.25	1.22	1.24	1.23	1.25	1.22	1.22	1.21	1.22
2	1.23	1.22	1.22	1.26	1.23	1.24	1.24	1.21	1.20	1.21
3	1.22	1.25	1.26	1.26	1.23	1.23	1.23	1.23	1.21	1.20
4	1.23	1.24	1.25	1.22	1.24	1.23	1.25	1.25	1.24	1.23
5	1.26	1.26	1.25	1.23	1.24	1.25	1.26	1.20	1.25	1.25
6	1.25	1.24	1.26	1.22	1.23	1.24	1.24	1.21	1.25	1.25
7	1.24	1.25	1.27	1.23	1.22	1.24	1.22	1.23	1.24	1.24
8	1.24	1.26	1.24	1.24	1.21	1.25	1.24	1.22	1.22	1.23
9	1.23	1.20	1.23	1.22	1.21	1.23	1.26	1.23	1.23	1.23

Указания к решению задачи.

Массив экспериментальных данных формируется из пяти серий (таблица 7) по десять значений результатов измерений в каждой серии (с первого и по десятое, т.е. нулевое) следующим образом: студент выбирает первую серию в строке, соответствующей предпоследней цифре шифра, вторую, третью и четвертую серии в трех ниже (или выше) следующих строках, пятую – в столбце, соответствующем последней цифре

шифра. Например, цифре 50435 соответствуют серии: первая – в строке 3; вторая, третья, четвертая – строках 4,5,6, а пятая – в столбце 5.

Первый замкнутый цикл алгоритма служит для обнаружения и исключения грубых ошибок по правилу «трех сигм».

Если число полученных значений больше 40, то дальнейшая обработка должна выполняться по левой ветви алгоритма.

Проверка соответствия экспериментальных данных нормальному закону распределения вероятности результата измерения производится по критерию К. Пирсона.

Наглядность отображения гистограммой закона распределения вероятности результата измерения зависит от соблюдения следующих правил при построении гистограммы:

- интервалы, на которые разбивается ось абсцисс, следует выбирать одинаковыми;
- число интервалов разбиения выбирается в пределах 7...9;
- масштаб гистограммы назначается так, чтобы ее высота относилась к основанию примерно, как 5 к 8.

Дальнейшая обработка данных проводится в зависимости от результатов проверки нормальности закона распределения вероятности, согласно алгоритму, приведенному на рисунке 2.

Задача 2. В таблице 7 приведены 100 независимых числовых значений результата измерения напряжения постоянного тока (в вольтах).

Определить напряжение, если с вероятностью P точность измерений должна быть не ниже $2\varepsilon_0$. Значения P и $2\varepsilon_0$ приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Исходные данные

Данные	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P	0.9			0.95			0.97			
$2\varepsilon_0, B$	0.02						0.04			

Свои исходные данные из таблицы 7 студент находит, начиная с цифры, расположенной на пересечении столбца, соответствующего последней цифре шифра, и строки, соответствующей предпоследней цифре шифра, после чего использует все последующие цифры столбца с переходом на последующий столбец.

Считать, что результат измерений напряжения подчиняется нормальному закону распределения вероятности.

Указания к решению задачи.

Для обеспечения требуемой точности при многократном измерении следует применить алгоритм расчета, приведенный на рисунке 9.

Взяв первые 10 числовых значений результата измерений, рассчитать оценку среднего значения и стандартного отклонения показаний, что позволит проверить ряд на наличие ошибок.

Расчет половины доверительного интервала ε позволит сравнить ее с ε_0 , что даст возможность сделать вывод о необходимости увеличения экспериментальных данных, после чего следует повторить расчеты, используя методику, рассмотренную в примере 4.

Наращивание количества экспериментальных данных следует продолжать до обеспечения требуемой точности.

3 Контрольные вопросы

1. Как выполняется многократное измерение с равноточными значениями отсчета?
2. От чего зависит точность результата многократного измерения?
3. Какая задача называется задачей синтеза оптимальной оценки среднего значения и на чем основан метод ее решения?
4. Каким трем требованиям должны удовлетворять точечные оценки числовых характеристик?
5. Какие критерии согласия, по которым проверяются гипотезы о соответствии экспериментальных данных тому или иному закону распределения вероятности результата измерения вы знаете?
6. Каким образом производится проверка нормальности закона распределения вероятности результата измерения?
7. Какие ошибки возможны при использовании критерия К. Пирсона?
8. Каким образом производится обработка экспериментальных данных, подчиняющихся нормальному закону распределения вероятности?
9. Каким образом производится обработка экспериментальных данных, не подчиняющихся нормальному закону распределения вероятности?
10. Что вы понимаете под термином «робастные оценки»?
11. Какие робастные оценки вы знаете?
12. Каким образом производится обработка экспериментальных данных при дефиците информации?

Литература

Основная литература

1 Коротков, В. С. Метрология, стандартизация и сертификация : учебное пособие / В. С. Коротков, А. И. Афонасов. — Томск : Томский политехнический университет, 2015. — 187 с. — ISBN 978-5-4387-0464-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/34681.html>. — Режим доступа: для авторизированных пользователей

2 Воробьева, Г. Н. Метрология, стандартизация и сертификация : учебное пособие / Г. Н. Воробьева, И. В. Муравьева. — М. : Издательский Дом МИСиС, 2015. — 108 с. — ISBN 978-5-87623-876-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/57097.html>. — Режим доступа: для авторизированных пользователей

Дополнительная литература

1 Метрология, стандартизация и сертификация : Учебник / под ред. А.И. Аристова. — М. : Академия, 2008

2 Метрология, стандартизация, сертификация : учебно-методическое пособие / И. А. Фролов, В. А. Жулай, Ю. Ф. Устинов, В. А. Муравьев. — Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 127 с. — ISBN 978-5-89040-551-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/55012.html>. — Режим доступа: для авторизированных пользователей

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждения
высшего образования
«Северо-Кавказский федеральный университет»
Невинномысский технологический институт (филиал)

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по дисциплине
«Метрология, стандартизация и сертификация»

Методические указания к выполнению лабораторных
работ для студентов направления подготовки
09.03.02 «Информационные системы и технологии»
Всех форм обучения

Невинномысск 2026 г.

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта в части содержания и уровня подготовки выпускников направления 09.03.02 «Информационные системы и технологии» предназначены для студентов очной и заочной формы обучения и содержат основы теории, порядок выполнения лабораторных работ и обработки опытных данных, перечень контрольных вопросов для самостоятельной проверки.

Составитель:
Рецензент:

Д.В. Болдырев
А.А. Евдокимов

Содержание

ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

Лабораторная работа №1	4
Лабораторная работа №2	14
Лабораторная работа №3	18
Лабораторная работа №4	24
Лабораторная работа №5	32
Лабораторная работа №6	38
Лабораторная работа №7	42

Введение

Дисциплина «Метрология, стандартизация и сертификация» ставит своей целью формирование следующих компетенций будущего бакалавра по направлению подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии»

Код	Формулировка
ОПК-4	Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью с использованием стандартов, норм и правил

Главными задачами дисциплины являются:

- формирование инженерного мышления, позволяющего понимать влияние метрологических характеристик современных технических средств автоматизации на научно-техническое развитие промышленности, на рациональное использование сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, на развитие современных систем и технологий;
- формирование навыков проведения метрологических исследований, использования современных технических средств автоматизации.

В результате освоения дисциплины студент должен:

- подходы к повышению качества продукции, производственных и технологических процессов; принципы постановки целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определения приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, разработки проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров; принципы саморазвития и самореализации;
- уметь организовывать мероприятия по техническому и информационному обеспечению разработки, испытаний и эксплуатации производственных и технологических процессов; разрабатывать проекты модернизации действующих производств и создания новых, разрабатывать средства и системы автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями; использовать собственный творческий потенциал;

- владеть навыками планирования работ по стандартизации и сертификации продукции, а также актуализации регламентирующей документации; стандартными средствами автоматизации расчетов и проектирования; навыками самообразования.

ТЕМА 1. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

Лабораторная работа № 1

Определение метрологических характеристик амперметра и вольтметра на постоянном токе

Цель работы: Освоить методику поверки средств измерений амперметра и вольтметра на постоянном токе. Приобрести навыки расчета допустимой относительной погрешности для поверяемых приборов и образцовых средств измерений. Определить входные сопротивления поверяемых приборов и оценить их влияние при измерениях.

1. Теоретические основы

Поверкой средств измерений называют совокупность действий, выполняемых для определения его метрологических характеристик.

Поверку средств измерений производят при нормальных условиях, оговоренных в технических условиях на поверяемый прибор класс точности образцовых средств измерений используемых при поверке должен быть в 3 – 5 раз выше точности поверяемых приборов.

Вычисления погрешности средств измерений производят пользуясь следующими формулами:

$$\Delta = A - A_0; \quad \delta = \pm \frac{\Delta}{A_0} * 100\%; \quad \gamma = \pm \frac{\Delta}{A_N} * 100\%$$

где

A – измерительное значение физической величины;

A_0 – действительное значение физической величины;

A_N – предельное значение измерительной величины;

Δ - абсолютная погрешность;

δ - относительная погрешность;

γ - приведенная относительная погрешность №.

В качестве действительного значения физической величины принимают показания образцового прибора.

Вариация показаний средств измерений (обычно определяется для стрелочных приборов). Рассчитывается по формуле:

$$\gamma_B = \frac{A_H - A_B}{A_H} * 100 \%$$

где

A_H и A_B - показания прибора при подходе «снизу вверх» и «сверху вниз».

Для исключения погрешности от вариации показания складываются и делятся на 2.

В случае, когда погрешность измерений прибора не зависит от действительного значения измеряемой величины, такую погрешность называют аддитивной.

Если погрешность прибора зависит только от действительного значения измеряемой величины, то такую погрешность называют мультипликативной.

Обычно для стрелочных приборов указывают класс точности. Под классом точности подразумевается относительная погрешность прибора в конечной точке шкалы прибора.

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_N}$$

Так как никаких других указаний от зависимости погрешности прибора при измерении в других точках шкалы нет, то для определения относительной погрешности в других точках шкалы определяют по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta}{A_0}$$

Так при классе прибора 1,5% на середине шкалы $\delta = 3\%$, а при измерении на точке 0,1 шкалы $\delta = 15\%$.

Следует учитывать, что погрешность измерений может существенно возрастать от внутренних сопротивлений приборов. Если внутреннее сопротивление вольтметра соизмеримо с выходным сопротивлением измеряемой схемы, то погрешность измерений может существенно превышать погрешности нормируемую для прибора. Для того, чтобы этого влияния не было, входное сопротивление вольтметра должно быть на 3,4 порядка выше выходного сопротивления схемы. Аналогично большое

сопротивление амперметра, соизмеримо с выходным сопротивлением измеряемой схемы приведет к изменению тока в измеряемой схеме и вызовет большую погрешность измерения.

2. Порядок выполнения работы

2.1. Собирают схему приведенную ниже на рис. 1

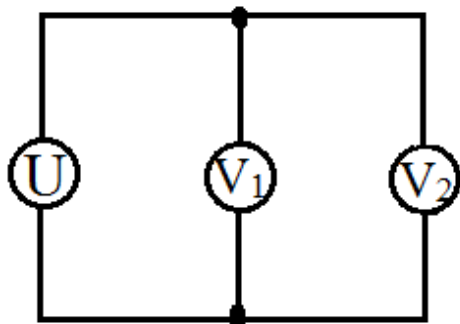


Рис. 1 Схема проверки вольтметра

U – регулируемый источник 0 – 15 В;

V₁ – проверяемый вольтметр;

V₂ – образцовый вольтметр Щ68003.

Проверку прибора проводят в точках 3, 6, 9, 12, 15 В.

В начале проводят измерения в точках при увеличении напряжения, затем в тех же точках при уменьшении напряжения. Показания в точке при подъеме напряжения и при уменьшении складывают и делят на 2. Затем определяют допустимую относительную погрешность в точках для проверяемого прибора, для образцового прибора.

Рассчитывают фактическую погрешность проверяемого прибора в точках и делают заключение о пригодности проверяемого прибора и о достаточном запасе точности образцового прибора, необходимом при проверке.

2.2 Прямая проверка амперметра

Собирают схему приведенную ниже на рис. 2

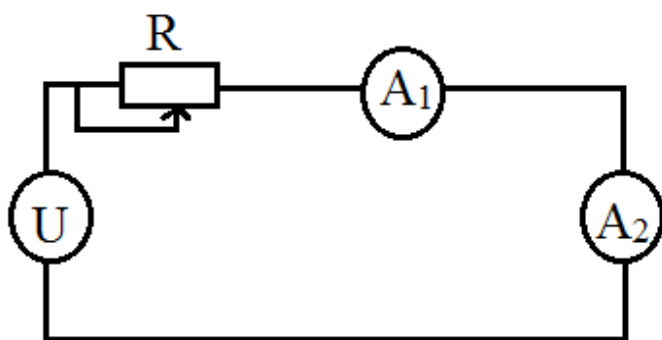


Рис. 2 Схема поверки амперметра

U – регулируемый источник 0 – 15 В;

R – реостат 0 – 50;

A₁ – поверяемый амперметр;

A₂ – образцовый прибор Щ68003.

Поверку прибора проводят в точках 30, 60, 90, 120, 150 мкА.

Перед проверкой устанавливают на источнике напряжение максимальное и минимальное сопротивление реостата. Затем включают источник и регулируют реостат так, чтобы обеспечивался ток намного больше крайней точки показания поверяемого прибора. Далее повторяют операции, которые выполнялись при проверке вольтметра.

2.3 Поверка амперметра косвенным методом

Собирают схему приведенную ниже на рис. 3

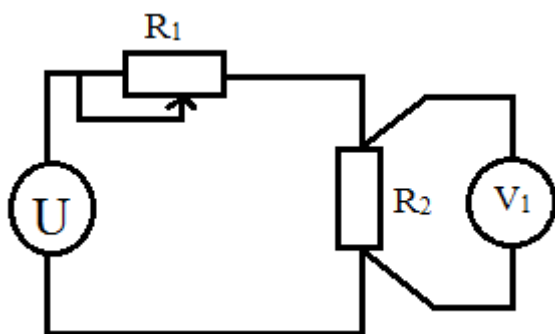


Рис. 3 Схема поверки амперметра косвенным методом

U – регулируемый источник напряжения;

R₁ – реостат 0 – 50;

R_2 – образцовая катушка 1

A_1 – поверяемый амперметр;

V_1 – образцовый вольтметр Щ68003.

Далее повторяют все операции аналогично предыдущим. Прибор Щ68003 устанавливают на предел 100мВ.

2.4 Определение входного сопротивления вольтметра

Собирают схему приведенную ниже на рис. 4

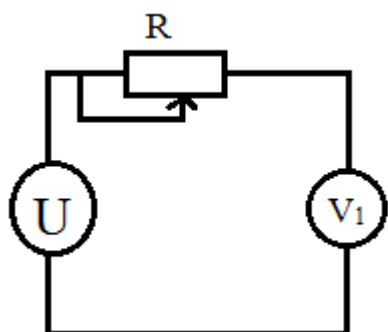


Рис. 4 Схема определения входного сопротивления вольтметра

U – регулируемый источник;

R – магазин сопротивлений;

V_1 – поверяемый прибор;

Р33.

При включении сопротивление магазина установить "0". Источником напряжения устанавливают показание прибора 15 В. Измеряя сопротивление магазина добавить показания вольтметра 7,5 В. Сопротивление входное вольтметра равно сопротивлению установленному на магазине.

2.5 Определение входного сопротивления амперметра

Собирают схему приведенную ниже на рис. 5

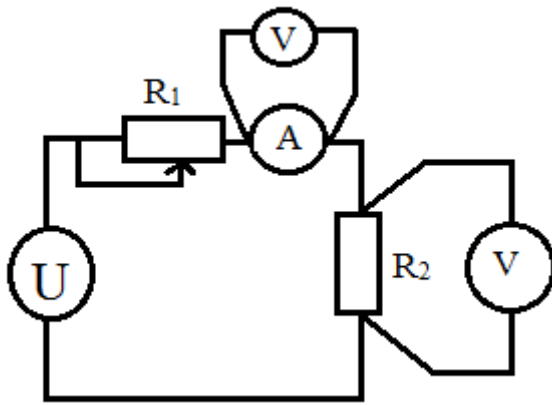


Рис. 5 Схема проверки амперметра косвенным методом

U – регулируемый источник;

R₁ – реостат;

R₂ – образцовая катушка 1

A – поверяемый амперметр;

V – вольтметр Щ68003.

С помощью реостата и регулируемого источника установите ток равный 150 мА (напряжение на катушке должно быть 150 мВ). Измерьте напряжение на зажимах амперметра. Определите входное сопротивление по формуле:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U_A}{0,15 \text{ A}}$$

Результат измерений записать в табл. 1 и табл. 2.

Таблица поверки вольтметра

Поверяемая точка	Допустим. относит. погрешн. поверяем. прибора	Показ. прибора при подх. снизу	Показ. прибора при подх. сверху	Фактич. относит. погрешн. поверяем. прибора	Отношение допустим. относит. погрешн. повер. прибора к относит. погрешн. образцовог. прибора	Заклчение о пригодности прибора	Допустим. погрешн. образцового прибора
3 В							
6 В							
9 В							

12 В							
15 В							

Таблица поверки амперметра

Поверяемая точка	Допустим. относит. погрешн. поверяем. прибора	Показ. прибора при подх. снизу	Показ. прибора при подх. сверху	Фактич. относит. погрешн. поверяем. прибора	Отношение допустим. относит. погрешн. повер. прибора к относит. погрешн. образцовог. прибора	Заключение о пригодности прибора	Допустим. погрешн. образцового прибора
30 мА							
60 мА							
90 мА							
120 мА							
150 мА							

3. Определение результатов работы

По результатам работы составляют краткий отчет, который должен содержать:

1. Цель и теоретические основы работы.
2. Таблицы с результатами эксперимента.
3. Рассчитанные значения метрологических характеристик и оценку класса точности приборов, входные сопротивления поверяемых приборов.
4. Выводы, вытекающие из результатов работы.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое "класс точности" средства измерения?
2. Что такое «поправка» к показаниям средств измерения", как она определяется?
3. Каким требованиям должны отвечать образцовые средства измерений?

Литература

1. Димов Ю. В. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник для вузов. 3-е изд. - СПб.: Питер, 2010 - 464 с.
2. Тартаковский Д. Ф., Ястребов А. С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений. Учеб. для вузов. - М.: Высш. шк. 2001 - 63 с.
3. Зимельман М. А. Метрологические основы технических измерений. - М.: Изд. стандартов, 1991.

Лабораторная работа №2

Проверка цифрового вольтметра Щ68003 и моста постоянного тока МО – 62, Р333 с помощью образцовых мер сопротивления.

Цель работы: провести поверку мостов постоянного тока МО – 62, Р333, омметра Щ68003 с помощью образцовых катушек в диапазоне от 0,1 Ом до 1 МОм.

1. Теоретические основы.

Измерение сопротивлений может производиться мостовым методом, аналоговыми омметрами, методом замещения, цифровыми омметрами.

При измерении сопротивлений мостовым методом используется схема на рис. 1.

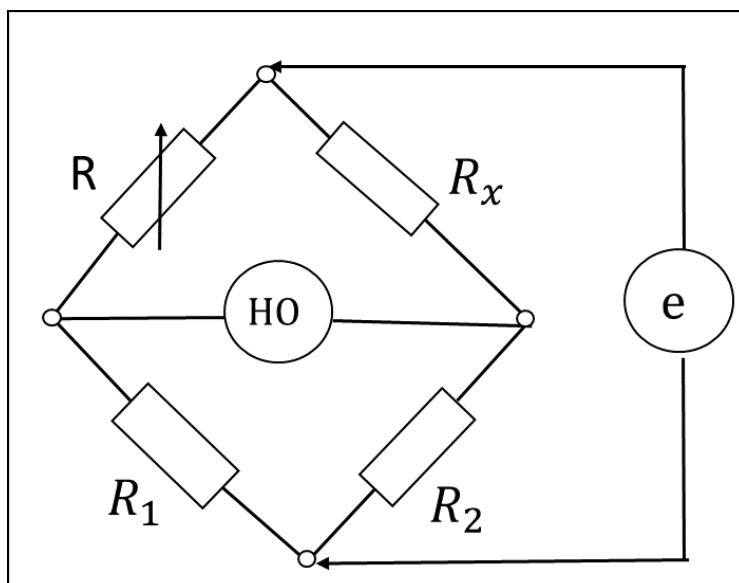


Рис. 1. Схема измерения сопротивлений мостовым методом
 R_1, R_2 – резисторы равного сопротивления точно подогнанные;
 R – магазин сопротивлений;
НО – нулевой орган (гальванометр);
е – источник, питающий схему.

Измерение производится путем балансирования схемы, когда гальванометр имеет нулевое показание, тогда измеряемое сопротивление будет равно сопротивлению магазина. Благодаря тому, что обе цепи моста запитаны от одного источника, изменение его напряжения не влияет на баланс моста и не вносит погрешности в процесс измерения. Погрешность

такого метода измерения определяется погрешностью магазина сопротивлений и чувствительностью гальванометра.

При измерении сопротивлений цифровыми приборами используется преобразователь сопротивлений в напряжение, которое будет пропорционально измеряемому сопротивлению.

Схема преобразователя приведена на рис. 2.

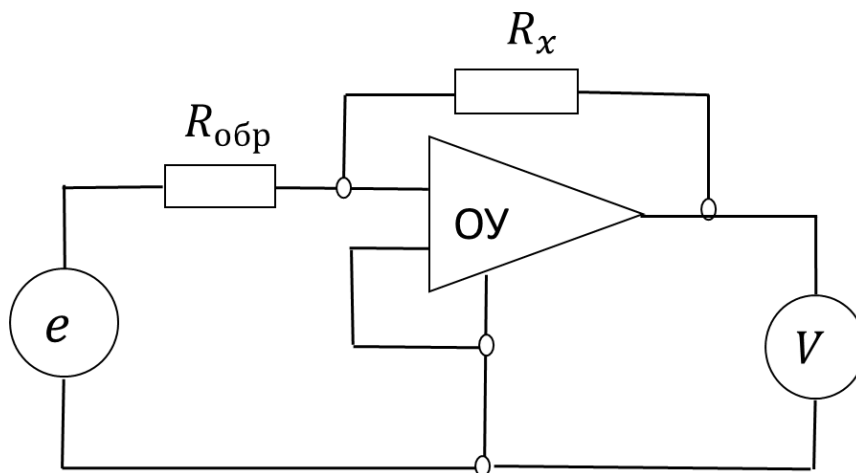


Рис. 2. Схема преобразователя сопротивления в напряжение

e – образцовый источник напряжения;

$R_{обр}$ – образцовое сопротивление;

R_x – измеряемое сопротивление;

$У$ – операционный усилитель;

V – цифровой вольтметр.

Образцовый источник и образцовое сопротивление, а также цифровой вольтметр вносят погрешность при измерении сопротивлений. В настоящее время существуют стабилитроны, обеспечивающие временную стабильность температурный коэффициент на уровне 0,0005%, образцовые сопротивления так же мало зависят от времени и температуры, аналого – цифровые преобразователи имеют погрешность на уровне 0,001%. Этот метод позволяет существенно увеличить точность измерения сопротивлений.

Имеющиеся мосты позволяют производить измерение сопротивлений с точностью 0,1 – 0,5%. Прибор Щ68003 позволяет измерять сопротивления с точностью до 0,06%. Образцовые меры сопротивления имеют погрешность 0,01 – 0,005%. С их помощью можно поверять как мостовые схемы, так и прибор Щ68003.

2. Порядок выполнения работы.

Поверка мостов М062 и Р333 осуществляется в точках 0,0152; 0,152; 1,052; 1052; 10052; 100052; 1000052; 10000052; 100000052.

При измерении малых сопротивлений существенную погрешность могут вносить соединительные провода. Для устранения влияния соединительных проводников используется 4 – х проводная схема измерения. При измерении больших сопротивлений значительную погрешность можно получить за счет влияния электронных помех. Для устранения влияния электрических помех измеряемое сопротивление надо экранировать.

Поверка мостов постоянного тока МО – 62, Р333, омметра Щ68003 с помощью образцовых катушек (в диапазоне от 0,1 Ом до 1 МОм) проводится по поверяемым точкам указанным в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1

Поверяемая точка, Ом	Плечо отношения	Напряжение источника	Допустимая относительная погрешность моста	Фактическая относительная погрешность моста	Заключение поверки
0,1					
1,0					
10,0					
100,0					
1000,0					
10000,0					
100000,0					
1000000,0					

Таблица 2

Предел измерения	Поверяемая точка	Напряжение источника	Допустимая относительная погрешность моста	Фактическая относительная погрешность моста	Заключение поверки
1КОм	10 Ом 100 Ом 1000 Ом				
10КОм	100 Ом 1000 Ом 10000 Ом				
100КОм	1000 Ом 10000 Ом 100000				

	Ом				
1МОм	10000 Ом 100000 Ом 1000000 Ом				
10МОм	100000 Ом 1000000 Ом 10000000 Ом				

3. Оформление результатов работы.

По результатам работы составляют краткий отчет, который должен содержать:

1. Цель и теоретические основы работы.
2. Таблицы с результатами экспериментальных данных.
3. Рассчитанные значения метрологических характеристик и оценку погрешностей.
4. Выводы, вытекающие из результатов работы.

4. Контрольные вопросы.

1. Какие факторы влияют на погрешность измерения мостовым методом?
2. Объясните принцип измерения сопротивления мостовым методом?
3. Объясните принцип измерения сопротивления путем преобразования сопротивления в напряжение?
4. Объясните полученные в табл. 1 значения относительной погрешности от величины сопротивления в поверяемой точке?
5. Объясните полученные в табл. 2 значения относительной погрешности от величины сопротивления в поверяемой точке?

Литература

1. Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие / А.Г. Сергеев, М.В. Латышев, В.В. Терегеря. – М.: Логос, 2003 – 536с.
2. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. для вузов. Изд. Спб.: Питер, 2010 – 464с.
3. Зайцев С.А. Метрология, стандартизация и сертификация в энергетике: учеб. пособие / С.А. Зайцев, А.Н. Толстов, Д.Д. Грибанов, Р.В. Меркулов. – М.: Академия, 2009 – 224с.

Лабораторная работа №3

Измерение напряжения, тока и мощности на переменном токе

Цель работы: ознакомление с методами измерения, тока и мощности на переменном токе.

1. Теоретические основы

Переменный ток характеризуется амплитудой, частотой, сдвигом фаз между напряжением и током (см. рис. 1)

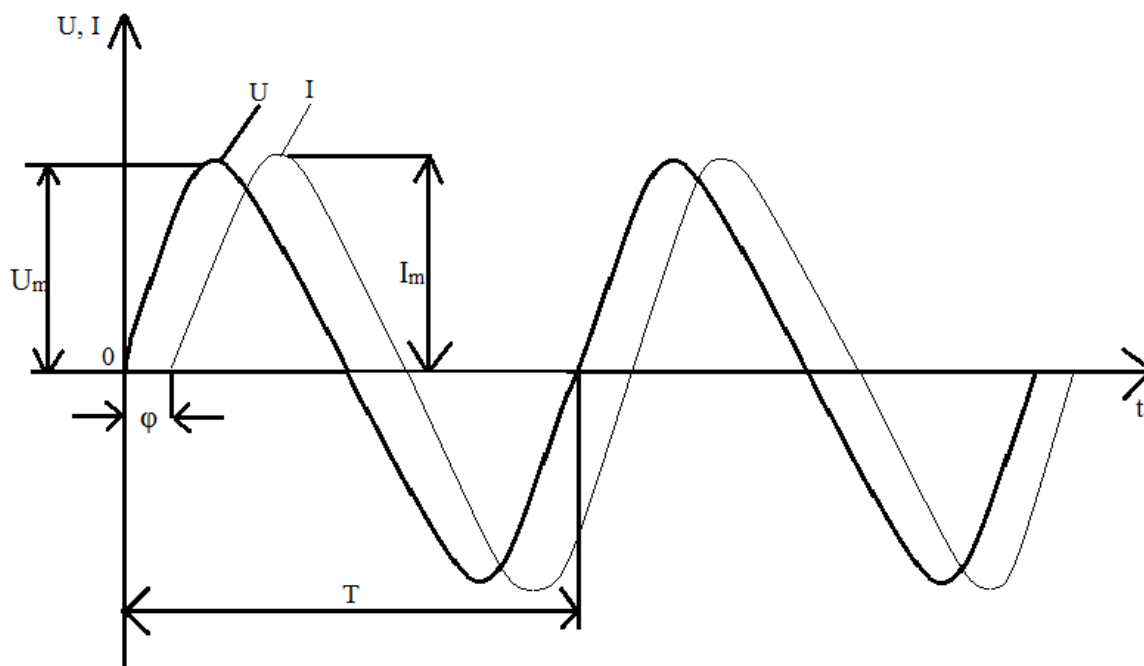


Рис. 1 Параметры, характеризующие переменное напряжение и ток

U_m — амплитуда напряжения;

I_m — амплитуда тока;

T — период;

φ — фазовый угол сдвига между напряжением и током.

Если нагрузка на источник сигнала активная, то напряжение и ток совпадают по фазе. Если нагрузка индуктивная, то ток отстает по фазе от напряжения.

Чисто индуктивная нагрузка увеличивает фазу запаздывания тока от напряжения на 90° . При емкостной нагрузке ток опережает напряжение и при чисто емкостной нагрузке сдвиг по фазе будет равен 90° .

Для переменного напряжения и тока различают амплитудное значение, средне выпрямленное значение и действующие значение.

Под амплитудным значением понимают максимальное отклонение параметра от нуля.

Средневыпрямленное значение параметра является постоянной составляющей, которая определяется по формуле:

$$U_{\text{cp}} = \frac{1}{T} \int_0^T |U(t)| dt$$

Среднеквадратическое значение параметра за период определяется по формуле:

$$U_{\text{д}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt}$$

Это напряжение называют действующим значением. Действующее значение равно такому значению постоянного тока, который обеспечивает эквивалент нагрев нагрузки.

Амплитудное значение больше действующего в $\sqrt{2}$ раз (1,41).

Средневыпрямленное значение больше действующего в 1,11 раза.

Наиболее часто для измерения переменного напряжения и тока используют стрелочные приборы магнито – электрической и электромагнитной систем.

Магнито – электрическая система измеряет только постоянный ток, поэтому при ее использовании необходимо преобразовать переменный ток в постоянный. Это выполняется с помощью полупроводниковых диодов. При этом прибор будет показывать средневыпрямленное значение и для того, чтобы измерить действующее значение, необходимо вводить поправочный коэффициент, или градуировать шкалу в действующих значениях. Электромагнитная система позволяет измерять как постоянный, так и переменный ток. На магнитной системе прибора размещают катушку. На оси стрелки располагается пермалловый лепесток, который втягивается магнитным полем, создаваемым протекающим по катушке током.

При измерении мощности переменного тока значение мощности определяется по формуле:

$$P = U_{\text{д}} I_{\text{д}} \cos\varphi$$

При активной нагрузке $\cos\varphi = 1$.

При полной реактивной нагрузке $\cos\varphi = 0$ и мощность равна нулю, однако реактивные токи создают нагрузку на сеть. Для уменьшения реактивных токов используют компенсирующие конденсаторы.

2. Порядок выполнения работы

2.1 проверка вольтметра переменного тока

Собирают схему приведенную на рис. 2.

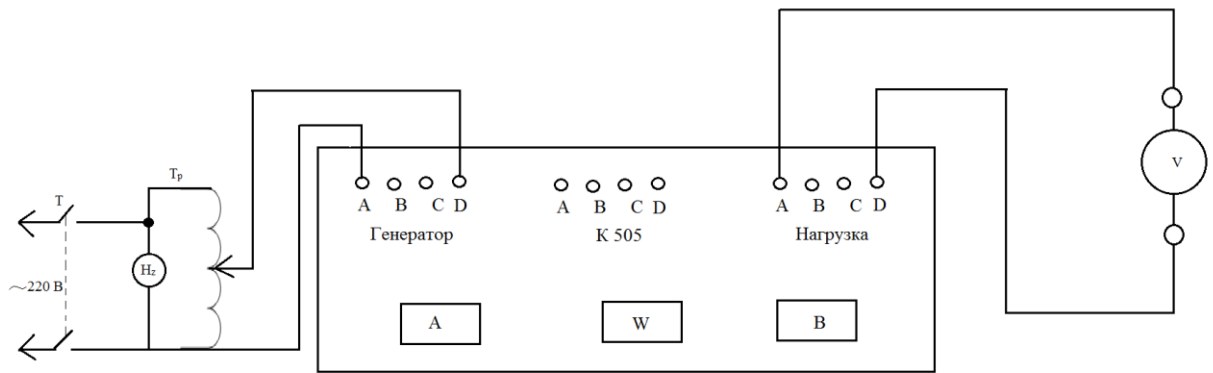


Рис. 2 схема поверки вольтметра переменного тока

T – тумблер;

T_p – лабораторный автотрансформатор;

H_z – частотомер;

V –веряемый вольтметр;

K 505 – поверочная установка.

Для поверки вольтметра используется поверочный комплекс K 505, который включает в себя образцовый вольтметр, амперметр и ваттметр, которые коммутируются в зависимости отверяемых приборов. Комплекс предусматривает работу как в однофазном режиме, так и в трехфазном.

Установка K 505 в данной работе используется в однофазном режиме. Переключатель «V» на вольтметре установить в положение той фазы, на которую подключенверяемый вольтметр.

Включить образцовый прибор на предел измерения, близкий к максимальному значениюверяемого прибора. Установить ручку трансформатора T_p в крайнее левое положение. Включить тумблер T. произвести поверкуверяемого вольтметра в оцифрованных точках. Напряжение устанавливать поворотом ручки трансформатора T_p по часовой стрелке.

Внести показанияверяемого вольтметра в табл. 1 и определить допустимую и фактическую погрешность в оцифрованных точках. Сделать заключение о пригодностиверяемого вольтметра к эксплуатации.

Таблица 1

Поверяемая точка	Показания образцового прибора	Показанияверяемого прибора	Допустимая относительная погрешность	Фактическая относительная погрешность	Заключение

2.2 Поверка амперметра переменного тока

Собрать схему, приведенную на рис. 3

Реостат установить на величину максимального значения сопротивления. Ручку автотрансформатора установить в крайнее левое положение. Переключатель диапазонов амперметра А установить на предел, соответствующий максимальному значению поверяемого прибора.

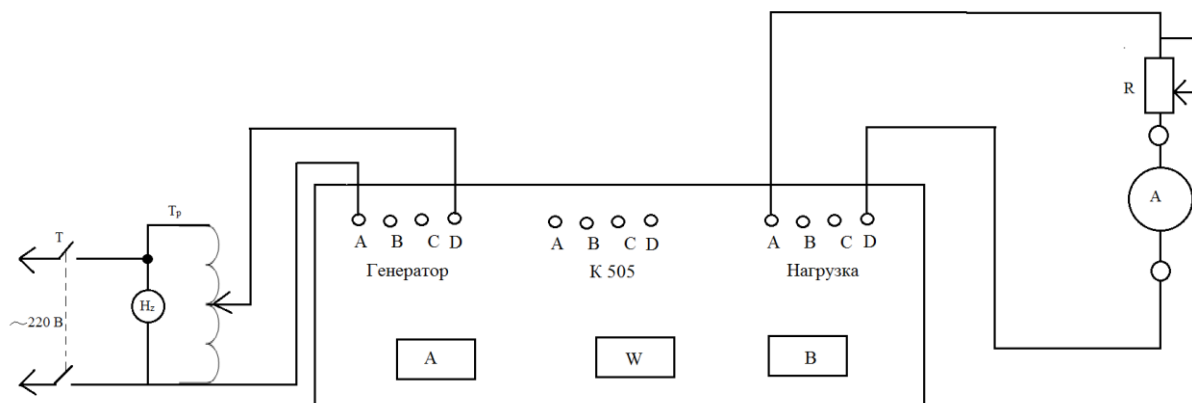


Рис. 3 схема поверки амперметра переменного тока

T – тумблер;

T_p – лабораторный автотрансформатор;

H_z – частотомер;

R – реостат;

A – поверяемый амперметр;

K 505 – поверочная установка.

Включить тумблер. Регулируя ручку трансформатора провести поверку амперметра в оцифрованных точках. В процессе выполнения работы следить за тем, чтобы не перегружались образцовые вольтметр и ваттметр.

Результаты измерений и показания поверяемого амперметра по точкам внести в табл. 2. Определить допустимую и фактическую относительные погрешности в поверяемых точках и дать заключение о пригодности поверяемого прибора к эксплуатации.

Таблица 2

Поверяемая точка	Показания образцового прибора	Показания поверяемого прибора	Допустимая относительная погрешность	Фактическая относительная погрешность	Заключение

2.3 Поверка ваттметра на переменном токе

Собрать схему, приведенную на рис. 4

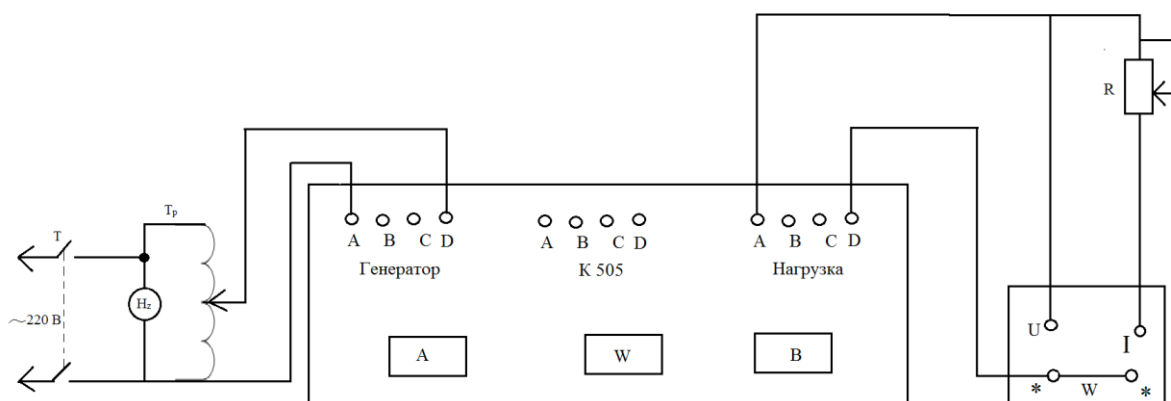


Рис. 4 схема поверки ваттметра

T – тумблер;

T_p – лабораторный автотрансформатор;

H_z – частотомер;

R – реостат;

W – поверяемый амперметр;

К 505 – поверочная установка.

Установить трансформатор в крайнее левое положение, а реостат установить на величину максимального значения сопротивления. Включить тумблер и плавно регулируя трансформатор произвести поверку ваттметра в оцифрованных точках. Результаты измерений и показания поверяемого ваттметра внести в табл. 3.

Таблица 3

Поверяемая точка	Показания образцового ваттметра	Показания поверяемого ваттметра	Допустимая относительная погрешность	Фактическая относительная погрешность	Заключение

3. Оформление результатов работы

По результатам работы составляют краткий отчет, который должен содержать:

1. Цель и теоретические основы работы.
2. Таблицы с результатами экспериментальных данных.

3. Рассчитанные значения метрологических характеристик и оценку погрешностей.

4. Выводы, вытекающие из результатов работы.

4. Контрольные вопросы

1. Перечислите и дайте пояснения параметра, характеризующим переменный ток?

2. Как измеряется мощность переменного тока в зависимости от характеристики нагрузки?

3. Какие факторы влияют на погрешность вольтметра переменного тока?

4. Какие факторы влияют на погрешность амперметра переменного тока?

5. Какие факторы влияют на погрешность измерения мощности на переменном токе?

Литература

1. Димов Ю. В. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник для вузов. 3-е изд. - СПб.: Питер, 2010 - 464 с.

2. Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие / А.Г. Сергеев, М.В. Латышев, В.В. Терегеря. – М.: Логос, 2003 – 536с.

3. Зайцев С.А. Метрология, стандартизация и сертификация в энергетике: учеб. пособие / С.А. Зайцев, А.Н. Толстов, Д.Д. Грибанов, Р.В. Меркулов. – М.: Академия, 2009 – 224с.

Лабораторная работа №4

Расширение пределов измерения измерительных приборов с помощью шунтов и добавочных сопротивлений.

Цель работы: Ознакомиться с конструктивными требованиями к шунтам и добавочным сопротивлениям.

Освоить методику подбора шунтов и добавочных сопротивлений, применяемых для расширения пределов измерения электроизмерительных приборов.

1. Теоретические основы.

В электроизмерительных приборах могут использоваться элементы, расширяющие возможности пределов измерения входных измеряемых величин.

К таким элементам относятся шунты, добавочные сопротивления, переключатели. Шунт представляет собой сопротивление, параллельно которому подключается измерительный механизм прибора. Шунты используются для расширения пределов измерения по току. Измерительный механизм имеет номинальный ток отклонения и внутреннее сопротивление. При измерении тока большой величины необходимо подобрать шунт так, чтобы при измерении входного тока, ток через измерительный механизм прибора не превышал значение номинального тока.

Отношение измеряемого тока к току измерительного механизма называется коэффициентом шунтирования P_L

$$P_L = \frac{I}{I_a},$$

где I – измеряемый ток;

I_a – ток измерительного механизма.

Сопротивление шунта будет равно

$$R_{ш} = \frac{R_a}{P_L - 1}, \text{ Ом} \quad (1)$$

Шунты изготавливают внутренними или наружными. Внутренние шунты размещают внутри измерительного прибора и могут их делать на токи до десятков ампер. Наружные шунты размещаются вне прибора и их выполняют для измерения токов до 10 КА.

С увеличением величины измеряемого тока сопротивление шунтов уменьшается и становится соизмеримым с сопротивлением контактов. Поэтому на большие токи шунты выполняются 4 –х зажимными (токовые и потенциальные зажимы). Токовые зажимы включаются в измерительную цепь, а к потенциальным концам подсоединяется измерительный механизм.

Для того, чтобы шунт не вносил большой погрешности в процессе измерения, его сопротивление не должно зависеть от температуры и от времени. Поэтому шунты выполняются из сплавов, у которых температурная зависимость мала. Обычно, для изготовления шунтов используют манганин. При изготовлении шунт должен пройти «старение», что позволит уменьшить временную зависимость его сопротивления.

Шунты изготавливаются на следующие величины падений напряжения: 15, 75, 100, 150 мВ.

Шунты изготавливаются с точностью (Кл): 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0.

Шунты бывают однопредельными и многопредельными. По конструкторскому решению шунты бывают стержневые, проволочные, пластинчатые и печатные. Подгонку сопротивлений шунтов осуществляют подпиливанием. На печатных шунтах существуют закороченные секции, которые вводят перерезанием закорачивающих перемычек.

Главным условием правильности показаний амперметров с шунтами является постоянство отношений сопротивления рамки R_a и сопротивление шунта $R_{ш}$. Поскольку материалы шунта (манганин) и рамки (медь) обладают разными температурными коэффициентами электропроводности, изменение температуры может вызвать заметные погрешности при измерении тока. Для исключения влияния окружающей температуры на показания амперметра, включенного с шунтом, применяются специальные схемы температурной компенсации.

Добавочные сопротивления.

Для расширения пределов измерения вольтметров применяют специальные сопротивления, называемые добавочными. Добавочные сопротивления r_d включают последовательно с измерительным механизмом и, как правило, помещают внутрь корпуса прибора. При измерении высоких напряжений или при использовании измерительных механизмов с большими номинальными токами, добавочные сопротивления делаются наружными так как

рассеиваемая мощность на добавочном сопротивлении будет нагревать измерительный механизм.

Калиброванные добавочные сопротивления выпускаются для токов 0,5; 1,0; 3; 5; 7,5; 15; 30; 60 мА и могут использоваться с любым измерительным механизмом у которого ток соответствует или меньше тока, выпускаемого добавочного сопротивления.

Добавочные сопротивления изготавливаются из материалов, сопротивление которых мало зависит от температуры.

Для приборов переменного тока намотка добавочных сопротивлений делается бифилярной для улучшения частотных свойств. Намотка может выполняться как на цилиндрических каркасах, так и на пластинчатых. Пластинчатые каркасы обладают большей теплоотдачей.

В качестве материалов, для каркасов, используются текстолит, гетинакс, фарфор и другие пластмассы.

Для того, чтобы рассчитать величину добавочного сопротивления для прибора на номинальное натяжение, необходимо знать:

- 1) Номинальный ток измерительного механизма;
 - 2) Сопротивление измерительного механизма;
 - 3) Напряжение, до которого расширяется предел измерения прибора.
- Исходя из того, что ток измерительного механизма должен быть такой же, как при расширенном пределе

$$I_v = \frac{U_v}{r_v} = \frac{U}{r_v + r_d} = \frac{mU_v}{r_v + r_d}, \text{ отсюда}$$

$$r_d = \frac{U}{I_v} - r_v = \frac{mU_v}{I_v} - r_v = mr_v - r_v = r_v(m - 1), \quad (2)$$

Где I_v – номинальный ток измерительного механизма;

U_v – номинальное напряжение на измерительном механизме;

r_v – сопротивление измерительного механизма;

U – номинальное напряжение расширенного диапазона;

$m = \frac{U}{U_v}$ – множитель, показывающий во сколько раз номинальное напряжение расширенного диапазона больше номинального напряжения измерительного прибора.

2. Порядок выполнения работы.

Перед проведением работ ознакомиться с приборами, необходимыми для выполнения работы, определить номинальные величины измеряемых сигналов и классы точности приборов.

2.1. Создание амперметра с пределом измерения 1А и классом точности 1,0.

Собрать схему приведенную на рис. 1.

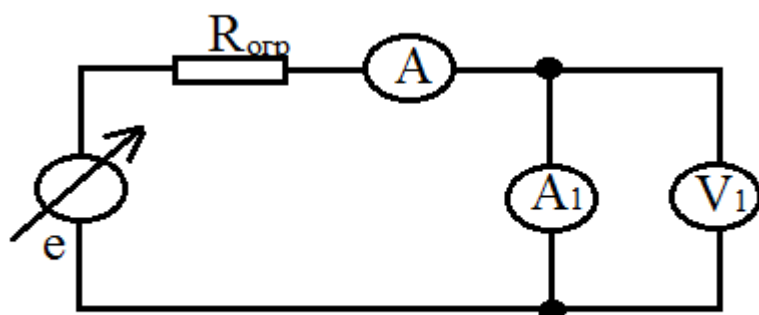


Рис. 1. Схема для измерения тока до 1А

e – регулируемый источник напряжения 0 – 25В.

A – образцовый амперметр;

A₁ – измерительный прибор (механизм);

V₁ – образцовый вольтметр с высоким входным сопротивлением;

R_{орг} – ограничительный резистор (магазин R33).

Регулируя источник питания e и величину ограничительного резистора R_{орг} устанавливают стрелку измерительного механизма на крайнюю точку шкалы и фиксируют ток, протекающий через измерительный механизм I_v и напряжения на нем U_v. Определяют сопротивление измерительного механизма

$$r_v = \frac{U_v}{I_v}$$

По формуле (1) определяют сопротивление шунта.

Удельное сопротивление манганина

$$\rho = (0,42 \div 0,48) \times 10^{-4}, \text{ Ом*см}$$

Сопротивление проводника определяется по формуле

$$r = \frac{\rho \times l}{S}; \text{ допустимая плотность тока } 5\text{А на } 1\text{мм}^2.$$

После чего определяют конструкцию шунта.

С помощью моста постоянного тока МО – 61 подгоняют шунт. После подгонки шунта его устанавливают на выводы измерительного механизма. Затем амперметр А1 включают по схеме на рис. 1. и по показаниям образцового прибора А проводят окончательную подгонку прибора А1.

После окончательной подгонки амперметра А1 проводят его поверку в указанных поверяемых точках. По результатам поверки определяют фактическую погрешность в поверяемых точках. Сравнивают погрешность с допустимой, считая что изготовленный амперметр должен иметь класс точности 1,5.

Результаты полученные в результате измерений заносятся в табл.1.

Таблица 1

Поверяемая точка	Показания образцового прибора	Показания поверяемого прибора	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность	Допустимая относительная погрешность

2.2. Создание вольтметра на напряжение 20В с помощью добавочного сопротивления.

Собрать схему приведенную на рис. 2.

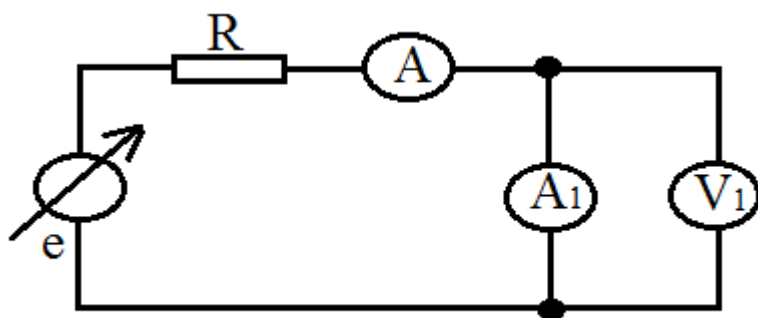


Рис. 2. Схема для поверки вольтметра

e - регулируемый источник напряжения 0 – 25В.

A – образцовый амперметр;

A_1 – измерительный механизм;

V – вольтметр с высоким входным сопротивлением;

$R_{орг}$ – ограничительный резистор (магазин R33).

В собранной схеме определяют напряжение, ток полного отклонения и сопротивление измерительного механизма. По формуле (2) определяют сопротивление добавочного резистора. С помощью моста МОБ1 подбирают резистор близкий к расчетному значению резистора и устанавливают его последовательно с катушкой измерительного механизма. При окончательной подгонке в схеме 2 меняют номинал добавочного резистора либо шунтированием, либо включением последовательно дополнительных резисторов.

После точной подгонки резисторов проводят поверку вольтметра и определение его погрешности в точках шкалы, аналогично амперметру. Данные заносят в таблицу 2.

Таблица 2

Поверяемая точка	Показания образцового прибора	Показания поверяемого прибора	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность	Допустимая относительная погрешность

Допустимую относительную погрешность определяют из условия, что поверяемый прибор должен иметь класс точности 1,5. По результатам поверки сформулировать заключение о пригодности прибора к использованию.

3. Оформление результатов работы.

По результатам работы составляют краткий отчет, который должен содержать:

1. Цель и теоретические основы работы.
2. Таблицы с результатами экспериментальных данных.
3. Рассчитанные значения метрологических характеристик и оценку погрешностей.
4. Выводы.

4. Контрольные вопросы.

1. Какие элементы используются для расширения пределов измерения электроизмерительных приборов?
2. Объясните принцип действия шунта и расчет величины его сопротивления?
3. С каким классом точности изготавливаются шунты?
4. Какую функцию выполняют добавочные сопротивления?
5. Для каких номинальных значений тока выбираются добавочные сопротивления?
6. Объясните методику подгонки шунта?
7. Объясните методику подгонки добавочного сопротивления?

Литература

1. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие. – М.: Логос, 2003 – 536с.
2. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. для вузов. Изд. СПб.: Питер, 2010 – 464с.

3. Зайцев С.А. Метрология, стандартизация и сертификация в энергетике: учебное пособие/ С.А. Зайцев, А.Н. Толстов, Д.Д. Грибанов, Р.В. Меркулов. – М.: Академия, 2009 – 224с.

Лабораторная работа №5

Поверка трехфазного индукционного счетчика

Цель работы: ознакомление со схемой и методами поверки трехфазного счетчика электрической энергии. Определение действительной постоянной и относительной погрешности счетчика при различных режимах нагрузки; определение «самохода» счетчика; определение чувствительности счетчика.

1. Теоретические основы

Поверка счетчика имеет целью выяснить, удовлетворяет ли счетчик техническим требованиям, предъявленным к приборам учета электроэнергии по ГОСТ 6570 – 60.

Вращающий момент счетчика пропорционален мощности, определяемой током последовательных обмоток прибора, напряжением, приложенным к его параллельным цепям, и косинусом угла сдвига фаз между указанными величинами. Поэтому схема поверки должна обеспечивать возможность регулировки каждой из указанных величин.

В работе используется схема поверки приведенная на рис. 1.

В этой схеме регулировка тока осуществляется реостатом R_1 , напряжения – реостатами R_2 , угла сдвига фаз φ – фазорегулятором Φ_p . Образцовыми приборами служат ваттметры W_1 и W_2 .

Как известно, полная мощность в сети:

$$P = P_1 + P_2$$

где

$$P_1 = U_L I_L \cos(30^\circ + \varphi)$$

$$P_2 = U_L I_L \cos(30^\circ - \varphi)$$

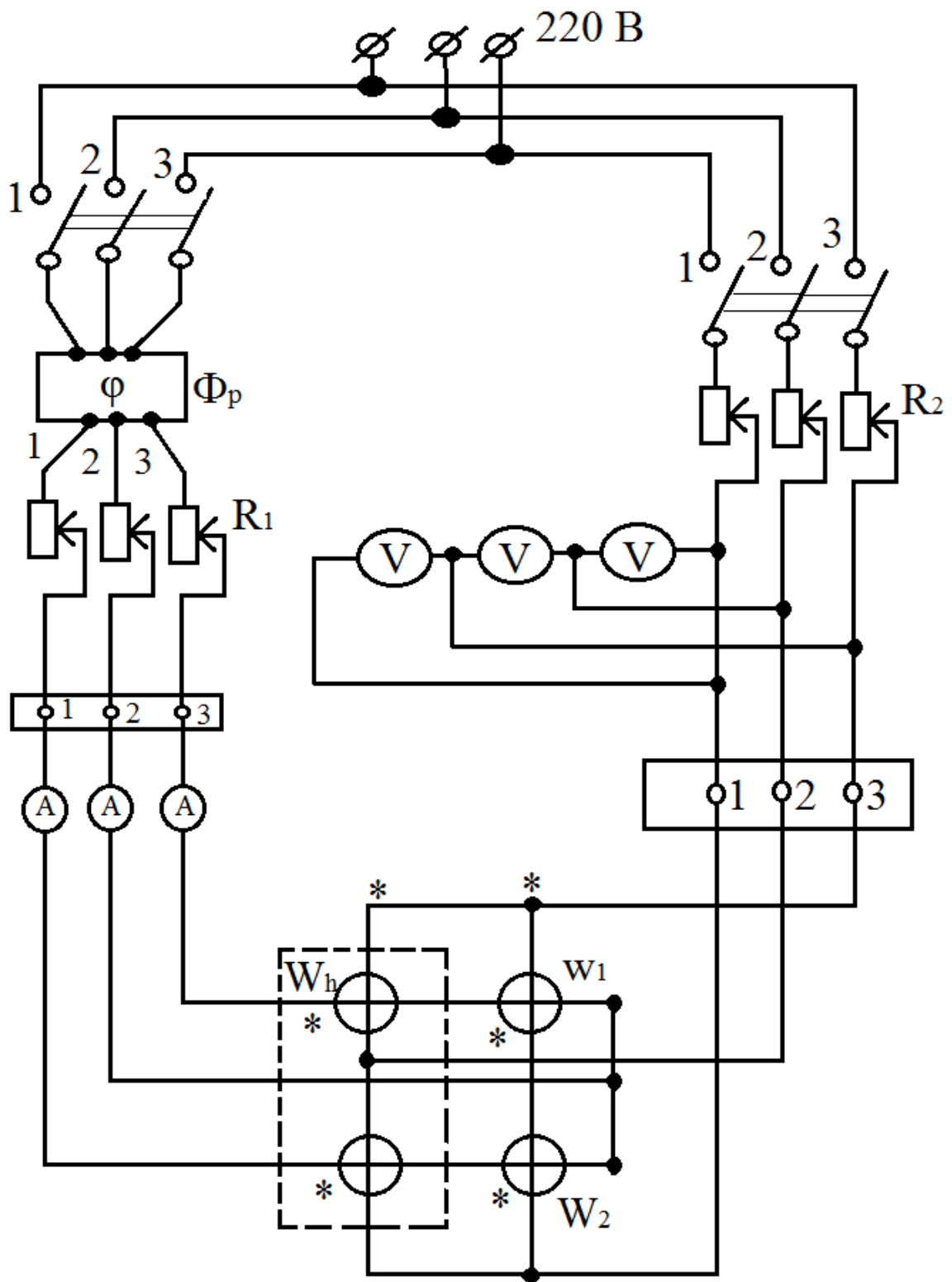


Рис. 1 схема поверки трехфазного индуктивного счетчика

P_1 и P_2 – показания ваттметров W_1 и W_2 .

Поверяемый счетчик (W_n) – двухэлементный, т. е. он имеет два диска, на каждый из которых действует свой вращающий момент. Поскольку оба

диска насажены на общую ось, то действие сил суммируют расходу энергии в трехфазной сети.

При создании схемы (рис. 1), необходимо соблюдать правила включения генераторных зажимов счетчика и ваттметров. Номинальные значения тока и напряжения для счетчика – 5 А и 220 В, для ваттметров – 5 А и 150 В. Пределы ваттметров по напряжению необходимо расширить, используя добавочные сопротивления (до 300 В).

После проверки схемы руководителем, прогреть счетчик в течении 10 – 15 мин при $I_n = 5$ А, $U_n = 220$ В и $\cos\varphi = 1$.

Подсчитать:

а) номинальную постоянную счетчика

$$C_n = \frac{W}{N} \left[\frac{\text{Вт} * \text{с}}{\text{об}} \right]$$

Для расчета используются данные передаточного числа, обычно указываемые на щитке.

б) постоянную ваттметров

$$C_w = \frac{U_n I_n}{\alpha_m}$$

где

U_n и I_n – номинальные значения напряжения и тока, на которые включен ваттметр;

α_m – число делений на шкале ваттметра.

Определение действительной постоянной и погрешности счетчика.

Действительная постоянная C_d определяется при различных режимах работы счетчика

$$C_d = \frac{(P_1 + P_2)t}{n} \left[\frac{\text{Вт} * \text{с}}{\text{об}} \right]$$

где

P_1 и P_2 – показания ваттметров W_1 и W_2 , Вт;

t – время, за которое счетчик совершил поворотов, с.

Зная C_H и C_D , можно определить относительную погрешность счетчика β :

$$\beta = \frac{C_H - C_D}{C_D} * 100\%$$

Значения относительных погрешностей не должны превышать величин, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Нагрузка в % от номинальной	Допустимые погрешности, %			COS φ
	Класс 1	Класс 2	Класс 2,5	
5	$\pm 2,5$	$\pm 3,5$	-	1,0
10	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	$\pm 3,5$	
50	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	
100	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	
150	$\pm 1,5$	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	
10	$\pm 2,5$	$\pm 3,5$	-	0,5
20	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$	$\pm 4,0$	
50	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 4,0$	
100	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 4,0$	

2. Порядок выполнения работы

При выполнении работы следует в начале рассчитать значения мощности, проходящей через ваттметры при различных режимах нагрузки. Расчетная величина мощности устанавливается на ваттметрах путем использования регулирующих приборов схемы – R_1 , R_2 , Φ_p . После этого подсчитывается число оборотов счетчика за некоторое время $t(50 - 70 \text{ с})$.

Следует определить действительную постоянную и погрешности при следующих значениях нагрузки:

а) нагрузка 5, 10, 50 и 100 % от номинальной ($I_H=5 \text{ А}$) при $\cos\varphi = 1,0$ и $U_L = 220 \text{ В}$.

Расчетные значения мощности определяются по формулам для определения P_1 и P_2 .

б) нагрузка 10, 20, 50 и 100 % от номинальной при $\cos\varphi = 0,5$ ($\varphi = 60^\circ$). При этом, как видно из формул для P_1 и P_2 показания одного из ваттметров должны равняться нулю. Этого добиваются, используя фазорегулятор.

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.

Таблица 2

I, А	P ₁ , Вт	P ₂ , Вт	n, об	t, с	P ₁ + P ₂ , Вт	$C_d = \left[\frac{\text{Вт} * \text{с}}{\text{об}} \right]$	В, %
------	---------------------	---------------------	-------	------	--------------------------------------	---	------

а) нагрузка равномерная при $\cos\varphi = 1,0$

б) нагрузка равномерная при $\cos\varphi = 0,5$

построить кривые зависимости погрешности от нагрузки $\beta = f(I)$: а) при $\cos\varphi = 1,0$; б) при $\cos\varphi = 0,5$.

Проверка «самохода» счетчика

Для этого надо отклонить ток нагрузки и реостатами R₂ повысить напряжение до равного 110 % от номинального. Если диск счетчика не вращается, или, сделав часть оборота, остановится и дальше вращаться не будет, «самоход» отсутствует.

Проверка чувствительности счетчика

Для этого при номинальном напряжении и $\cos\varphi = 1,0$ ($P_1 = P_2$) полностью ввести реостаты R₁ в токовых цепях, а затем плавно уменьшить их сопротивление, пока диск счетчика не начнет вращаться. Заметив при этом показания ваттметров, определить чувствительность в счетчиках по формуле:

$$s = \frac{P_{min}}{P_{ном}} * 100\%$$

Дать заключение о поверяемом счетчике.

3. Оформление результатов работы

По результатам работы составляют краткий отчет, который должен содержать:

1. Цель и теоретические основы работы.
2. Таблицы с результатами измерений.
3. Схему поверки счетчика.
4. Расчетные формулы.

5. Графики $\beta = f(I)$.

6. Заключение о поверяемом счетчике.

4. Контрольные вопросы

1. Как измерить мощность в трехфазной сети методом двух ваттметров? Каковы правила включения?

2. Как включаются генераторные зажимы счетчика и ваттметров?

3. Что такое номинальная и действительная постоянные счетчика, какая из них неизменна?

4. В каких случаях показания обоих ваттметров равны?

5. Что такое погрешность счетчика и ее связь с классом точности?

6. Что такое «самоход» счетчика, как он проверяется?

7. Как определяется чувствительность счетчика?

Литература

1. Димов Ю. В. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник для вузов. 3-е изд. - СПб.: Питер, 2010 - 464 с.

2. Сергеев А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие / А.Г. Сергеев, М.В. Латышев, В.В. Терегеря. – М.: Логос, 2003 – 536с.

3. Зайцев С.А. Метрология, стандартизация и сертификация в энергетике: учеб. пособие / С.А. Зайцев, А.Н. Толстов, Д.Д. Грибанов, Р.В. Меркулов. – М.: Академия, 2009 – 224с.

Лабораторная работа №6

Проверка однофазного ваттметра на установке МК6801.

Цель работы: определение зависимости погрешности ваттметра от изменения тока.

1. Элементы теории.

Используемая установка МК6801 включает в себя блок напряжения, блок тока, образцовый счетчик и стенд для подключения поверяемых приборов.

Блок напряжения предназначен для питания измерительных цепей 3-х и однофазных преобразователей мощности и энергии ваттметров, счетчиков электрической энергии. Блок напряжения выдает фазные напряжения от 13 до 420 В на 10 поддиапазонах. Кроме того, имеется плавная регулировка напряжения в пределах установленного поддиапазона. Блок напряжения может выдавать напряжение с частотой от 50 до 1000 Гц на 6 поддиапазонах с плавной регулировкой частоты в пределах поддиапазона.

Блок напряжения имеет возможность синхронизировать выравниваемую частоту напряжения с частотой питающей сети.

При работе с блоком тока, блок напряжения обеспечивает сдвиг фаз между напряжением и током в диапазоне от 0 до 180°.

Блок тока.

Блок тока предназначен для питания измерительных цепей 3-х и однофазных преобразователей мощности и энергии, ваттметров, счетчиков электрической энергии по методу фиктивной мощности.

Номинальное значение выходных фазных токов перекрывается пятью поддиапазонами с плавной регулировкой внутри поддиапазона. Диапазон выдаваемых токов от 5 мА до 10 А.

Блок тока обеспечивает регулировку частоты фазных токов от 50 Гц до 1000 Гц при этом если частота питающей сети блока тока соответствует частоте выдаваемой блоком тока, то возможна синхронизация частоты, выдаваемой блоком тока с частотой сети.

Нестабильность выдаваемых токов для частоты 50 Гц не превышает 0,1% за 5 мин и 0,5% на более высоких частотах.

Ваттметр – счетчик образцовый ЦЭ6802.

Счетчик ЦЭ6802 предназначен для измерения активной мощности и энергии в 3-х и 4-х проводной трехфазной и двухпроводной сети переменного тока и для измерения реактивной мощности в трехфазной сети. Счетчик может применяться для поверки и регулировки ваттметров, трехфазных варметров, преобразователей мощности и счетчиков электрической энергии класса точности 0,2 и менее точных.

Номинальные значения напряжения входных параллельных цепей счетчика:

фазные	$100/\sqrt{3}$	$220/\sqrt{3}$	$380/\sqrt{3}$
линейные	100	220	380

Номинальные значения силы тока входных последовательных цепей счетчика равны:

$3 \times 1 \text{ А}$ и $3 \times 5 \text{ А}$, при этом перегрузочное значение силы тока должно составлять 200% от номинальных значений.

Счетчик имеет восемь входов для подключения телеметрических выходов поверяемых счетчиков.

В зависимости от установленного режима счетчик отображает на индикаторном табло измеренное значение активной и реактивной мощности, количество делений шкалы поверяемого прибора, соответствующее измеренной мощности.

Измеренное значение активной и реактивной энергии в ваттчасах или варчасах.

Вычисленное значение погрешностей поверяемых счетчиков в процентах (%).

Измеренное значение силы тока через последовательные цепи в амперах, измеренное значение напряжений параллельных цепей в вольтах.

Для контроля измерительной цепи счетчика на табло индуцируется значение угла сдвига фаз между током и напряжением, значение коэффициента мощности и частота измерительных сигналов с ненормируемой точностью.

Счетчик проводит автокалибровку не реже, чем один раз в 20 мин. автоматически или по требованию оператора.

Блоки тока, напряжения и образцовый счетчик ЦЭ6802 устанавливаются на передвижной стойке. На стойке расположен общий выключатель питания

стойки и три розетки для подключения блоков. Кроме того, в состав установки входит стенд для подключения 8 поверяемых счетчиков.

Все восемь мест для поверки предусматривают установку контактирующих устройств, позволяющих быстро установить счетчики.

Нижние контактные места позволяют подключать счетчики с помощью проводов. Для этого установлено 6 клеммных зажимов для подключения токовых входов счетчика. Ниже установлено еще 4 клеммных зажима для подключения входов напряжения и нулевого провода.

Информация с поверяемых счетчиков поступает в образцовый счетчик через разъем, установленный справа от клеммных зажимов. В случае, если рабочее поверочное место не используется, токовые клеммы попарно должны быть закорочены перемычками.

2. Порядок выполнения работы.

Поверка однофазного ваттметра на установке МК6801.

Для снятия графической зависимости погрешности ваттметра от изменения величины тока необходимо на одном из рабочих мест 5-8 разомкнуть перемычку на клеммах тока и к этим клеммам подсоединить токовые выходы ваттметра. Провод от клеммы * подсоединить к правой клемме. Выходы вольтметра подсоединить к клемме той фазы, на которой подключены токовые выходы. Провод от клеммы напряжения со звездочкой (*) подсоединить к клемме U_0 .

Предел по напряжению ваттметра установить 150 В, предел по току 5 А.

Включить блок тока, блок напряжения и образцовый счетчик.

Запрограммировать образцовый счетчик на измерение мощности.

Программирование необходимо выполнить в соответствии с требованиями, указанными в паспорте на ваттметр – счетчик образцовый ЦЭ6802.

Произвести измерение мощности при токах 1А, 2А, 3А, 4А, 5А и напряжении 150В.

Занести показания счетчика в табл. 1.

Рассчитать допустимую погрешность ваттметра в точках измерения и внести показания в табл. 1.

3. Оформление результатов работы.

По результатам работы составить краткий отчет, который должен содержать:

1. Цель и теоретические основы работы.
2. Таблицу с результатами эксперимента.
3. Рассчитанные значения метрологических характеристик и оценку класса точности вольтметра.
4. Выводы, вытекающие из результатов работы.

4. Контрольные вопросы.

1. Перечислить состав аппаратуры и назначение блоков, входящих в состав установки МК6801?
2. Объясните принцип измерения активной мощности и энергии на установке МК6801?
3. Объясните принцип измерения реактивной мощности на установке МК6801?

Таблица 1

То к, А	Показани я образцов ого счетчика	Показан ия ваттмет ра	Абсолют ная погрешно сть	Относител ь ная погрешнос ть	Допустима я относител ь ная погрешнос ть	Выво ды

Литература

1. Установка для поверки счетчиков электрической энергии МК6801. Паспорт ИНЕС. 411151. 007ПС.
2. Блок тока. Паспорт ИНЕС. 423146. 0053И
3. Блок напряжения. Паспорт ИНЕС. 423146. 006 -03ПС
4. ВАТТМЕТР – СЧЕТЧИК ОБРАЗЦОВЫЙ ЦЭ6802. Паспорт ИНЕС. 411151. 001ПС.

Лабораторная работа №7

Исследование свойств реостатных измерительных преобразователей

Цель работы: исследовать отдельные виды реостатных измерительных преобразователей с точки зрения их чувствительности, линейности характеристик и точности. Провести обработку результатов исследований и их анализ.

1. Теоретические основы

Реостатными называются преобразователи, выполненные в виде реостата, движок которого перемещается под действием входной неэлектрической величины. Перемещение движка приводит к изменению сопротивления.

Таким образом, естественной входной величиной таких преобразователей является механическое перемещение (линейное, угловое), а естественной входной величиной – сопротивление преобразователя.

В зависимости от конструктивного исполнения реостатные измерительные преобразователи делятся на преобразователи линейного перемещения и преобразователи углового перемещения. С помощью таких измерительных преобразователей можно измерять неэлектрические величины, которые могут быть преобразованы (при помощи других измерительных преобразователей) в линейное и угловое перемещение (давление, уровень и т. д.).

Реостатные измерительные преобразователи изготавливаются из изолированной манганиновой, константановой и вольфрамовой проволоки, намотанный на каркас из изолированного материала. При повышенных требованиях в отношении износоустойчивости в качестве материала обмотки используют сплав платины с иридием (Pt– 90 %, Ir – 10 %). Контактная щетка выполняется из серебра, бронзы или платиноиридиевого сплава (при малых контактных изделиях).

Наиболее часто реостатные измерительные преобразователи изготавливают с линейной функцией преобразования. Для преобразователей линейного перемещения. Для преобразователей линейного перемещения она имеет вид:

$$R_x = \frac{R_p}{l} X \quad (1)$$

а для преобразователей углового перемещения

$$R_x = \frac{R_p}{2l} D \alpha_x \quad (2)$$

где

R_p – полное сопротивление реостатного измерительного преобразователя;

l – его длина;

X, α_x – линейное и угловое (в радианах) перемещение.

В ряде случаев применяются реостатные измерительные преобразователи с функциональным (не линейным) распределением сопротивления вдоль каркаса. Заданная функция преобразования $R_x = f(x)$ обеспечивается, например, измерением профиля с переменным шагом намотки, намотки отдельных участков каркаса проводами разного диаметра или разного удельного сопротивления, шунтированием участков линейного реостата соответствующими сопротивлениями.

Выходное сопротивление реостатных проволочных преобразователей в зависимости от перемещения изменяется ступенчато. Это обстоятельство вызывает погрешность квантования, приведенное значение которой равно:

$$\gamma_{кв} = \frac{0,5 * \Delta R_x}{R_p} * 100\% = \frac{0,5}{w} * 100\% \quad (3)$$

где

w – число витков измерительного преобразователя.

Суммарная погрешность, вызванная непостоянством параметров преобразователей, составляет $0,05 \div 0,1$ %. Температурная погрешность, определяемая температурным коэффициентом сопротивления материала провода, не превышает $0,1$ % на 10 °С.

2. Порядок выполнения работы

2.1 Исследование реостатного измерительного преобразователя линейного перемещения

2.1.1 Определение функции преобразования

а) Используя конструктивные материалы измерительного преобразователя, рассчитать его полное сопротивление по формуле:

$$R_p = \frac{\rho l_0 w}{\pi a^2} \quad (4)$$

б) Используя выражение (1) и задавая различные значения входного перемещения X в диапазоне $0,11 \div 1$, рассчитать теоретическую функцию преобразования реостатного измерительного преобразователя линейного перемещения в режиме холостого хода ($R_H = \infty$). Данные расчетов свести в таблицу 1.

Таблица 1

X/l	0,10	0,25	0,50	0,75	1,00
$R_x, \text{ Ом}$					

в) Снять экспериментальную зависимость $R_x = f(x)$ в режиме холостого хода ($R_H = \infty$), для чего нужно подключить цифровой прибор к клеммам «б» и «16». Включить прибор в режиме омметра, но не включать макет в сеть, и, перемещая движок измерительного преобразователя при помощи тяги по шкале, измерить сопротивления измерительного преобразователя при разных положениях движка. Данные опыта занести в таблицу 2.

Таблица 2

$X, \text{ мм}$	0	10	20	30	40	50
$R_x, \text{ Ом}$						

г) Построить расчетную и экспериментальную функции преобразования на общем графике, сравнить их и, используя экспериментальную зависимость, рассчитать чувствительность измерительного преобразователя

$$S = \frac{\Delta R_x}{\Delta X} \quad (5)$$

2.1.2 Исследование реостатного измерительного преобразователя в схеме делителя напряжения в различных режимах

а) Включить измерительный преобразователь в схему делителя напряжения согласно рисунку 1. Для этого к клеммам «5» и «6» подсоединить вольтметр Щ68003, предварительно переключив его в режиме измерения постоянного напряжения.

б) Включить макет в сеть ($\sim 220 \text{ В}$) и снять зависимость $U_{\text{вых}} = f(x)$ для режима холостого хода ($R_H = \infty$). Данные занести в таблицу 3.

Таблица 3

X, мм	0	10	20	30	40	50
U _{ВЫХ} , В						

в) Подключить магазин сопротивлений к клеммам «5» и «6» (см. рисунок 2). Задать магазином значения $R_H=R$; $0,2R$; $0,5R$. И для каждого случая снять зависимости $U_{\text{ВЫХ}}=f(x)$. данные занести в таблицу 4.

Таблица 4

X, мм	0	10	20	30	40	50
U _{ВЫХ} , В						
R _H =R						
U _{ВЫХ} , В						
R _H =0,2R						
U _{ВЫХ} , В						
R _H =0,5R						

г) По полученным данным построить зависимость $U_{\text{ВЫХ}}=f(x)$ на общем графике для режима холостого хода и трех нагрузочных режимов. Сделать выводы. Определить коэффициент нелинейности для всех последующих режимов работы измерительного преобразователя

$$k_H = \frac{tg_{max}\alpha - tg_{min}\alpha}{tg_{cp}\alpha}$$

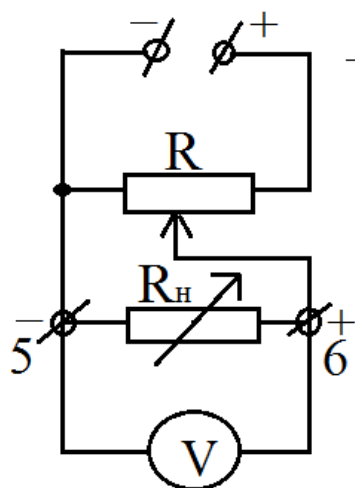


Рисунок 1

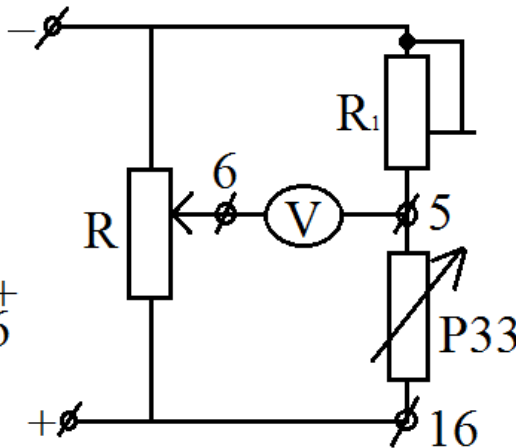


Рисунок 2

2.1.3 Исследование реостатного измерительного преобразователя с преобразователем «сопротивление - ток».

а) Подключить к клеммам «5», «6» и «16» реостатного измерительного преобразователя линейного перемещения соответствующие выводы индикатора положения унифицированного и включить его в сеть (~ 220 В), но исследуемый макет в сеть не включать.

б) Снять зависимости $I(\%) = f(x)$. данные занести в таблицу 5.

Таблица 5

X, мм	0	10	20	30	40	50
I, %						

в) По полученным данным построить зависимость $I(\%) = f(x)$. сделать выводы.

2.1.4 Исследование реостатного измерительного преобразователя дифференциального типа в схеме моста

а) Собрать схему моста для измерительного преобразователя (рисунок 3). Для чего к клеммам «5» и «6» подсоединить вольтметр Щ68003. Магазин сопротивления R33 подключить к клеммам «5» и «16». Стрелка подвижного контакта реостатного измерительного преобразователя должна находиться на делении 25 мм (середина рабочей части шкалы линейки).

б) Включить макет в сеть (~ 220 В) и уравновесить мост с помощью магазина сопротивлений ($U_M = 0$).

в) Снять зависимости $\Delta U_M = f(\pm x)$, перемещая движок измерительного преобразователя вправо и влево от исходного положения. Данные положительно и отрицательного перемещения занести соответственно в таблицы 6 и 7.

Таблица 6

+X, мм	5	10	15	20	25
ΔU_M , В					

Таблица 7

-X, мм	5	10	15	20	25
ΔU_M , В					

г) Построить графики зависимости $\Delta U_M = f(\pm x)$ и определить чувствительность

$$S = \frac{\Delta U_M}{\Delta X}$$

д) По полученному графику сделать выводы о чувствительности и линейности мостовой схемы.

2.2 Исследование реостатного измерительного преобразователя углового перемещения

2.2.1 Снятие экспериментальной зависимости $R_x = f(\alpha)$ однооборотного реостатного измерительного преобразователя углового перемещения

а) Подключить к клеммам «1» и «2» однооборотного измерительного преобразователя вольтметр Щ68003, включенный в режиме омметра. Вращая ручку преобразователя, снять показания прибора и занести в таблицу 8.

Таблица 8

Деления	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
α°	0	29	58	87	116	145	174	203	232	261	290
$R_x, \text{ Ом}$											

б) По данным таблицы 8 построить зависимость $R_x = f(\alpha)$. Рассчитать чувствительность по формуле:

$$S = \frac{\Delta R_x}{\Delta \alpha}$$

в) Сделать выводы по графику. Сравнить полученную чувствительность с результатами для измерительного преобразователя линейного перемещения по п. 2.1.1 (в).

2.2.2 Исследование однооборотного измерительного преобразователя в схеме моста

а) Установить ручку преобразователя на делении «50». Два магазина сопротивления Р33 соединить последовательно между собой и подключить к клеммам «8» и «16» и макета реостатного измерительного преобразователя линейного перемещения, который в данном случае используется в качестве источника постоянного напряжения. Измерительный прибор Щ68003

подключить к выводу «2» и к соединению между магазинами (см. рисунок 7). Когда схема будет собрана, включить в сеть (~ 220 В) измерительный преобразователь линейного перемещения.

б) Уравновесить мост магазинами сопротивления. Снять зависимости $\Delta U_M = f(\pm\alpha)$, перемещая ручку по часовой стрелке и против. Данные занести в таблицу 9.

Деления	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
α°	-145	-116	-87	-58	-29	0	+29	+58	+87	+116	+145
$\Delta U_M, В$											

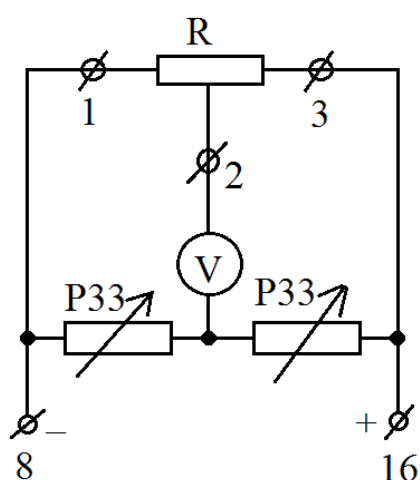


Рисунок 3

в) Построить график зависимости $\Delta U_M = f(\pm\alpha)$ и определить чувствительность

$$S = \frac{\Delta U_M}{\Delta \alpha}$$

2.2.3 Исследование многооборотного измерительного преобразователя углового перемещения

а) Подключить к клеммам «1» и «2» многооборотного реостатного измерительного преобразователя измерительный прибор Щ68003, включенный в режиме омметра. Угол поворота отложен на ручке – шкале измерительного преобразователя.

б) Снять зависимости $R_x = f(\alpha)$. Данные эксперимента занести в таблицу 10.

α°	Номер оборота								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60									
120									
180									
240									
300									
360									

в) Построить зависимость $R_x = f(\alpha)$ и рассчитать чувствительность

$$S = \frac{\Delta R_x}{\Delta \alpha}$$

г) Сделать выводы.

3. Оформление результатов работы

По результатам работы составляют краткий отчет, который должен содержать:

1. Цель и теоретические основы работы.
2. Таблицы с результатами измерений.
3. Примеры расчетов.
4. Схемы лабораторных установок.
5. Графики зависимостей в соответствии с программой.
6. Выводы по отдельным пунктам работы и общие выводы.

4. Контрольные вопросы

1. Принцип действия реостатных измерительных преобразователей линейного и углового перемещений?

2. Преимущества и недостатки реостатных измерительных преобразователей линейного и углового перемещений?

3. Особенности однооборотного и многооборотного реостатных измерительных преобразователей углового перемещения? Области применения?

4. Измерительные схемы включения реостатных измерительных преобразователей?

5. Что значит уравновесить мост?

6. Характер изменения $R_x = f(X)$ и $R_x = f(\alpha)$ у реостатных измерительных преобразователей?

Литература

Основная литература

1 Коротков, В. С. Метрология, стандартизация и сертификация : учебное пособие / В. С. Коротков, А. И. Афонасов. — Томск : Томский политехнический университет, 2015. — 187 с. — ISBN 978-5-4387-0464-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/34681.html>. — Режим доступа: для авторизованных пользователей

2 Воробьева, Г. Н. Метрология, стандартизация и сертификация : учебное пособие / Г. Н. Воробьева, И. В. Муравьева. — М. : Издательский Дом МИСиС, 2015. — 108 с. — ISBN 978-5-87623-876-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/57097.html>. — Режим доступа: для авторизованных пользователей

Дополнительная литература

1 Метрология, стандартизация и сертификация : Учебник / под ред. А.И. Аристова. — М. : Академия, 2008

2 Метрология, стандартизация, сертификация : учебно-методическое пособие / И. А. Фролов, В. А. Жулай, Ю. Ф. Устинов, В. А. Муравьев. — Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 127 с. — ISBN 978-5-89040-551-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/55012.html>. — Режим доступа: для авторизованных пользователей

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

**«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НЕВИННОМЫССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ФИЛИАЛ)**

Методические указания к самостоятельной работе
для студентов направления
09.03.02 «Информационные системы и технологии»
по дисциплине
«МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ»

Невинномысск, 2026

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО в части содержания и уровня подготовки выпускников направления подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии»

Методические указания содержат рекомендации по организации самостоятельной работы студента при изучении дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация».

Составитель

доцент кафедры ИСЭА Д.В. Болдырев

Ответственный редактор

доцент кафедры ИСЭА А.А. Евдокимов

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ»	5
1.1. Подготовка к лекциям.....	7
1.2. Подготовка к лабораторным занятиям.....	8
1.3. Подготовка к практическим занятиям	9
1.4. Самостоятельное изучение материала тем	11
2. СРЕДСТВА ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ»	15
3. ОТЧЕТНОСТЬ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	21
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	22

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Метрология, стандартизация и сертификация» ставит своей целью формирование следующих компетенций будущего бакалавра по направлению подготовки 09.03.02 — Информационные системы и технологии.

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-4 Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью с использованием стандартов, норм и правил	ИД-2 ОПК-4 Разрабатывает техническую документацию (протоколы испытаний, сертификаты, стандарты организации) с применением действующих стандартов, норм и правил в области метрологии и сертификации.	Разрабатывает техническую документацию, включая протоколы испытаний, сертификаты соответствия и стандарты организации (СТО), применяя действующие технические регламенты и национальные стандарты (ГОСТ Р, ГОСТ) для обеспечения единства измерений и качества продукции.

Главными задачами дисциплины являются:

- формирование инженерного мышления, позволяющего понимать влияние метрологических характеристик современных технических средств автоматизации на научно-техническое развитие промышленности, на рациональное использование сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, на развитие современных систем и технологий;
- формирование навыков проведения метрологических исследований, использования современных технических средств автоматизации.

В результате освоения дисциплины студент должен:

- знать подходы к повышению качества продукции, производственных и технологических процессов; принципы постановки целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определения приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, разработки проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров; принципы саморазвития и самореализации;
- уметь организовывать мероприятия по техническому и информационному обеспечению разработки, испытаний и эксплуатации производственных и технологических процессов; разрабатывать проекты модернизации действующих производств и создания новых, разрабатывать средства и системы автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями; использовать собственный творческий потенциал;
- владеть навыками планирования работ по стандартизации и сертификации продукции, а также актуализации регламентирующей документации; стандартными средствами автоматизации расчетов и проектирования; навыками самообразования.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ»

Самостоятельная работа студентов (далее — СРС) является неотъемлемой составляющей образовательного процесса в Университете и является обязательной для каждого студента. Основная цель СРС — освоение в полном объеме образовательной программы и последовательное формирование компетенций эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности. Самостоятельная работа кон-

кретна по своей предметной направленности и сопровождается непрерывным контролем и оценкой ее результатов.

Количество часов, отводимое на самостоятельную работу, определяется учебным планом направления подготовки 09.03.02.

Содержательно самостоятельная работа студентов определяется ФГОС ВО направления подготовки 09.03.02, программой и учебно-методическим комплексом дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация».

Методика организации самостоятельной работы студентов зависит от структуры, характера и особенностей дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация», объема часов на ее изучение, вида заданий для СРС, индивидуальных возможностей студентов и условий учебной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов определяются содержанием дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация», степенью подготовленности студентов. Они могут быть тесно связаны с теоретическим курсом и иметь учебный или учебно-исследовательский характер. Форму самостоятельной работы студентов определяют кафедра ИСЭА при разработке программы дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация».

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

СРС, не предусмотренная образовательной программой, учебным планом и учебно-методическими материалами, раскрывающими и конкретизирующими их содержание, осуществляется студентами инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

В учебном процессе выделяют аудиторную и внеаудиторную самостоятельную работу.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» выполняется на учебных занятиях (лекциях, практических, лабораторных занятиях и консультациях) под руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов выполняется во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве и контроле преподавателя, но без его непосредственного участия. СРС включает в себя:

- подготовку к аудиторным занятиям (лекционным и практическим) и выполнение соответствующих заданий;
- работу над отдельными темами учебных дисциплин (модулей) в соответствии с учебно-тематическими планами;
- выполнение контрольных работ;
- подготовку ко всем видам промежуточных и итоговых контрольных испытаний.

1.1. Подготовка к лекциям

Главное в период подготовки к лекционным занятиям — научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения. Четкое планирование своего рабочего времени и отдыха является необходимым условием для успешной самостоятельной работы. В основу его нужно положить рабочие программы изучаемых в семестре дисциплин.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтрашний день. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Слушание и запись лекций — сложный вид вузовской аудиторной работы. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента. Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим студентом. Не надо стремиться записать дословно всю лекцию. Такое «конспектирование» приносит больше вреда, чем пользы. Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Конспект лекций лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать пункты плана лекции, предложенные преподавателям. Принципиальные места, определения, формулы и другое следует сопровождать замечаниями «важно», «особо важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек. Лучше если они будут собственными, чтобы не приходилось просить их у однокурсников и тем самым не отвлекать их во время лекции. Целесообразно разработать собственную «маркографию» (значки, символы), сокращения слов. Не лишним будет и изучение основ стенографии. Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

1.2. Подготовка к лабораторным занятиям

Для того чтобы лабораторные занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнение и решение задач проводятся по рассмотренному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса. Следует подчеркнуть, что

только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекциях) он будет закрепляться студентом на лабораторных занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения проблемных ситуаций, задач. При этих условиях студент не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

При самостоятельном решении задач нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Если студент видит несколько путей решения проблемы (задачи), то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения проблемы (задачи). Решение проблемных задач или примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных. Решения при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Следует помнить, что решение каждой учебной задачи должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие, и по возможности с выводом. Полученный ответ следует проверить способами, вытекающими из существа данной задачи. Полезно также (если возможно) решать несколькими способами и сравнить полученные результаты. Решение задач данного типа нужно продолжать до приобретения твердых навыков в их решении.

1.3. Подготовка к практическим занятиям

Подготовку к каждому практическому занятию студент должен начать с ознакомления с методическими указаниями, которые включают содержание работы. Тщательное продумывание и изучение вопросов основывается на проработке текущего материала лекции, а затем изучения обязательной и дополнительной литературы, рекомендованную к данной теме. На основе ин-

дивидуальных предпочтений студенту необходимо самостоятельно выбрать тему доклада по проблеме и по возможности подготовить по нему презентацию.

Если программой дисциплины предусмотрено выполнение практического задания, то его необходимо выполнить с учетом предложенной инструкции (устно или письменно). Все новые понятия по изучаемой теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения курса. Результат такой работы должен проявиться в способности студента свободно ответить на теоретические вопросы семинара, его выступлении и участии в коллективном обсуждении вопросов изучаемой темы, правильном выполнении практических заданий и контрольных работ.

В зависимости от содержания и количества отведенного времени на изучение каждой темы практическое занятие может состоять из четырех-пяти частей:

1. Обсуждение теоретических вопросов, определенных программой дисциплины.
2. Доклад и/или выступление с презентациями по выбранной проблеме.
3. Обсуждение выступлений по теме — дискуссия.
4. Выполнение практического задания с последующим разбором полученных результатов или обсуждение практического задания.
5. Подведение итогов занятия.

Первая часть — обсуждение теоретических вопросов — проводится в виде фронтальной беседы со всей группой и включает выборочную проверку преподавателем теоретических знаний студентов. Примерная продолжительность — до 15 минут. Вторая часть — выступление студентов с докладами, которые должны сопровождаться презентациями с целью усиления наглядности восприятия, по одному из вопросов практического занятия. Обязательный элемент доклада — представление и анализ статистических данных, обоснование социальных последствий любого экономического факта, явле-

ния или процесса. Примерная продолжительность — 20-25 минут. После докладов следует их обсуждение — дискуссия. В ходе этого этапа практического занятия могут быть заданы уточняющие вопросы к докладчикам. Примерная продолжительность — до 15-20 минут. Если программой предусмотрено выполнение практического задания в рамках конкретной темы, то преподавателями определяется его содержание и дается время на его выполнение, а затем идет обсуждение результатов. Подведением итогов заканчивается практическое занятие.

В процессе подготовки к практическим занятиям, студентам необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной учебно-методической (а также научной и популярной) литературы. Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной и популярной литературой, материалами периодических изданий и Интернета, статистическими данными является наиболее эффективным методом получения знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у студентов свое отношение к конкретной проблеме. Более глубокому раскрытию вопросов способствует знакомство с дополнительной литературой, рекомендованной преподавателем по каждой теме семинарского или практического занятия, что позволяет студентам проявить свою индивидуальность в рамках выступления на данных занятиях, выявить широкий спектр мнений по изучаемой проблеме.

1.4. Самостоятельное изучение материала тем

Конспект — наиболее совершенная и наиболее сложная форма записи. Слово «конспект» происходит от латинского «conspicere», что означает «обзор, изложение». В правильно составленном конспекте обычно выделено самое основное в изучаемом тексте, сосредоточено внимание на наиболее су-

шественном, в кратких и четких формулировках обобщены важные теоретические положения.

Конспект представляет собой относительно подробное, последовательное изложение содержания прочитанного. На первых порах целесообразно в записях ближе держаться тексту, прибегая зачастую к прямому цитированию автора. В дальнейшем, по мере выработки навыков конспектирования, записи будут носить более свободный и сжатый характер.

Конспект книги обычно ведется в тетради. В самом начале конспекта указывается фамилия автора, полное название произведения, издательство, год и место издания. При цитировании обязательная ссылка на страницу книги. Если цитата взята из собрания сочинений, то необходимо указать соответствующий том. Следует помнить, что четкая ссылка на источник — неперемutable правило конспектирования. Если конспектируется статья, то указывается, где и когда она была напечатана.

Конспект подразделяется на части в соответствии с заранее продуманным планом. Пункты плана записываются в тексте или на полях конспекта. Писать его рекомендуется четко и разборчиво, так как небрежная запись с течением времени становится малопонятной для ее автора. Существует правило: конспект, составленный для себя, должен быть по возможности написан так, чтобы его легко прочитал и кто-либо другой.

Формы конспекта могут быть разными и зависят от его целевого назначения (изучение материала в целом или под определенным углом зрения, подготовка к докладу, выступлению на занятии и т.д.), а также от характера произведения (монография, статья, документ и т.п.). Если речь идет просто об изложении содержания работы, текст конспекта может быть сплошным, с выделением особо важных положений подчеркиванием или различными значками.

В случае, когда не ограничиваются переложением содержания, а фиксируют в конспекте и свои собственные суждения по данному вопросу или дополняют конспект соответствующими материалами их других источников,

следует отводить место для такого рода записей. Рекомендуется разделить страницы тетради пополам по вертикали и в левой части вести конспект произведения, а в правой свои дополнительные записи, совмещая их по содержанию.

Конспектирование в большей мере, чем другие виды записей, помогает вырабатывать навыки правильного изложения в письменной форме важные теоретических и практических вопросов, умение четко их формулировать и ясно излагать своими словами.

Таким образом, составление конспекта требует вдумчивой работы, затраты времени и труда. Зато во время конспектирования приобретаются знания, создается фонд записей.

Конспект может быть текстуальным или тематическим. В текстуальном конспекте сохраняется логика и структура изучаемого произведения, а запись ведется в соответствии с расположением материала в книге. За основу тематического конспекта берется не план произведения, а содержание какой-либо темы или проблемы.

Текстуальный конспект желательно начинать после того, как вся книга прочитана и продумана, но это, к сожалению, не всегда возможно. В первую очередь необходимо составить план произведения письменно или мысленно, поскольку в соответствии с этим планом строится дальнейшая работа. Конспект включает в себя тезисы, которые составляют его основу. Но, в отличие от тезисов, конспект содержит краткую запись не только выводов, но и доказательств, вплоть до фактического материала. Иначе говоря, конспект — это расширенные тезисы, дополненные рассуждениями и доказательствами, мыслями и соображениями составителя записи.

Как правило, конспект включает в себя и выписки, но в него могут войти отдельные места, цитируемые дословно, а также факты, примеры, цифры, таблицы и схемы, взятые из книги. Следует помнить, что работа над конспектом только тогда будет творческой, когда она не ограничена текстом

изучаемого произведения. Нужно дополнять конспект данными из других источников.

В конспекте необходимо выделять отдельные места текста в зависимости от их значимости. Можно пользоваться различными способами: подчеркиваниями, вопросительными и восклицательными знаками, репликами, краткими оценками, писать на полях своих конспектов слова: «важно», «очень важно», «верно», «характерно».

В конспект могут помещаться диаграммы, схемы, таблицы, которые придадут ему наглядность.

Составлению тематического конспекта предшествует тщательное изучение всей литературы, подобранной для раскрытия данной темы. Бывает, что какая-либо тема рассматривается в нескольких главах или в разных местах книги. А в конспекте весь материал, относящийся к теме, будет сосредоточен в одном месте. В плане конспекта рекомендуется делать пометки, к каким источникам (вплоть до страницы) придется обратиться для раскрытия вопросов. Тематический конспект составляется обычно для того, чтобы глубже изучить определенный вопрос, подготовиться к докладу, лекции или выступлению на семинарском занятии. Такой конспект по содержанию приближается к реферату, докладу по избранной теме, особенно если включает и собственный вклад в изучение проблемы.

2. СРЕДСТВА ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ»

Вопросы для собеседования

по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация»

Базовый уровень

Тема 1.1. Понятие об измерениях

1. Предмет и задачи метрологии
2. Сущность измерения
3. Единица измерения
4. Основные единицы измерения
5. Система единиц измерения
6. Наблюдение при измерении
7. Результат измерения
8. Статические измерения
9. Динамические измерения
10. Классификация измерений по совокупности измеряемых величин
11. Измерения максимально возможной точности
12. Контрольно-поверочные измерения
13. Технические измерения
14. Измерения с однократным наблюдением
15. Измерения с многократными наблюдениями
16. Прямые измерения
17. Косвенные измерения

1.2. Методы измерений

1. Метод измерения
2. Принцип измерения
3. Метод непосредственной оценки с отсчетом по шкале
4. Метод непосредственной оценки с отсчетом по шкале и нониусу
5. Нулевой метод сравнения с мерой
6. Дифференциальный метод сравнения с мерой

1.3. Погрешности измерений

1. Понятие о погрешности измерений
2. Систематическая погрешность
3. Случайная погрешность
4. Грубая погрешность
5. Устранимая погрешность
6. Неустраняемая погрешность
7. Поправки
8. Инструментальная погрешность
9. Погрешность метода измерений
10. Субъективная погрешность
11. Погрешность установки
12. Методическая погрешность
13. Абсолютная погрешность
14. Относительная погрешность

Тема 1.4. Средства измерений

1. Средство измерений
2. Требования к средствам измерений
3. Характеристики средств измерений
4. Однозначные меры
5. Многозначные меры
6. Измерительные приборы
7. Измерительные преобразователи
8. Первичное измерительное устройство
9. Промежуточное измерительное устройство
10. Вторичное измерительное устройство
11. Измерительные установки
12. Информационно-измерительные системы
13. Поверка средств измерений
14. Градуировка средств измерений
15. Рабочие средства измерений повышенной точности
16. Рабочие технические средства измерений
17. Образцовые средства измерений
18. Эталонные средства измерений
19. Статические характеристики средств измерений
20. Линейные и нелинейные статические характеристики
21. Однозначные и неоднозначные статические характеристики
22. Коэффициент передачи средства измерений
23. Чувствительность средства измерений с линейной характеристикой

24. Чувствительность средства измерений с нелинейной характеристикой
25. Порог чувствительности средства измерений
26. Вариация показаний средства измерений
27. Динамические характеристики средств измерений
28. Параметры переходного процесса в средстве измерений
29. Метрологические характеристики средств измерений
30. Нормальные условия применения средства измерений
31. Рабочие условия применения средства измерений
32. Основная погрешность средства измерений
33. Дополнительная погрешность средства измерений
34. Абсолютная погрешность измерительного прибора
35. Абсолютная погрешность измерительного преобразователя по входу
36. Абсолютная погрешность измерительного преобразователя по выходу
37. Относительная погрешность средства измерений
38. Приведенная погрешность средства измерений
39. Класс точности средства измерений
40. Поправки

Тема 1.5. Измерительные приборы

1. Приборы прямого действия
2. Приборы сравнения
3. Аналоговые приборы
4. Цифровые приборы
5. Показывающие приборы
6. Отсчетные устройства показывающих приборов
7. Регистрирующие приборы
8. Суммирующие приборы
9. Интегрирующие приборы

Тема 1.6. Измерительные преобразователи

1. Первичный измерительный преобразователь
2. Вторичный измерительный преобразователь

Тема 1.7. Метрологическое обеспечение производства

1. Государственная система обеспечения единства измерений
2. Метрологическое обеспечение производства

Тема 2. Основы стандартизации

1. Сущность и содержание стандартизации
2. Органы и службы стандартизации

Тема 3. Основы сертификации

1. Сущность и содержание сертификации
2. Порядок сертификации продукции и услуг

Тема 4. Основы квалиметрии

1. Понятие о квалиметрии
2. Показатели качества

Повышенный уровень

Тема 1.1. Понятие об измерениях

1. Производные единицы измерения
2. Когерентные единицы измерения
3. Кратные единицы измерения
4. Дольные единицы измерения
5. Применяемые системы единиц измерения
6. Основное уравнение измерения
7. Совокупные измерения
8. Совместные измерения

1.2. Методы измерений

1. Метод противопоставления
2. Метод замещения
3. Метод совпадения

1.3. Погрешности измерений

1. Аддитивная погрешность
2. Мультипликативная погрешность
3. Аксиома случайности
4. Аксиома распределения
5. Функция распределения случайных погрешностей
6. Доверительный интервал
7. Оценка точности результата наблюдения
8. Оценка точности результата измерения
9. Погрешность оценки среднеквадратического отклонения

10. Погрешность оценки математического ожидания
11. Погрешность линейных косвенных измерений
12. Погрешность нелинейных косвенных измерений

Тема 1.4. Средства измерений

1. Статические характеристики последовательного соединения средств измерений
2. Статические характеристики параллельного соединения средств измерений
3. Статические характеристики встречно-параллельного соединения средств измерений
4. Временные характеристики средств измерений
5. Частотные характеристики средств измерений
6. Передаточные функции средств измерений
7. Повышение точности средств измерений
8. Уравнение средства измерений
9. Первичная и частная погрешность средства измерений
10. Конструктивные методы повышения точности измерений
11. Структурные методы повышения точности измерений
12. Методы уменьшения случайной составляющей погрешности
13. Методы уменьшения систематической составляющей погрешности

Тема 1.5. Измерительные приборы

1. Назначение шкал показывающих приборов
2. Начало, конец и нуль шкалы
3. Односторонние, двусторонние и безнулевые шкалы
4. Характеристика шкалы
5. Равномерные и неравномерные шкалы
6. Градуировка шкал

Тема 1.6. Измерительные преобразователи

1. Каналы связи

Тема 1.7. Метрологическое обеспечение производства

1. Поверка и аттестация средств измерений
2. Оценка надежности средств измерений

Тема 2. Основы стандартизации

1. Правовые основы стандартизации

Тема 3. Основы сертификации

2. Правовые основы сертификации

Тема 4. Основы квалиметрии

1. Методы оценки качества

Критерии оценивания компетенций

Оценка «**зачтено**» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения. Допускаются некоторые неточности, недостаточно правильные формулировки в изложении программного материала, затруднения при выполнении практических работ.

Оценка «**не зачтено**» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические задания.

Критерии оценивания компетенций

Оценка «**отлично**» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка «**хорошо**» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при

решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы.

3. ОТЧЕТНОСТЬ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Успеваемость студентов по дисциплине оценивается в ходе текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Процедура зачета с оценкой как отдельное контрольное мероприятие не проводится, оценивание знаний обучающегося происходит по результатам текущего контроля.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Перечень основной литературы:

1. Медведев Ю.Н. Основы метрологии : учебное пособие по дисциплине «Метрология. Стандартизация. Сертификация» / Медведев Ю.Н.. — Москва : Российский университет транспорта (МИИТ), 2020. — 83 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/115865.html> (дата обращения: 08.01.2025). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

2. Голуб О.В. Стандартизация, метрология и сертификация : учебное пособие / Голуб О.В., Сурков И.В., Позняковский В.М.. — Саратов : Вузовское образование, 2014. — 334 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/4151.html> (дата обращения: 08.01.2025). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

Перечень дополнительной литературы:

1. Основы стандартизации, метрологии и сертификации : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям стандартизации, сертификации и метрологии, направлениям экономики и управления / А. В. Архипов, Ю. Н. Берновский, А. Г. Зекунов [и др.] ; под редакцией В. М. Мишина. — Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2023. — 447 с. — ISBN 978-5-238-01173-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/141809.html> (дата обращения: 28.07.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

2. Бисерова В.А. Метрология, стандартизация и сертификация : учебное пособие / Бисерова В.А., Демидова Н.В., Якорева А.С.. — Саратов : Научная книга, 2012. — 159 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/8207.html> (дата обращения: 08.01.2025). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.