

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Блинова Светлана Павловна

Должность: Заместитель директора по учебно-воспитательной работе

Дата подписания: 13.12.2024 09:21:37

Уникальный программный ключ:

1cafd4e102a27ce11a89a2a7ceb20237f3ab5c65

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Заполярье государственный университет им. Н.М. Федоровского»
Политехнический колледж

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

междисциплинарного курса

МДК 01.04 «ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ, ПРИБОРЫ И КОНТРОЛЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ»

для специальности:

13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и
электромеханического оборудования (по отраслям)

Методические указания для студентов по выполнению практических работ МДК01.04 «Технические измерения, приборы и контроль при эксплуатации электрооборудования» разработаны на основе Федерального государственного образовательного стандарта по специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям).

Организация-разработчик: Политехнический колледж ФГБОУ ВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского».

Разработчик: А.В. Петухова, преподаватель.

Рассмотрены на заседании цикловой комиссии: Автоматизация технологических процессов и ЭД

Утверждены методическим советом политехнического колледжа ФГБОУ ВО «Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского».

Протокол заседания методического совета № 4 от «31» 01 2024 г.

Зам. директора по УР



С.П. Блинова

Введение

Основная тенденция развития электроизмерительной техники – дальнейшее совершенствование метрологических характеристик средств измерений. Всегда актуальны в задачах измерений повышение точности, чувствительности, разрешающей способности; расширение диапазонов возможного измерения измеряемых величин; увеличение степени подавления помех; повышение быстродействия средств измерений. В современной измерительной технике все чаще применяются методы автоматической компенсации систематических погрешностей и эффективного уменьшения случайных.

Не менее важным сегодня является и совершенствование эксплуатационных характеристик: повышение надежности; расширение возможных диапазонов влияющих величин; обеспечение многофункциональности; внедрение автоматической диагностики внутренних узлов; уменьшение габаритных размеров и массы; уменьшение мощности потребления; обеспечение удобства и простоты работы с прибором; создание дружественного к пользователю интерфейса прибора.

Характерной тенденцией развития электроизмерительной техники в последнее десятилетие стало все более широкое применение цифровых методов преобразования, измерения, регистрации и анализа информации, повышение степени автоматизации и интеллектуализации средств измерений. Разработка и применение компьютерных измерительных устройств, комплексов и систем является важной особенностью развития измерительной техники.

Методические указания состоят из пяти практических работ, тематика работ ориентирована на закрепление основных тем теоретического материала дисциплины «Электротехнические измерения».

При сдаче отчета по практическим работам преподаватель опрашивает студентов в объеме материала законченной работы, после чего работа засчитывается. Студенты, выполнившие все, предусмотренные графиком практические работы и сдавшие своевременно отчеты по ним, получают зачет по дисциплине.

Практическая работа 1

Оценивание погрешностей многократных наблюдений

Цели работы: освоить приемы статистической обработки результатов наблюдений; научиться записывать результат измерения.

Основные теоретические сведения

При проведении лабораторных измерений систематические погрешности по возможности исключают. Если систематическую погрешность можно оценить количественно (вычислить ее значение, а не пределы, в которых она может находиться), то в результаты измерений вводят соответствующие поправки. В показания средств измерений также вводят поправки, если они указаны в их паспортах. После исключения систематических погрешностей теоретически оценивают пределы возможных значений не исключенного остатка систематической погрешности, который принимают за систематическую погрешность лабораторных измерений.

Случайные погрешности выявляются, и их характеристики оцениваются непосредственно в процессе проведения эксперимента (лабораторных измерений). Их наличие проявляется в том, что результаты повторных измерений одной и той же величины в одних и тех же условиях точно не совпадают. Если случайная составляющая погрешности имеет место, то для выявления ее свойств и возможного снижения ее влияния на результат измерений применяют математическую обработку достаточно большого числа результатов повторных измерений (их называют наблюдениями) измеряемой величины.

В дальнейшем будем считать, что из результатов наблюдений полностью исключена систематическая погрешность Δ_C (равна нулю). Тогда результат i -го наблюдения находится только с некоторой случайной погрешностью Δ_i :

$$X_i = X_0 \pm \Delta_i. \quad (1.1)$$

По полученным результатам наблюдений и их разбросу можно оценить истинное значение измеряемой величины и интервал, в котором находится истинное значение, с заданной вероятностью.

Простейшая процедура математической обработки наблюдений основана на предположении, что случайная погрешность измерения подчинена нормальному закону распределения.

На пример, проведены многократные наблюдения величины X , результаты которых X_i (i – порядковый номер наблюдения) приведены в таблице 1.1. Из приведенных данных видно, что результаты наблюдений не повторяются точно, следовательно, в измерениях имеется случайная погрешность, и они подлежат описанной ниже процедуре математической обработки.

При нормальном законе распределения плотности вероятностей погрешностей $\dot{\Delta}_i$ за истинное значение измеряемой величины принимают оценку математического ожидания в виде среднего арифметического значения, т.е. $x_0 = \bar{X}$. Тогда выражение (1.1) запишется в виде:

$$X_i = \bar{X} \pm \dot{\Delta}_i. \quad (1.2)$$

Среднее арифметическое находят по формуле

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (1.3)$$

В столбце «Случайная погрешность наблюдения» подсчитывают значение случайной погрешности наблюдения как разность между результатом измерения \bar{X} и результатом наблюдения

$$\Delta_i = X_i - \bar{X}. \quad (1.4)$$

Для проверки правильности выполнения расчетов внизу столбца подсчитывают контрольную сумму Z_C полученных отклонений от среднего:

$$Z_C = \sum_{i=1}^n \dot{\Delta}_i. \quad (1.5)$$

Если расчеты не содержат ошибок, то сумма должна быть равна нулю или отличаться от нуля не более чем на 2-3 единицы младшего разряда чисел в столбце.

В столбце «Квадрат случайной погрешности» подсчитывают квадрат случайной погрешности и среднее квадратическое отклонение (СКО) случайной погрешности:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\dot{\Delta}_i)^2}{n-1}}. \quad (1.6)$$

Таблица 1.1 - Результаты наблюдений

№ наблюдения i	Результат наблюдения X_i	Случайная погрешность наблюдения Δ_i	Квадрат случайной погрешности $(\Delta_i)^2$
1	100,10	0,10	0,0100
2	100,30	0,30	0,0900
3	99,80	-0,20	0,0400
4	100,00	0,00	0,0000
5	100,15	0,15	0,0225
6	99,77	-0,23	0,0529
7	99,97	-0,03	0,0009
8	100,05	0,05	0,0025
9	99,93	-0,07	0,0049
10	100,00	0,00	0,0000
11	100,80	0,80	0,6400
12	99,50	-0,50	0,2500

13	99,80	-0,20	0,0400
14	100,08	0,08	0,0064
15	100,03	0,03	0,0009
16	99,70	-0,30	0,0900
Проверка:	Среднее $\bar{X} = 100,00$	Контрольная сумма $Z_c = -0,02$	СКО, $\sigma = 0,29$

Сравнивают каждое значение Δ_i с утроенным значением σ . Если ни одно значение случайной погрешности не превышает 3σ , то измерения не содержат грубых ошибок и за результат измерений можно принять рассчитанное по формуле (1.3) значение \bar{x} .

В приведенном примере $3\sigma = 3 \cdot 0,29 = 0,87$.

Если все значения случайной погрешности меньше 3σ , следовательно, грубых ошибок в измерениях нет, за истинное значение измеряемой величины принимается $\bar{x} = 100,00$.

Если имеется одно или более отклонений от среднего, превышающих 3σ , соответствующие наблюдения считают промахами и исключают их из дальнейшего рассмотрения. Весь расчет повторяют.

Теоретически за результат измерений следовало бы принять математическое ожидание, т.е. среднее значение бесконечно большого числа наблюдений ($n \rightarrow \infty$). Практически число наблюдений всегда ограничено (в примере $n = 16$). Это приводит к тому, что полученное значение среднего арифметического $\bar{x} = 100,00$ может отличаться от математического ожидания, принимаемого за истинное значение измеряемой величины. Чтобы оценить это отличие, рассчитывают границы интервала, расположенного вокруг \bar{x} , в котором находится истинное значение измеряемой величины с заданной вероятностью – P_d . Для этого рассчитывают СКО среднего арифметического, которое называют средним квадратическим отклонением результата измерения:

$$\sigma_{cp} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i)^2}{n(n-1)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1.7)$$

В рассматриваемом примере: $\sigma_{cp} = \frac{0,29}{\sqrt{16}}$.

Доверительные границы случайной погрешности результата измерений при заданной вероятности P_d определяют по формуле

$$\Delta = \pm t \cdot \sigma_{cp}, \quad (1.8)$$

где t – коэффициент Стьюдента, зависящий от P_d и формы закона распределения.

При нормальном законе распределения случайной погрешности и небольшом числе наблюдений действует закон распределения Стьюдента.

Границы интервала, в котором находится истинное значение измеряемой величины с вероятностью P_d , записывают в форме:

$$\bar{x} - \Delta \leq X \leq \bar{x} + \Delta. \quad (1.9)$$

или

$$X_i = \left(\bar{X} \pm \overset{\cdot}{\Delta} \right), \text{ при } P_d = . \quad (1.10)$$

На практике принято оценивать значение измеряемой величины с доверительной вероятностью $P_d=0,95$.

В рассматриваемом примере плотность распределения вероятностей случайной погрешности соответствует распределению Стьюдента. Выбираем коэффициент Стьюдента t (приложение А) для $P_d=0,95$ и $n=16$. Коэффициент $t=2,13$, т. е.

$$\overset{\cdot}{\Delta} = \pm 2,13 \cdot 0,07 = \pm 0,15.$$

Интервал, в котором лежит истинное значение измеряемой величины X с вероятностью $0,95$, определяется неравенством:

$$100,00 - 0,15 \leq X \leq 100,00 + 0,15.$$

т.е.

$$99,85 \leq X \leq 100,15.$$

или

$$X = (100,00 \pm 0,15), \quad P = 0,95.$$

Следует помнить, что приведенным способом можно выявить и оценить только случайные погрешности результата измерений. Выявить систематические погрешности, искажающие значение \bar{x} , описанным способом невозможно.

Подготовка к работе

- 1 Изучить описание работы, подготовьте форму отчета.
- 2 Предъявить форму отчета преподавателю и получить допуск к работе.

Порядок выполнения работы

- 1 Заполните в таблице 1.2 столбец значений X_i из рассмотренного примера, изменив два из значений на величину не более рассчитанного значения σ .
- 2 Проведите математическую обработку результатов наблюдений, данные занесите в таблицу 1.2. Запишите все расчетные формулы в соответствии с последовательностью математической обработки.

Таблица 1.2 - Результаты вычислений

№ наблюдения i	Результат наблюдения X_i	Случайная погрешность наблюдения $\overset{\cdot}{\Delta}_i$	Квадрат случайной погрешности $(\overset{\cdot}{\Delta}_i)^2$
1			
...			
	$\bar{X} =$	$Z_c =$	$\sigma =$

- 3 Запишите результаты вычислений (в качестве вывода по работе).
- 4 Предъявите преподавателю результаты.
- 5 Оформите отчет и подготовьте ответы на вопросы по самопроверке.

Вопросы для самопроверки

- 1 В каких случаях выполняют математическую обработку результатов наблюдений?
- 2 Как записывается результат измерений?
- 3 По какому признаку можно судить о наличии случайных погрешностей?
- 4 Приведите пример графического и аналитического представления дифференциального закона случайной погрешности.
- 5 Какими параметрами характеризуется случайная величина?
- 6 По каким формулам определяется $M[x]$, σ , σ_{cp} , $D[x]$?
- 7 В чем заключается физический смысл $M[x]$, σ , σ_{cp} , $D[x]$?
- 8 Во сколько раз уменьшится σ_{cp} , если увеличить число наблюдений в 4 раза?
- 9 Как изменится значение \bar{X} , если один (несколько) из результатов наблюдений изменится на величину, меньшую σ ?
- 10 Что является признаком наличия промаха в результатах наблюдений?
- 11 Какие погрешности не могут быть выявлены и уменьшены с помощью математической обработки?

Литература: [1, с. 25-30]; [2, с. 24-30]; [3, с. 47-48]; [4, с. 33-46].

Практическая работа 2

Определение основных метрологических характеристик приборов

Цели работы: научиться находить метрологические характеристики в технической документации на приборы, понимать их и правильно записывать; научиться правильно использовать метрологические характеристики при оценке результата измерения; определять погрешность прибора по известному классу точности.

Основные теоретические сведения

Метрологические характеристики средств измерений – это характеристики, оказывающие влияние на результат и погрешность измерения. Они являются одним из важнейших факторов обеспечения единства измерений.

Вся совокупность метрологических характеристик любого средства измерения (СИ) может быть разделена на четыре группы:

1 характеристики, обеспечивающие возможность считывания результатов измерений;

2 характеристики, описывающие погрешность СИ в нормальных условиях;

3 характеристики, описывающие влияние измерений условий эксплуатации СИ по сравнению с нормальными на погрешность СИ;

4 характеристики, описывающие взаимное влияние СИ друг на друга, на объект измерения и объекта измерения на СИ.

СИ применяются как в нормальных условиях, так и в рабочих условиях.

Нормальные условия – это совокупность требований к климатическим факторам окружающей среды и параметрам электропитания.

Для большинства СИ нормальными условиями являются:

- температура окружающего воздуха 20 ± 5 °C;
- относительная влажность воздуха 65 ± 15 %;
- атмосферное давление 100 ± 4 кПа;
- напряжение питающей сети 220 ± 4 В;
- частота питающей сети 50 ± 1 Гц и 400 ± 12 Гц,

Для приборов зарубежного изготовления термину «нормальные условия» соответствует в смысловом отношении английский и французский термин «reference conditions» - базовые условия.

Рабочие условия – это совокупность требований к климатическим факторам, параметрам электропитания, а также к механическим факторам, при соблюдении которых СИ сохраняет работоспособность.

Изменение влияющих величин в пределах рабочих условий может привести к возникновению дополнительной погрешности.

Например, влияние температуры на погрешность СИ может быть указана так: «... изменения погрешности прибора должна быть не более 0,5 предела основной погрешности на каждые 10 °C изменения температуры в пределах от $+5$ °C до $+50$ °C» (под основной погрешностью понимают погрешность СИ, работающего при нормальных условиях). Таким образом, если СИ работает при изменяющейся температуре в интервале от $+5$ °C до $+50$ °C, то возникает дополнительная погрешность СИ:

$$\Delta_{\text{доп.}^\circ} = \frac{0,5\Delta_{\text{пр}}}{10^\circ\text{C}} (50 - 5)^\circ\text{C} = 0,5 \cdot 4,5\Delta_{\text{пр}} = 2,25\Delta_{\text{пр}}. \quad (2.1)$$

Суммарная погрешность СИ

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\text{пр}} + \Delta_{\text{доп.}^\circ}. \quad (2.2)$$

Следует иметь в виду, что у импортных приборов нашему термину «рабочие условия» соответствует английский и французский термин «normal conditions» (нормальные условия) или американский термин «working conditions» (рабочие условия). В переводной документации часто этот термин переводится как «нормальные условия», а нужно переводить «рабочие условия».

К основным метрологическим характеристикам СИ относятся:

- диапазон измерений (преобразований, заданий);
- статическая номинальная характеристика $Y=f(X)$;
- чувствительность;
- номинальная цена деления шкалы (номинальное значение ступени квантования, разрешающая способность – цифровых СИ);
- предел допускаемой основной погрешности;
- предел допускаемой вариации;
- класс точности;

- быстродействие;
- входное и выходное сопротивление;
- потребляемая мощность
- надежность.

Диапазон измерений – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средств измерений. Эта область ограничена пределами измерений – наибольшим и наименьшим значениями диапазона измерений. Диапазон измерений может состоять из нескольких поддиапазонов с разными погрешностями.

Функция преобразования измерительного прибора (градуировочная характеристика, уравнение преобразования) – зависимость между выходным сигналом измерительного прибора Y и его входным сигналом X :

$$Y=f(X). \quad (2.3)$$

Функция преобразования, которую должен иметь измерительный прибор, при определенных (нормальных) условиях внешней среды и неизменных или медленно меняющихся значениях входного сигнала называется **номинальной статической характеристикой преобразования**. Эта функция может быть представлена аналитически, графически или в виде таблицы. Идеальная функция преобразования представляет линейную зависимость, но под действием тех или иных причин она может изменять свой вид. Функция преобразования связывает конструктивные параметры прибора с величинами X и Y .

Чувствительность измерительного прибора – характеризует способность прибора реагировать на изменения входного сигнала. Чувствительность определяется из уравнения преобразования и представляет собой отношение изменения сигнала ΔY на выходе прибора к вызывающему его изменению сигнала ΔX на входе:

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (2.4)$$

Номинальная цена деления шкалы – разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. Она связана с чувствительностью зависимостью:

$$C = \frac{1}{S} = \frac{\Delta X}{\Delta Y}. \quad (2.5)$$

Чувствительность и цена деления – величины именованные. Обычно говорят о чувствительности прибора к какой-то величине (напряжению, току, сопротивлению и т.д.) Например, $S=5$ дел/В; $C=0,2$ В/дел.

Предел допускаемой основной погрешности может задаваться следующими способами:

- 1 Пределом допускаемой абсолютной основной погрешности в виде

$$\Delta_{пр} = \pm a, \quad (2.6)$$

$$\Delta_{пр} = \pm(a + bX), \quad (2.7)$$

где a, b – положительные числа, не зависящие от X ;

- 2 Пределом допускаемой относительной погрешности в виде

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{\Delta}{X} 100 \% = \pm q; \quad (2.8)$$

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{\Delta}{X} 100 \% = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_K}{X} \right| - 1 \right) \right], \quad (2.9)$$

где X_K – конечное значение диапазона измерений;
 q, c, d – числа, выбираемые из ряда $1 \cdot 10^n; 1,5 \cdot 10^n; 2 \cdot 10^n; 2,5 \cdot 10^n; 4 \cdot 10^n; 5 \cdot 10^n; 6 \cdot 10^n$ ($n=1; 0; -1; -2$ и т.д.)

3 Пределом допускаемой приведенной основной погрешности в виде

$$\gamma_{\text{пр}} = \frac{\Delta}{X_N} 100 \% = \pm z, \quad (2.10)$$

где X_N – нормированное значение;

z – число из вышеприведенного ряда.

Представленные формы записи пределов допускаемой основной погрешности используются для установления класса точности СИ, которые имеют различные обозначения.

Предел допускаемой вариации – наибольшая возможная разность между отдельными показаниями прибора, соответствующими одному и тому же действительному значению измеряемой величины при неизменных внешних условиях. Вариация характеризует устойчивость показаний прибора.

Класс точности СИ – обобщенная характеристика СИ, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами СИ, влияющими на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды СИ.

Правила и примеры обозначения классов точности СИ приведены в приложении Б.

Класс точности СИ, для которого нормирован предел допускаемой приведенной основной погрешности, обозначается числом z . Например, $\gamma_{\text{пр}} = \pm 0,5\%$, следовательно класс точности (КТ) равен 0,5.

Класс точности СИ, для которого нормирован предел допускаемой относительной основной погрешности, обозначается числом q . Например, $\delta_{\text{пр}} = \pm 1,5\%$, следовательно КТ равен 1,5.

Иногда такой класс точности указывается в кружочке (1,5).

Класс точности СИ, для которого нормирован предел допускаемой относительной основной погрешности, обозначается числами c и d (в процентах), разделенными косой чертой. Например, КТ 0,05/0,02.

Класс точности СИ, для которого нормирован предел допускаемой абсолютной погрешности, обозначается прописными буквами латинского алфавита или римскими цифрами. При этом более высоким классам точности соответствуют начальные буквы латинского алфавита или меньшие числа.

Быстродействие (скорость) – максимальное число измерений в единицу времени, выполняемых с нормированной погрешностью.

Входное сопротивление (полное) $Z_{\text{вх}}$ – сопротивление измерительного прибора со стороны входных зажимов.

Выходное сопротивление $Z_{\text{вых}}$ – сопротивление измерительного прибора со стороны его выходных зажимов. Это сопротивление определяет

допустимую нагрузку измерительного прибора при подключении его, например, к компьютеру.

Собственная потребляемая мощность $P_{СОБ}$, мощность, потребляемая прибором от измерительной цепи (чем $P_{СОБ}$ меньше, тем точнее измерения). Влияние прибора, с помощью которого производится измерение, особенно заметно в маломощных цепях. Поэтому мощность потребляемая разными типами приборов может лежать в пределах от 10^{-12} до 15 Вт.

Под **надежностью** измерительных приборов понимают их способность сохранять заданные характеристики при определенных условиях работы в течение заданного времени. Количественной мерой надежности является минимальная вероятность безотказной работы прибора в заданных промежутке времени и условиях работы.

Задание:

- 1 получить индивидуальное задание у преподавателя (техническое описание на прибор или преобразователь);
- 2 выписать назначение прибора;
- 3 выписать условия эксплуатации;
- 4 выбрать из технического описания основные метрологические характеристики;
- 5 занести результаты таблицу 2.1.
- 6 рассчитать дополнительные погрешности;

Таблица 2.1 - Основные метрологические характеристики

Наименование	Значение	Формула

- 7 рассчитать суммарную погрешность СИ;
- 8 предъявите преподавателю результаты работы;
- 9 оформите отчет и подготовьте ответы на вопросы по самопроверке.

Пример основных метрологических характеристик преобразователя измерительного «Сапфир-22 ВД» модель 2210 для исполнения по материалам 0,2 представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Основные метрологические характеристики

Наименование	Значение	Формула
1 Диапазон измерения разрешения, кПа	(0...0,4)	-
2 Предел допускаемой основной погрешности, %	$\pm 0,5$	$\gamma_{пр} = \frac{\Delta}{x_N} 100 = \pm Z$
3 Вариация выходного сигнала, не более, %	$0,4 \cdot 0,5 = 0,2$	$0,4 \gamma_{пр} $
4 Номинальная статистическая характеристика $I=f(P)$	-	$I_P = \frac{P}{P_{MAX}} (I_{MAX} - I_0) + I_0$

5 Дополнительная погрешность от изменения температуры окружающего воздуха	-	$\gamma_t = 0,8\gamma_{t_1} + 0,2\gamma_{t_2} \frac{P_{MAX}}{P_i} =$ $0,8\left(\pm \frac{0,45\%}{10^{\circ}C} \Delta t\right) + 0,2\left(\pm \frac{0,45\%}{10^{\circ}C}\right) \times \Delta t \frac{0,4}{P_i}$
---	---	---

Если принять, например, следующие рабочие условия: температура окружающей среды от $10^{\circ}C$ до $50^{\circ}C$ ($\Delta t = 40^{\circ}C$); измеряемое давление разрешения от 0 до $0,2$ кПа, то это вызовет дополнительную погрешность:

$$\gamma_t = 0,8\left(\pm \frac{0,45\%}{10^{\circ}C} 40^{\circ}C\right) + 0,2\left(\pm \frac{0,45\%}{10^{\circ}C}\right) \times 40^{\circ}C \frac{0,4 \text{ кПа}}{0,2 \text{ кПа}} = \pm 2,16\%,$$

или абсолютная погрешность

$$\Delta_t = \pm \frac{\gamma_t X_N}{100\%} = \pm \frac{2,16\% \cdot 0,4 \text{ кПа}}{100\%} = \pm 0,0086 \text{ кПа}.$$

Максимальная суммарная погрешность СИ в данных рабочих условиях:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{пр} + \Delta_t = \pm(0,002 + 0,0086) = \pm 0,011 \text{ кПа}.$$

Вопросы для самопроверки

- 1 Зачем необходимо определять метрологические характеристики СИ?
- 2 Перечислите основные метрологические характеристики. Дайте определение каждой метрологической характеристики.
- 3 Назовите виды погрешностей СИ.
- 4 Дайте определение каждому виду погрешности СИ.
- 5 Как может задаваться предел допускаемой основной погрешности СИ?
- 6 Запишите условие пригодности СИ.
- 7 В какой форме представляется погрешность СИ (формулы)?
- 8 Чем вызвано появление дополнительных погрешностей СИ?
- 9 Как определить суммарную погрешность СИ?
- 10 Как обозначается класс точности СИ?
- 11 Как по известному классу точности определить погрешность СИ?

Литература: [1, с. 16-20]; [2, с. 19-24]; [3, с. 30-44]; [4, с. 22-26].

Практическая работа 3

Изучение устройства аналоговых электромеханических приборов

Цели работы: научиться определять область применения прибора; изучить принцип действия и устройство прибора.

Приборы и оборудование: приборы различных типов и систем.

Основные теоретические сведения

При технических измерениях электрических величин широкое распространение получили приборы непосредственной оценки как наиболее простые и дешёвые.

Приборы непосредственной оценки преобразуют энергию измеряемой величины в энергию перемещения его подвижной части, по положению которой производится отсчет значения измеряемой величины (амперметры, вольтметры, ваттметры, счетчики), и считаются аналоговыми электромеханическими приборами.

Электроизмерительные приборы делятся по следующим признакам:

- по роду измеряемой величины;
- роду тока;
- принципу действия;
- степени точности;
- потребляемой мощности;
- степени защищенности от внешних полей;
- условиям эксплуатации;
- устойчивости к механическим воздействиям;
- способу установки;
- защищенности кожухами;
- прочности изоляции;
- по габаритным размерам.

По роду тока приборы делятся на приборы постоянного тока, приборы переменного тока, приборы постоянного и переменного тока.

Работа измерительного прибора связана с потреблением электрической энергии. Большая часть энергии идёт на нагревание электрической цепи прибора, меньшая – на вихревые токи и перемагничивание стали. В большинстве случаев потребляемая мощность (мощность потерь) мала с точки зрения экономии энергии, но повышение температуры отдельных частей прибора приводит к возникновению дополнительных погрешностей прибора, поэтому всегда следует выбирать прибор с меньшей потребляемой мощностью.

По степени защищенности от внешних полей приборы делятся на I и II категории.

Внешние магнитные и электрические поля накладываются на собственные поля приборов, оказывая тем самым влияние на показания приборов. Это влияние усиливается с усилением внешнего поля и ослаблением собственного поля. Влияние внешних полей ослабляется применением экранов.

По условиям эксплуатации приборы делятся на следующие группы:

1 **группа А** – приборы для работы в сухих отапливаемых помещениях при температуре окружающей среды от плюс 10 °С до плюс 35 °С при влажности до 80 % при плюс 30 °С.

2 **группа Б** - приборы для работы в закрытых неотапливаемых помещениях при температуре окружающей среды от минус 30 °С до плюс 40 °С при влажности до 90% при плюс 30 °С.

3 группа В – приборы для работы в полевых и морских условиях; группа В1 – при температуре от минус 40 °С до плюс 50 °С, группа В2 – при температуре от минус 50 °С до плюс 60 °С и влажности до 95 % при плюс 35 °С.

Приборы, предназначенные для работы в условиях тропического климата, имеют обозначение типа с буквой Т.

По устойчивости к механическим воздействиям различают приборы:

- обыкновенные;
- тряскопрочные;
- вибропрочные;
- ударопрочные;
- тряскоустойчивые;
- виброустойчивые.

Тряскопрочные, вибропрочные и ударопрочные – это приборы, выполняющие свои функции после тряски, вибраций и ударных сотрясений.

Тряскоустойчивые и виброустойчивые – это приборы, способные выполнять свои функции во время тряски и вибраций.

По защищенности кожухами приборы делятся:

- на пыленепроницаемые;
- водонепроницаемые;
- герметичные.

Изоляция измерительных приборов и вспомогательных частей должна обладать достаточной электрической прочностью. Изоляция должна выдерживать в течение 1 мин. указанное в таблице 3.1 напряжение переменного тока частотой 50 Гц.

По габаритным размерам различают приборы:

- миниатюрные (до 50 мм);
- малогабаритные (от 50 до 100 мм);
- средние (от 100 до 200 мм);
- большие (свыше 200 мм).

Таблица 3.1 - Нормы для испытания изоляции приборов

Номинальное напряжение прибора или номинальное напряжение сети	Действующее значение испытательного напряжения, кВ	
	при номинальной влажности	при повышенной влажности (приборы группы В)
До 40 В	0,5	0,5
Свыше 40 до 650 В	2,0	1,5
Свыше 650 до 1000 В	3,0	2,0
Свыше 1 до 2 кВ	5,0	3,5
Для приборов, предназначенных для включения через	2	1,5

Задание:

1 пояснить все условные обозначения на шкале прибора, выданного преподавателем, используя учебную литературу и приложение В;

2 записать основные метрологические характеристики прибора в таблицу 3.2;

Таблица 3.2 - Метрологические характеристики прибора

Тип прибора	Диапазон измерений, ед. изм.	Цена деления	Класс точности	Предел основной допустимой погрешности	Примечания

3 начертить схему устройства измерительного механизма прибора и объяснить его принцип действия;

4 оформить отчет по принятой форме.

Вопросы для самопроверки

- 1 Какие условные обозначения присутствуют на шкале прибора?
- 2 Какие приборы являются приборами непосредственной оценки?
- 3 Основные метрологические характеристики прибора.
- 4 Области применения прибора.
- 5 Достоинства и недостатки прибора.
- 6 Принцип действия прибора.
- 7 Как создаётся противодействующий момент в приборе?
- 8 Устройство магнитной системы прибора, достоинства и недостатки.
- 9 Назначение успокоителей и принцип их действия.
- 10 В каком виде представляется результат измерения?

Литература: [1, с. 62-71, 84-102]; [3, с. 74-94]; [4, с. 68-79].

Список использованных источников

Основные источники:

- 1 Измерение электрических и неэлектрических величин: Учебное пособие для вузов. Евтихийев Н.Н., Купершмидт Я.А., Покуловский В.Ф., Скугоров В.Н.; под общ. ред. Н.Н. Евтихьева. - М.: Энергоатомиздат, 2018. - 352 с: ил.
- 2 Моисеев Б.П., Хромой Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учебник для техникумов.- М.: Радио и связь, 2019. - 288 с: ил.
- 3 Панфилов В. А. Электрические измерения: Учебник для сред. проф. образования. - М.: Издательский центр «Академия», 2020. - 288 с. ил.
- 4 Гартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: Учеб. для вузов/- М.: Высш. шк, 2019. - 205 с: ил.
- 5 Хрусталева З. А. Электротехнические измерения: учебник – 2-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2020. – 208 с.
- 6 Хрусталева З. А. Электротехнические измерения: Задачи и упражнения – М.: КНОРУС, 2020. – 256 с.
- 7 Электрорадиоизмерения: Учебник./ В.И. Нефедов, А.С. Сигов, В.К. Битюков и др./ Под ред. Профессора А.С. Сигова. - М.: Форум: Инфра-М, 2022. - 384 с: ил.
- 8 Электрические измерения и электроизмерительные приборы: Учебник для техникумов/ В. И. Котур, М. А. Скомская, Н.Н. Храмова. - М.: Энергоатмиздат, 2022. - 400 с: ил.

Приложение А

Значения коэффициент Стьюдента $t(P_d, n)$

Число наблюдений n	Доверительная вероятность P_d				
	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
2	3,08	6,31	12,7	31,8	63,7
3	1,89	2,92	4,30	6,96	9,92
4	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84
5	1,53	2,13	2,77	3,75	4,60
6	1,48	2,02	2,57	3,36	4,03
7	1,44	1,94	2,45	3,14	3,71
8	1,42	1,90	2,36	3,00	3,50
9	1,40	1,86	2,31	2,90	3,35
10	1,38	1,84	2,26	2,82	3,25
11	1,37	1,81	2,23	2,76	3,17
12	1,36	1,80	2,20	2,72	3,11
13	1,36	1,78	2,18	2,68	3,05
14	1,35	1,77	2,16	2,65	3,01
15	1,34	1,76	2,14	2,62	2,98
17	1,34	1,75	2,12	2,58	2,92
20	1,33	1,73	2,09	2,54	2,87
30	1,31	1,70	2,04	2,47	2,76




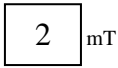











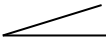




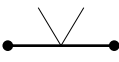






Приложение Б

Обозначения классов точности

Формула для предельной основной погрешности	Обозначение класса точности	
	в документации	на приборах
$\gamma_{\text{пр}} = \frac{\Delta}{x_N} 100 = \pm Z$	класс точности 1,5	(1,5)
$\delta_{\text{пр}} = \frac{\Delta}{x} 100 = \pm q$	класс точности 1,5	1,5
$\delta_{\text{пр}} = \pm \left[c + d \left(\left \frac{x_K}{x} \right - 1 \right) \right]$	класс точности $c/d = 0,02/0,01$	0,02/ 0,01
$\Delta_{\text{пр}} = \pm a$ $\Delta_{\text{пр}} = \pm (a + bX)$	класс точности L класс точности M	L M

Приложение В

Условно-графические обозначения на шкалах приборов

Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой		Корректор	
Электромагнитный прибор		Магнитная индукция, мТл, вызывающая изменение показаний, соответствующая обозначенному классу точности.	
Логометр магнитоэлектрический		Напряжение испытательное 500В	
Прибор электродинамический		Напряжение испытательное 2 кВ	
Логометр электродинамический		Прибор испытанию прочности изоляции не подлежит.	
Прибор ферродинамический		Прибор применять при вертикальном положении шкалы	
Логометр ферродинамический		Прибор применять при горизонтальном положении	
Прибор тепловой с нагреваемой нитью		Прибор применять в наклонном положении под углом (60°)	
Прибор индукционный		Ток постоянный	
Прибор электростатический		Ток переменный	
Прибор термоэлектрический		Ток постоянный и переменный	
Нормально работает при частоте 50 Гц	50 Hz	Направление ориентировки прибора в земном магнитном поле	
Экран электростатический		Класс точности при нормировании погрешности, %	1.5
Экран магнитный		То же, при нормировании погрешности от длины шкалы, %	
Предназначен для установки в сухих неотапливаемых помещениях	Б	Для полевых и морских условий	B ₁ , B ₂
Для условий тропического климата	Т	I, II	Категория защищенности от магнитных полей
Зажим заземления		Генераторный зажим (у ваттметра)	*